



Valorización y transferencia de resultados de investigación

Estudio de mercado

Estudio sobre la transferencia de tecnologías duales de remanufactura y reparación a sectores manufactureros.

Institución: Fundación Feria Internacional del Calzado e Industrias Afines (FICIA)

Lugar y fecha: Valencia a 13 de marzo de 2026



PLATAFORMA TECNOLÓGICA
SECTORES MANUFACTUREROS

Índice de contenidos

↗ Contexto y mercado

- Definición de tecnologías duales: qué significa el concepto en remanufactura y reparación en el contexto del proyecto
- Cuantificación del mercado de la remanufactura y reparación a nivel de defensa/industria militar
- Drivers y tendencias (tecnológicas, sociales, políticas, regulatorias, etc.)
- Conclusiones

↗ Panorama de las tecnologías duales de remanufactura y reparación en defensa

- Identificación de las tecnologías clave empleadas en el ámbito militar/defensa y descripción de casos de uso de las tecnologías mapeadas
- Principales actores en el ámbito
- Conclusiones

↗ Oportunidades de transferencia a sectores manufactureros tradicionales

- Potencial de las tecnologías identificadas en la resolución de retos concretos en la industria
- Cuadro resumen comparativo con las diferentes tecnologías e industrias de aplicación
- Conclusiones

↗ Conclusiones y Recomendaciones

- Conclusiones principales del estudio
- Recomendaciones estratégicas para fomentar la implementación de tecnologías duales en el ámbito de reparación y remanufactura en los sectores manufactureros



Contexto y mercado

En los últimos años, la **Unión Europea** ha situado la **autonomía estratégica, la sostenibilidad industrial y la economía circular** entre sus principales prioridades. Dentro de esta estrategia, la **transferencia de tecnologías duales** —aquellas con aplicaciones tanto civiles como militares— emerge como un eje clave para fortalecer las capacidades tecnológicas europeas, fomentar la innovación transversal y optimizar el aprovechamiento de los recursos públicos en I+D.

El concepto de **tecnología dual** se refiere a desarrollos, procesos o sistemas que, aunque surgen en contextos de defensa o seguridad, poseen un **alto potencial de aplicación en industrias civiles**. En muchos casos, estas tecnologías se caracterizan por su **robustez, fiabilidad y eficiencia**, atributos derivados de los exigentes estándares militares. Sin embargo, su transferencia al entorno civil no solo implica una adaptación técnica, sino también un proceso de **alineación con normativas, cadenas de valor, modelos de negocio y criterios de sostenibilidad propios del sector manufacturero**. En paralelo, la **reparación y la remanufactura** se han consolidado en Europa como pilares fundamentales de la **transición hacia una economía circular**. Según el *[Circular Economy Action Plan](#)* (CEAP) de la Comisión Europea, prolongar la vida útil de los productos a través de su reparación o remanufactura puede reducir significativamente la demanda de materias primas críticas, disminuir emisiones de carbono y generar empleo industrial de alta cualificación.

En este contexto, las **tecnologías duales** ofrecen una oportunidad excepcional para **eleva la capacidad tecnológica** de las industrias dedicadas a estos procesos. Tecnologías desarrolladas originalmente para el mantenimiento y la logística militar (como la **fabricación aditiva, los recubrimientos funcionales, los sistemas de diagnóstico no destructivo (NDT), la sensórica avanzada, los procesos de reparación avanzada y automatización asistida o los algoritmos de mantenimiento predictivo basados en inteligencia artificial**) pueden adaptarse para optimizar los procesos de reparación y remanufactura en sectores manufactureros civiles.

Estos sectores, en particular los de **indumentaria (textil, cuero y calzado), caucho y materias plásticas, madera y muebles, y juguetes/ocio/puericultura**, enfrentan actualmente desafíos asociados a la **presión regulatoria en sostenibilidad, la volatilidad de las cadenas de suministro, el incremento de los costes energéticos y la necesidad de ofrecer productos más duraderos y reparables**. La integración de soluciones duales en sus cadenas de valor podría incidir en la **reducción de costes operativos, mejoras en la trazabilidad, incrementar la calidad de los procesos y fortalecer la resiliencia industrial europea**.



El objetivo del estudio de mercado es analizar el potencial de transferencia y adopción de tecnologías duales de remanufactura y reparación desde el ámbito militar hacia estos sectores manufactureros. Con este fin, se examinarán los principales drivers tecnológicos, económicos, regulatorios y sociales que impulsan esta convergencia, así como las barreras y oportunidades que potencialmente condicionen su adopción a escala industrial. El estudio también busca identificar actores relevantes y mapear las tecnologías clave empleadas actualmente en el ámbito de defensa que puedan tener una aplicación directa o adaptada en entornos manufactureros civiles.

Las tecnologías duales representan el punto de encuentro entre la innovación desarrollada en el ámbito de la defensa y las necesidades del entorno civil. Son soluciones, procesos o sistemas que pueden aplicarse en ambos contextos, aprovechando la fiabilidad, precisión y robustez exigidas por el sector militar para mejorar la eficiencia, la seguridad y la sostenibilidad industrial. En la actualidad, estas tecnologías se convierten en un motor clave para la transición hacia una economía circular, al ofrecer herramientas avanzadas que optimizan el uso de materiales, energía y conocimiento en los procesos productivos. En este marco, la reparación y la remanufactura constituyen dos estrategias complementarias para prolongar la vida útil de productos y componentes, reducir residuos y recuperar valor tecnológico.

Tecnologías duales



Las tecnologías duales son aquellas que poseen aplicaciones tanto civiles como militares, ya sea porque se desarrollaron originalmente en el ámbito de la defensa y luego se adaptaron al entorno civil, o porque su origen fue civil y pueden emplearse en sistemas de seguridad o defensa. Se caracterizan por su robustez, fiabilidad, escalabilidad y capacidad de adaptación a distintos contextos operativos.

En el marco europeo, la Comisión Europea y la Agencia Europea de Defensa (EDA) definen el “dual use” como toda tecnología, producto o conocimiento que pueda emplearse en ambos dominios, dentro de un enfoque orientado a sinergias entre la innovación civil y militar.

En el contexto de la **reparación y la remanufactura**, estas tecnologías permitirían introducir **estándares avanzados de inspección, trazabilidad, control de calidad y sostenibilidad** en sectores manufactureros tradicionales.

Reparación



La reparación consiste en el conjunto de **acciones destinadas a devolver un producto o componente al estado funcional para el que fue diseñado**, mediante la identificación, corrección o sustitución de piezas defectuosas. A diferencia de la remanufactura, la reparación no implica un desmontaje completo ni la restauración total del producto, sino una intervención focalizada en las áreas dañadas o degradadas.

En el contexto de la economía circular europea, la reparación es una de las estrategias prioritarias del *[Right to Repair](#)* y del *[Ecodesign for Sustainable Products Regulation \(ESPR\)](#)*, orientadas a **extender la vida útil de los bienes, reducir residuos y facilitar el mantenimiento accesible**. Su objetivo es **restablecer la funcionalidad**, no necesariamente devolverlo a la condición de “como nuevo”.

Remanufactura



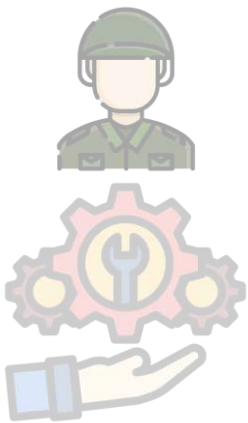
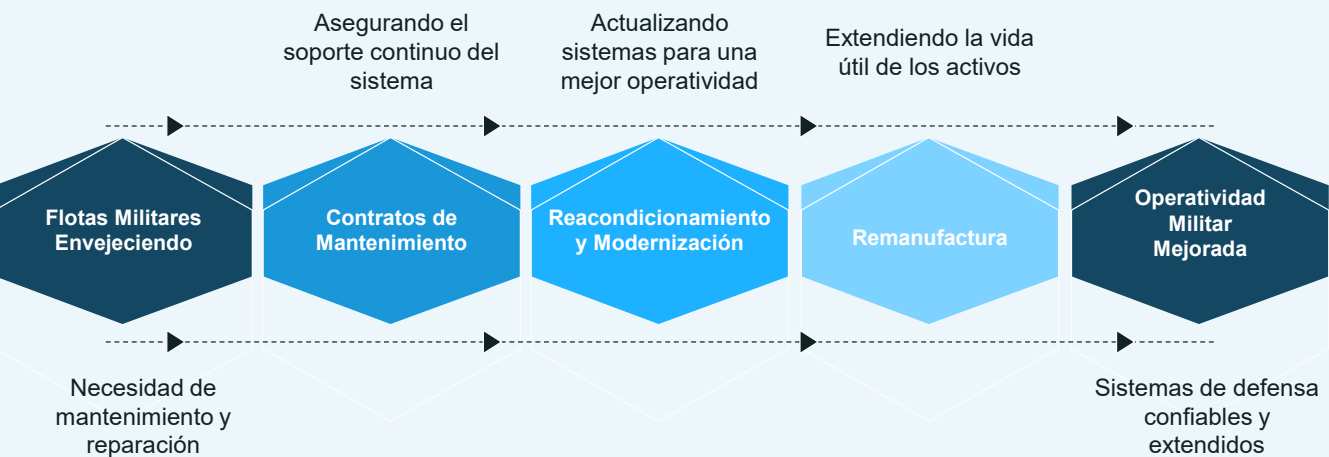
La **remanufactura** (remanufacturing) es un **proceso industrial estandarizado** por el cual un producto usado, conocido como *core*, es **desmontado, limpiado, reparado o sustituido en sus componentes críticos, reensamblado y sometido a pruebas funcionales**, para asegurar que el resultado final cumple **las mismas especificaciones de rendimiento y garantía que un producto nuevo**.

Este proceso se distingue de la simple reparación o reacondicionamiento porque **recupera el valor original del producto**, bajo un sistema de **control de calidad, trazabilidad y certificación** comparable a la fabricación primaria. En el marco de la economía circular, la remanufactura representa la forma más avanzada de **reutilización industrial de alto valor añadido**.

Mercado global de mantenimiento, reparación y remanufactura (MRO) en defensa

El mercado global de MRO militar (que engloba el conjunto de actividades técnicas e industriales destinadas a mantener la operatividad, disponibilidad y prolongar la vida útil de plataformas, sistemas y componentes militares, incluyendo aeronaves, vehículos terrestres, buques, armamento y equipos electrónicos) constituye uno de los pilares más estables y tecnológicamente avanzados del sector. Actores del mercado como fuerzas armadas, “Original Equipment Manufacturers” (OEM), contratistas de defensa y proveedores especializados, colaboran a lo largo del ciclo de vida de los sistemas de defensa mediante contratos de mantenimiento, reacondicionamiento, modernización y remanufactura. En 2024, **se estimó que este mercado alcanzó un valor de aproximadamente 80 mil millones de USD**, impulsado por el envejecimiento de las flotas militares, la digitalización del mantenimiento y la presión por extender la vida útil de activos de alto valor, como aeronaves, vehículos terrestres, buques y sistemas electrónicos. Se prevé que el mercado crezca con una tasa de crecimiento anual compuesta (CAGR) del 6,71 % en el periodo 2024–2034, pudiendo superar los 150 mil millones de USD a comienzos de la próxima década. El crecimiento está impulsado por la modernización de infraestructuras militares, la incorporación de tecnologías duales (fabricación aditiva, inspección no destructiva, IA predictiva y robótica colaborativa) y por el aumento de programas de mantenimiento a largo plazo bajo contratos tipo Performance-Based Logistics (PBL).

Principales drivers del mercado a nivel general



En el contexto de este estudio sobre la transferencia de tecnologías duales de reparación y remanufactura hacia sectores manufactureros civiles, el análisis del mercado de MRO militar resulta clave porque constituye el **principal origen de las innovaciones técnicas** en mantenimiento avanzado, diagnóstico predictivo y procesos de reacondicionamiento que posteriormente pueden transferirse a la industria civil.

Este mercado se caracteriza por un alto grado de madurez tecnológica, estandarización y exigencia de calidad.

Contexto y mercado. Cuantificación de mercado

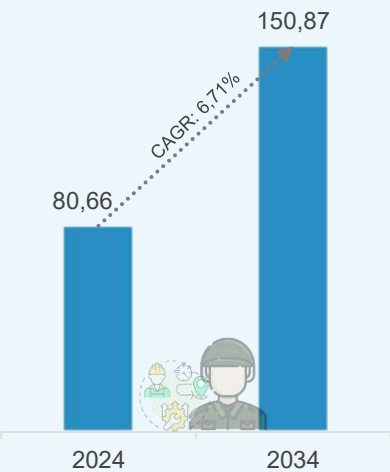


Principales drivers del mercado a nivel general mercado global MRO en defensa

- Extensión de la vida útil de equipos militares:** Las fuerzas armadas de todo el mundo están **alargando la vida útil de aeronaves, buques y vehículos terrestres** ante el elevado coste y los largos plazos de adquisición de nuevos sistemas. Esto impulsa la demanda de **servicios de mantenimiento profundo, reacondicionamiento estructural y remanufactura**, así como la adopción de tecnologías que **mejoren la disponibilidad y la fiabilidad** de los equipos existentes.
- Digitalización y transición hacia el mantenimiento predictivo:** El paso de un mantenimiento correctivo o programado a uno **basado en condición (Condition-Based Maintenance Plus, CBM+)** está transformando el mercado. La **sensorización, el análisis de datos, la IA y los gemelos digitales** permiten **anticipar fallas, optimizar tiempos de parada y reducir costes operativos**. Este cambio tecnológico eleva la inversión en **software, análisis de datos, plataformas IoT y herramientas de diagnóstico inteligente**, segmentos con los mayores crecimientos del mercado MRO.
- Fabricación aditiva y tecnologías avanzadas de reparación:** El uso de **impresión 3D, cold spray, deposición láser (DED) y soldadura de precisión** permite **reparar o fabricar piezas críticas bajo demanda**, reduciendo inventarios y plazos logísticos. Estas tecnologías están siendo implementadas en bases aéreas y navales, y su adopción se espera que crezca exponencialmente por su capacidad de **reducir tiempos de inactividad y costes de mantenimiento**.
- Programas de modernización y contratos basados en rendimiento (PBL):** Los gobiernos están promoviendo **acuerdos de mantenimiento a largo plazo (Performance-Based Logistics)** en los que el proveedor es remunerado por la **disponibilidad operativa** del sistema, no por las horas de mantenimiento ejecutadas. Esto incentiva la inversión en **soluciones digitales, automatización y eficiencia operativa**, fortaleciendo el mercado de servicios de MRO especializados.
- Automatización, robótica y mantenimiento asistido por realidad aumentada (AR/VR):** La introducción de **robots colaborativos, drones de inspección y herramientas de RA/RV** para tareas de reparación y formación técnica está mejorando la **precisión, seguridad y trazabilidad** de las operaciones. Estas soluciones reducen errores humanos y acortan tiempos de reparación, impulsando la productividad de los centros de mantenimiento.
- Aumento del gasto en defensa y mantenimiento postconflicto:** El crecimiento sostenido del **gasto militar mundial** (más del 7% en Europa y 9% en los Estados Unidos en 2024) incluye una proporción creciente destinada a **operaciones, mantenimiento y soporte logístico**. Las tensiones geopolíticas actuales obligan a **mantener la disponibilidad inmediata de equipos**, lo que refuerza el papel estratégico del MRO dentro de los presupuestos de defensa.



Evolución del mercado global de (MRO) en defensa.
Valores en miles de millones de USD.



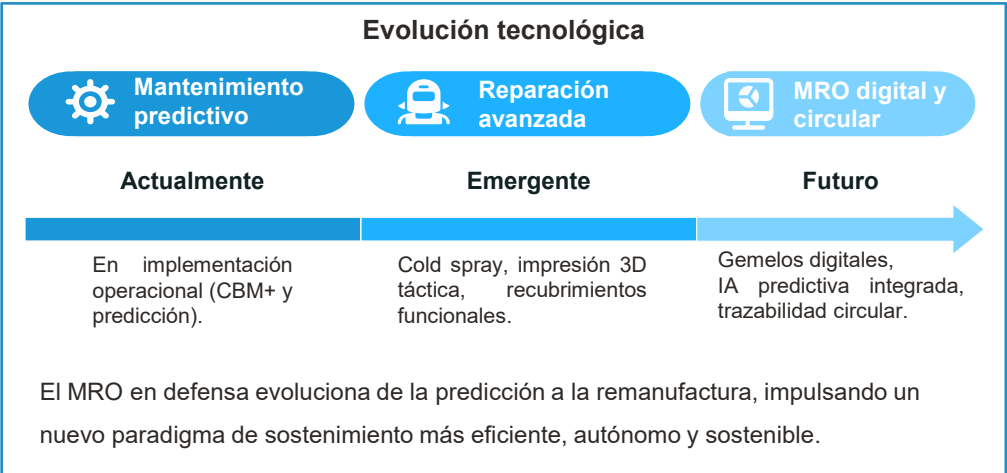
Las políticas de sostenibilidad de la UE promueven la remanufactura, el reacondicionamiento y la economía circular, lo que también incluye el ámbito militar. La reutilización de componentes y materiales, junto con la mejora de la eficiencia energética en talleres MRO, se está convirtiendo en un nuevo motor de innovación y colaboración industrial.

Tecnologías habilitadoras del MRO en defensa

El mercado global de **Mantenimiento, Reparación y Revisión (MRO)** en defensa está evolucionando hacia un modelo más **digital, predictivo y circular**. Este proceso se apoya en dos ámbitos tecnológicos complementarios:

- **Mantenimiento predictivo y gestión digital del ciclo de vida**, orientados a anticipar fallas y optimizar la disponibilidad operativa.
- **Reparación avanzada y remanufactura**, centradas en extender la vida útil de los componentes y reducir el consumo de materiales.

En conjunto, estas tecnologías están redefiniendo el sostenimiento militar y generando oportunidades de **transferencia hacia sectores civiles**, en línea con los objetivos europeos de innovación y economía sostenible.



Tecnologías de mantenimiento



En términos de cuota de mercado (inversión, contratos, gasto sostenido), el liderazgo sigue correspondiendo a las tecnologías y soluciones de **mantenimiento preventivo, predictivo y logístico**, es decir, las orientadas a **mantener la disponibilidad operativa de las plataformas**. Incluye:

- **CBM+ (Condition-Based Maintenance Plus), sensórica, IA predictiva y gemelos digitales** concentran la mayor parte del gasto digital en MRO militar.
- Representan la capa estratégica del mantenimiento de equipos y plataformas, donde los gobiernos y contratistas invierten para reducir costes operativos y tiempos de parada.
- En Estados Unidos y Europa, más del 60% de la inversión en digitalización del mantenimiento se destina a CBM+, plataformas de datos y logística predictiva.
- **Estas tecnologías no “reparan” el equipo, pero determinan cuándo y cómo se debe reparar**, lo que las hace esenciales para la eficiencia global del ciclo de vida.

Tecnologías de reparación y overhauling



Aunque tienen menor peso absoluto en el gasto total, las **tecnologías de intervención física y recuperación de componentes, es decir, las vinculadas a la reparación avanzada y la remanufactura**, son las que presentan las tasas de crecimiento más altas dentro del mercado. Incluye:

- **Fabricación aditiva (Additive Manufacturing, AM), reparación por cold spray, deposición láser** y otras técnicas de reconstrucción localizada permiten restaurar piezas críticas con la misma integridad estructural que las originales.
- Las **tecnologías de inspección no destructiva (NDT/NDI)**, como ultrasonido, termografía e inspección visual automatizada, garantizan la detección de fallos y la certificación de las reparaciones.
- Los **recubrimientos funcionales y autorreparables** prolongan la vida de los componentes restaurados, mejorando su resistencia a la corrosión, abrasión y fatiga.
- El uso de sistemas robóticos y automatizados en tareas de inspección, desmontaje o reacondicionamiento de componentes, aumentan la precisión y seguridad especialmente en aviación y mantenimiento naval.

Contexto y mercado. Cuantificación de mercado

Mercados globales asociados al equipamiento para el combatiente

El **mercado del combatiente** constituye el conjunto de soluciones, equipos y tecnologías que integran las **capacidades individuales del soldado moderno**. Este mercado abarca desde los sistemas de **protección personal (chalecos, cascos, vestimenta y calzado técnico)** hasta los de **comunicación, visión, energía, sensores, soporte vital y movilidad asistida**. En su conjunto, representa un ámbito estratégico de innovación donde convergen los avances en **materiales, electrónica, inteligencia artificial, miniaturización y fabricación aditiva**, con el objetivo de **aumentar la supervivencia, eficiencia y sostenibilidad operativa** del combatiente. Asimismo, las tecnologías derivadas del *soldier system* están conectadas con iniciativas de **mantenimiento predictivo y gestión del ciclo de vida del equipamiento**, dentro del marco más amplio de sostenimiento logístico de defensa.

Mercados tecnológicos vinculados al ecosistema del combatiente

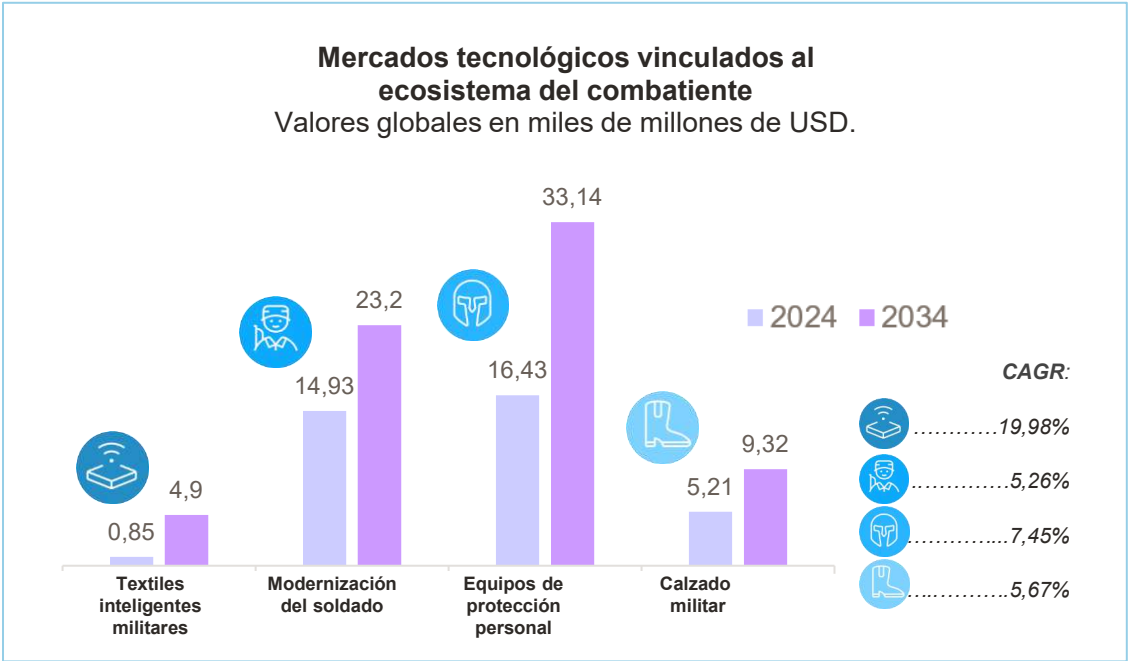
El ecosistema del combatiente moderno se nutre de diversos mercados tecnológicos especializados que desarrollan soluciones aplicables al concepto de “soldado como sistema”. Estos mercados no son subsegmentos directos del Soldier Systems Market, sino dominios tecnológicos complementarios que aportan innovaciones en materiales, diseño y digitalización con potencial de transferencia hacia sectores civiles (textil, calzado, plásticos, puericultura, etc.). Dentro de este ecosistema, se han seleccionado cuatro ámbitos prioritarios por su mayor afinidad con los sectores industriales objeto del estudio:



Contexto y mercado. Cuantificación de mercado

Mercados tecnológicos vinculados al ecosistema del combatiente

Los mercados seleccionados no son subsegmentos sumativos, sino dominios complementarios que desarrollan tecnologías aplicables a la protección, conectividad, sostenibilidad y rendimiento del combatiente. Todos presentan crecimientos significativos hacia 2034, impulsados por la digitalización, los materiales inteligentes y las demandas de sostenibilidad. Su análisis busca identificar tecnologías duales con potencial de transferencia hacia sectores civiles como textil, calzado, materiales compuestos o equipamiento técnico.



	Textiles inteligentes militares	Modernización del soldado	Equipos de protección personal militar	Calzado militar técnico
Descripción	Tejidos funcionales y sensorizados para monitorizar parámetros fisiológicos, regular temperatura o generar energía.	Integra tecnologías digitales, sensoricas y de fabricación avanzada para mejorar la interoperabilidad y el mantenimiento del combatiente.	Chalecos balísticos, cascos compuestos, trajes NBQ, visores y guantes avanzados.	Botas tácticas y calzado especializado para distintas condiciones operativas.
Impulsores	Nanomateriales, fibras ópticas, IoT vestible	Aumentar la conciencia situacional, conectividad, sostenibilidad	Ligereza, multifuncionalidad, reciclabilidad	Biomecánica, ergonomía, amortiguación inteligente
Transferibilidad	Ropa laboral avanzada, deporte, salud, wearables	EPI industriales, transporte inteligente, robótica ligera	EPI industriales, deportes extremos, logística, manufactura avanzada	Industria del calzado deportivo y de seguridad laboral
	Futurista			Tradicional

Fuentes: Market Research Future: 1; Mordor Intelligence:1, 2; Straits Research: 1;2; Credence Research: 1 . Grand View Research, StratView Research, IntelMarket Resarch, Global Growth insights, Data Intelo, Verified Market Research Flaticon.

Contexto y mercado. Cuantificación de mercado

Mercados tecnológicos vinculados al ecosistema del combatiente

Los mercados seleccionados para el análisis -la modernización del soldado, los equipos de protección personal, el calzado militar y los textiles inteligentes en defensa- concentran innovaciones específicas que podrían ser reaprovechadas en procesos de reparación, reacondicionamiento o remanufactura dentro de sectores industriales estratégicos para PLATECMA como la indumentaria (textil, cuero y calzado), el caucho y las materias plásticas, la madera y el mobiliario, y el ámbito de juguetes, ocio y puericultura.

La figura ilustra los mercados tecnológicos de interés **que conforman el mercado del combatiente**, ordenados de acuerdo con su **grado de madurez tecnológica** y su **nivel de desarrollo e implantación** dentro de las fuerzas armadas:



- En el extremo **emergente** se sitúan los **textiles inteligentes militares**, basados en tejidos funcionales con sensores y microelectrónica flexible. Representan la frontera más innovadora del sector, con un alto potencial de crecimiento y transferencia hacia la industria textil y de indumentaria técnica civil.
- Le sigue la **modernización del soldado**, que agrupa programas y tecnologías para mejorar la eficiencia, conectividad y sostenimiento del combatiente. Este segmento integra soluciones digitales, sensóricas y de mantenimiento predictivo, que ya se aplican en contextos industriales avanzados.
- El segmento de **equipos de protección personal (PPE)** constituye un mercado consolidado centrado en sistemas de protección frente a impactos, temperaturas extremas y amenazas químicas o balísticas. Las innovaciones en materiales compuestos y recubrimientos avanzados tienen claras aplicaciones en la fabricación civil de Equipos de Protección Personal (EPIs), calzado y productos de ocio o puericultura.
- El **calzado militar** se considera el subsegmento más **maduro**, caracterizado por productos altamente estandarizados, robustos y reparables. Las tecnologías desarrolladas en este ámbito, desde compuestos de caucho y tejidos transpirables hasta procesos de resolado y reacondicionamiento, son fácilmente transferibles a la **industria civil del calzado**.

Contexto y mercado. Principales tecnologías - *combatiente*

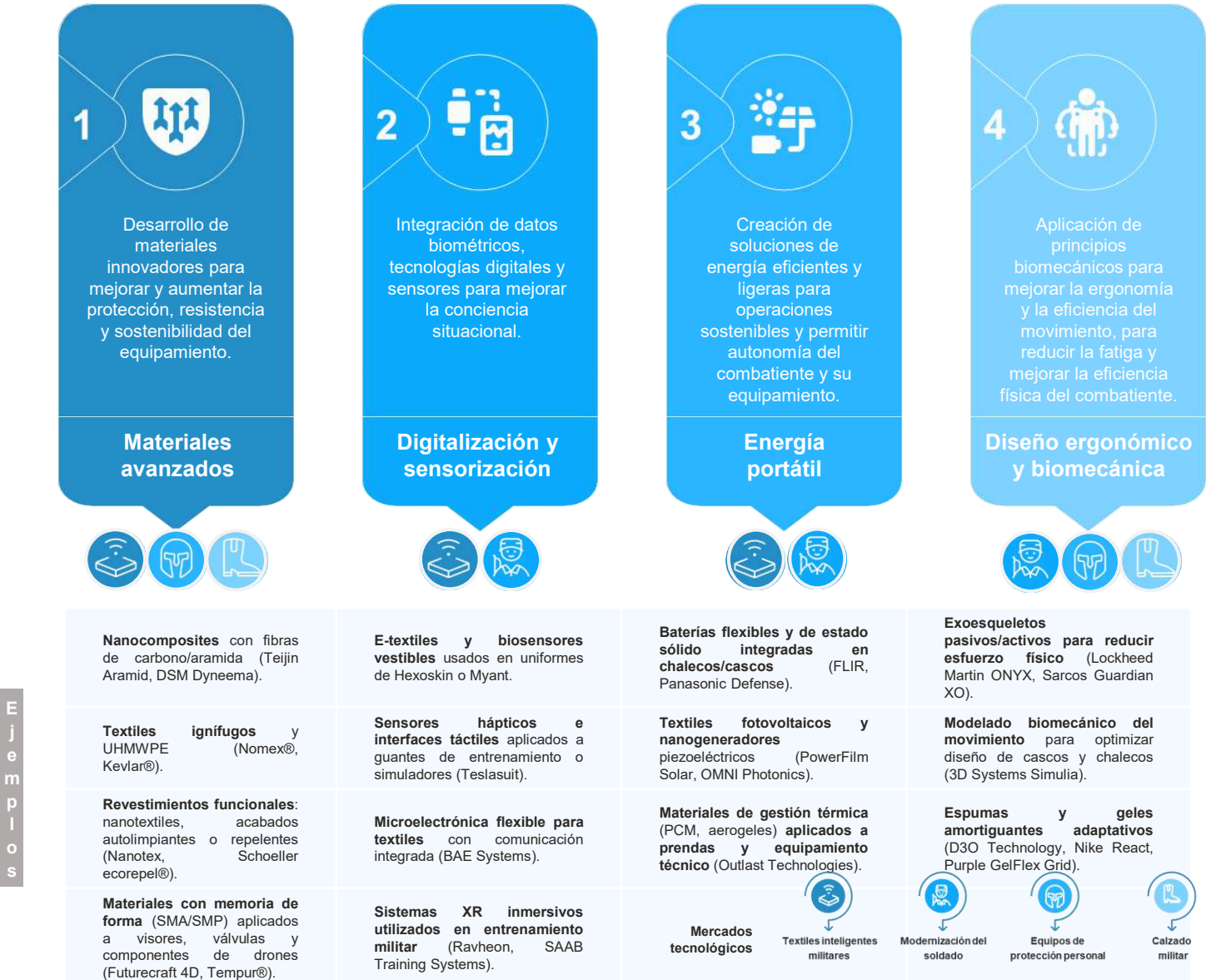
Tecnologías habilitadoras mercados del combatiente

La innovación en defensa está migrando de los sistemas de armamento hacia la **optimización del soldado como sistema**. En este proceso, los ejes habilitadores del ecosistema del combatiente definen el espacio común entre las necesidades operativas y las oportunidades de transferencia tecnológica. A partir del análisis de los principales **mercados tecnológicos vinculados al ecosistema del combatiente**, se identifican un conjunto de **ejes habilitadores transversales** que sustentan su desarrollo. Estas tecnologías constituyen la base de las capacidades individuales del soldado moderno y articulan la evolución hacia sistemas personales **más inteligentes, ligeros y sostenibles**.

Cada eje -desde los **materiales avanzados** hasta el **diseño ergonómico y biomecánica aplicada**- integra una dimensión funcional (protección, energía, datos, ergonomía) que puede resultar extrapolable a sectores civiles. Este marco ayudará en la identificación de tecnologías duales de reparación y remanufactura con alto potencial de impacto en **indumentaria técnica, wearables, dispositivos energéticos y equipamiento ergonómico**.

En conjunto, estos pilares constituyen la base del **combatiente conectado, orientado a las eficiencia, sostenibilidad y digitalización**, que hoy es un referente para el desarrollo de soluciones duales transferibles a la industria civil.

Fuentes: Market Research Future: 1; Mordor Intelligence:1, 2; Straits Research: 1;2; Credence Research: 1 . Grand view Research, Stratview Research, Intelimarket Resarch, Giobai Growth insights, Data inteio, Verified Market Research Flaticon.



Contexto y mercado. Cuantificación de mercado

Mercados tecnológicos adyacentes al sistema del combatiente

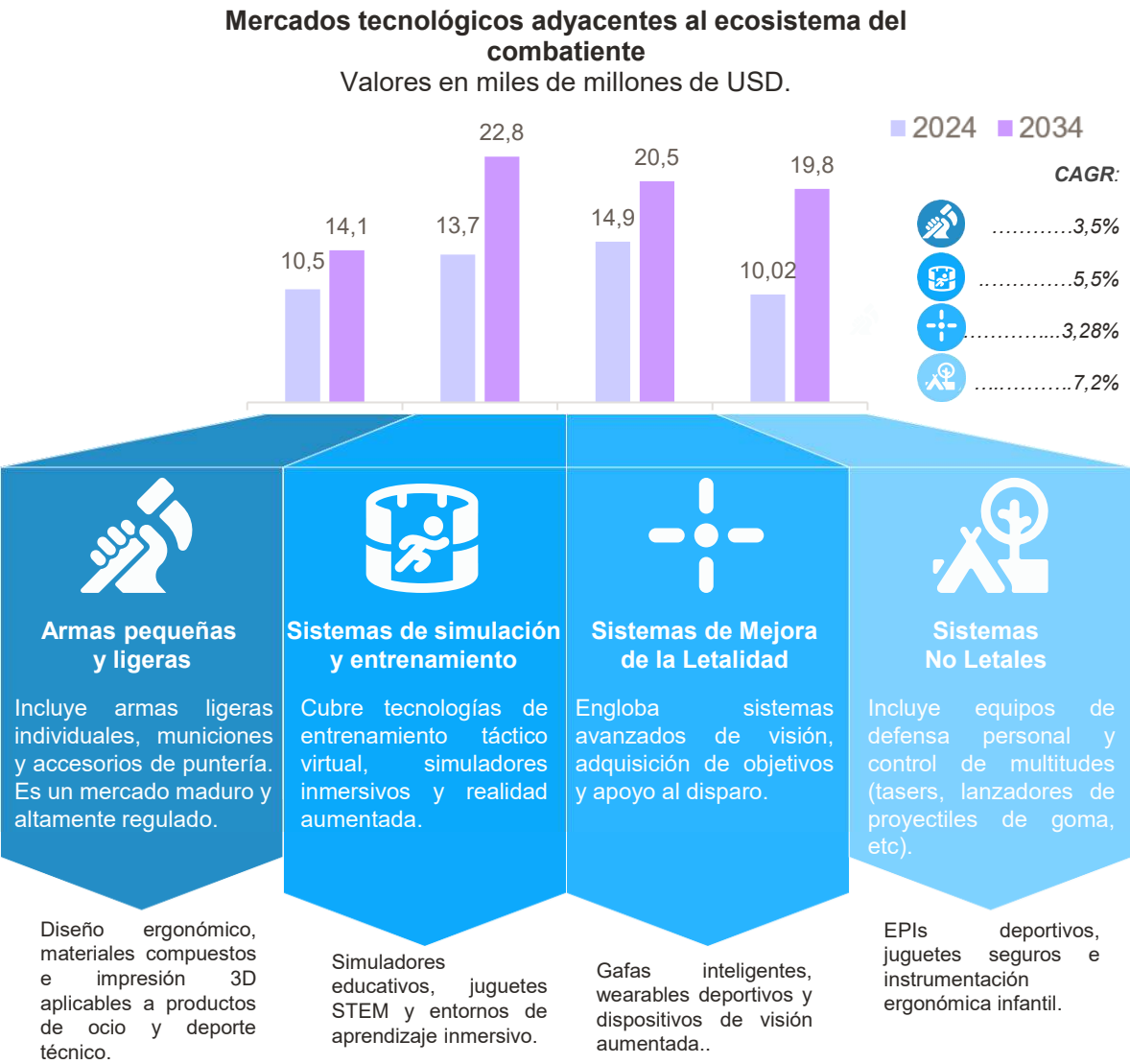
Los cuatro mercados tecnológicos analizados anteriormente, **Smart Textiles**, **PPE**, **Footwear** y **Soldier Modernization**, son parte central del ecosistema del combatiente y están centrados en la **mejora del rendimiento, la protección y la sostenibilidad del combatiente**. Estas tecnologías, de naturaleza **defensiva y funcional**, constituyen la base de la *survivability & performance* militar, orientadas a prolongar la autonomía, la seguridad y la eficiencia del soldado moderno.

Sin embargo, existen también otros **mercados adyacentes o paralelos dentro del ámbito de defensa** que, aunque no forman parte directa de los sistemas, presentan **alto potencial de innovación dual y transferencia tecnológica hacia sectores civiles**. Estos se agrupan dentro del dominio de **capacidad ofensiva (lethality)** o de **entrenamiento y control táctico**, y se caracterizan por integrar materiales avanzados, sensorización, óptica inteligente y sistemas energéticos aplicables en contextos no militares.

En el gráfico se destacan cuatro de ellos con relevancia para los sectores objetivo de este estudio (indumentaria técnica, plásticos, madera/muebles y juguetes/ocio/puericultura), que reflejan la evolución del sostenimiento militar hacia entornos **interactivos, ergonómicos y sostenibles**. En particular:

- **Training & Simulation Systems y Non-Lethal Systems** destacan por su mayor dinamismo y potencial dual, conectando defensa, ocio técnico y aprendizaje.
- **Targeting Systems y SALW (Small arms and Light weapons)** aportan innovaciones materiales y ópticas de alto valor para productos civiles inteligentes.

Fuentes: [Mordor Intelligence: 1, 2;](#) [Grand View Research](#), [Gminsights](#), [Precedence Research](#), [Flaticon](#).



Tecnologías habilitadoras capacidad ofensiva

Las tecnologías habilitadoras de capacidad ofensiva se derivan de dos grandes entornos de innovación: (1) **la investigación militar**, centrada en mejorar precisión, letalidad controlada, interoperabilidad y seguridad del combatiente, y (2) **la industria civil**, especialmente los sectores de óptica avanzada, simulación inmersiva, deporte técnico y dispositivos inteligentes.

La clasificación presentada integra ambos orígenes y organiza las tecnologías según los cuatro mercados adyacentes analizados, *armas ligeras*, *sistemas de simulación y entrenamiento*, *sistemas de mejora de la letalidad* y *sistemas no letales*, porque estos sectores concentran la mayor madurez tecnológica y el mayor flujo histórico de transferencia dual. Los avances en **materiales compuestos**, **electrónica miniaturizada**, **sensores**, **óptica** y **simulación XR** han evolucionado simultáneamente en defensa y en sectores civiles de alta exigencia técnica, convergiendo en soluciones más ligeras, precisas, seguras e inteligentes.

Aunque estas tecnologías **no son tecnologías de reparación y remanufactura en sí mismas**, son esenciales para identificar **qué elementos se reparan, reemplazan o remanufacturan en estos mercados**, dado que cada una de ellas introduce nuevos requisitos de mantenimiento, ciclos de vida y logística técnica. Por ejemplo, los sistemas de visión térmica requieren recambios ópticos y calibración; las armas ligeras de polímeros reforzados implican técnicas específicas para reparación estructural; los dispositivos XR utilizados en entrenamiento militar comparten procesos de mantenimiento con simuladores avanzados de uso civil.



Armas pequeñas y ligeras

Incorporan materiales compuestos, recubrimientos avanzados y ópticas inteligentes procedentes tanto de I+D militar como de innovaciones civiles en polímeros y microelectrónica. La tendencia es hacia sistemas más ligeros, modulares y con sensores integrados.



Sistemas de simulación y entrenamiento

Combina tecnologías militares de entrenamiento con avances civiles en XR, videojuegos, háptica e IA. Se impulsa la creación de simuladores ligeros, wearables inmersivos y plataformas XR interoperables.



Sistemas de Mejora de la Letalidad

Integran óptica avanzada, sensores térmicos, electrónica miniaturizada y AR, fusionando desarrollos militares con soluciones civiles de óptica deportiva y wearables inteligentes.



Sistemas No Letales

Adoptan polímeros estructurales, baterías compactas, sensores de seguridad y ergonomía avanzada, con fuerte influencia de tecnologías civiles. Se orientan a ser más seguros y eficientes energéticamente. Su mantenimiento requiere reciclaje o sustitución de carcasas poliméricas, revisión electrónica y control de mecanismos electro-mecánicos.

Materiales compuestos ligeros y de alta resistencia	Sistemas XR inmersivos para tiro táctico (VirTra, Meggitt FATS).	Sistemas avanzados de visión y targeting: Cámaras térmicas compactas, visión nocturna digital, LIDAR miniaturizado.	Electroestimulación controlada (tasers): Investigaciones en baterías de alta descarga , circuitos compactos y sistemas de seguridad.
Microcomponentes metálicos y fabricación aditiva para precisión	Simuladores de retroceso y balística para entrenamiento seguro.	Wearables tácticos inteligentes: Gafas de realidad aumentada para adquisición de objetivos, HUDs tácticos ligeros.	Lanzadores de proyectiles de goma y sistemas de dispersión: Materiales poliméricos optimizados para impactos controlados y mínima penetración.
Optoelectrónica aplicada a armas ligeras y sensores de retroceso.	Sensores hápticos avanzados: Chalecos con retroalimentación, armas simuladas con vibración, guantes hápticos.	Sistemas integrados de puntería asistida: Corrección automática de movimiento, estabilización, sensores de postura.	
Plataformas “connected soldier-weapon” para datos de rendimiento y mantenimiento.			

Fuentes: [Emerging AI technologies inspiring the next generation of e-textiles, USA - Defense Logistics Agency, Public Spend Forum, Program Executive Office Soldier, Science Direct: 1, 2; Vestlife project, Hexoskin, American Journal of Materials Engineering, UCF, DARPA, INTERPLANIX, QESIA Group, BAE Systems: 1, 2, 3; Simulya Dassault Systems, CW Composites World, US department of War. Flaticon.](#)



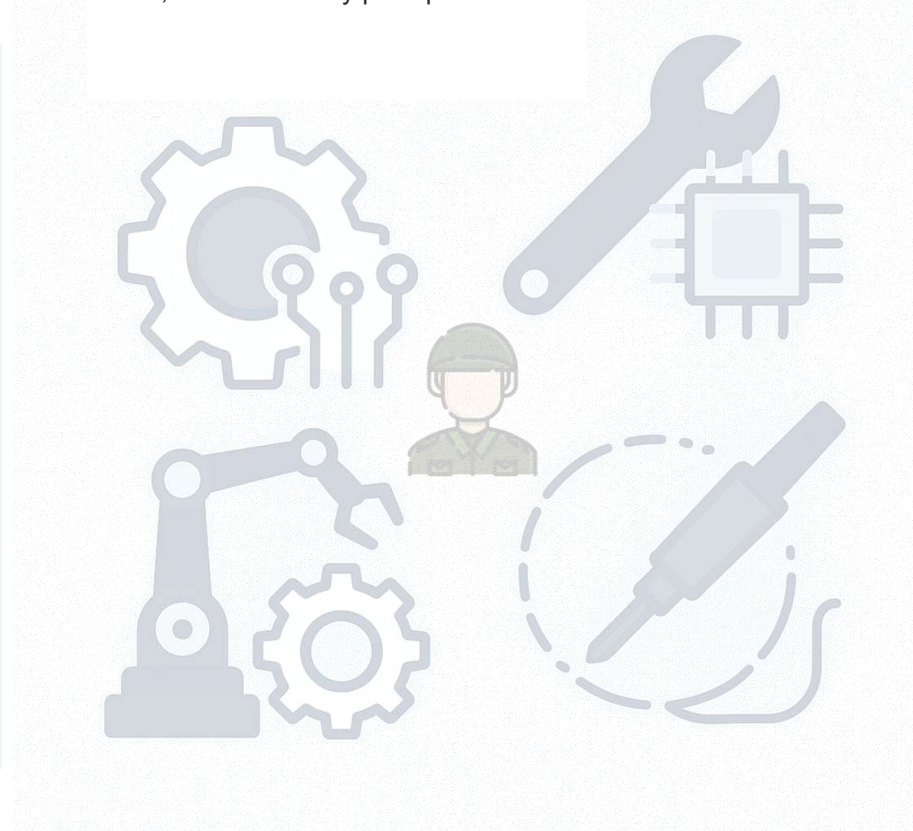
Identificación de las tecnologías clave de remanufactura en el ámbito militar/defensa y descripción de casos de uso de las tecnologías mapeadas

Identificación de las tecnologías clave empleadas – MRO en defensa

El análisis del contexto global y del mercado de MRO en defensa permite comprender cómo la reparación y la remanufactura se han convertido en ejes estratégicos de sostenibilidad, eficiencia y autonomía tecnológica. La digitalización del mantenimiento, junto con la evolución de tecnologías de reparación avanzada y remanufactura, están redefiniendo los modelos de gestión del ciclo de vida en las fuerzas armadas y generando soluciones de alto valor añadido con potencial de transferencia civil. Teniendo en cuenta lo anterior, este apartado del estudio se centra en la identificación de las tecnologías duales de reparación y remanufactura empleadas actualmente en defensa, describiendo sus características técnicas, casos de uso y principales actores industriales.

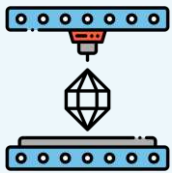
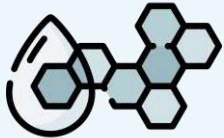
Para ello, además de la información analizada en el anterior apartado, se ha realizado una revisión de documentación oficial y fuentes abiertas, como la [Estrategia de Tecnología e Innovación para la Defensa \(ETID 2020\)](#) para identificar qué tecnologías vinculadas al mantenimiento y sostenimiento de plataformas militares podrían considerarse duales y transferibles a sectores civiles. En esta revisión se encontraron líneas de I+D que fomentan la integración de sistemas de mantenimiento preventivo y predictivo y de procesos de reparación en las plataformas, el desarrollo de algoritmos de inteligencia artificial para predecir la vida útil de los componentes, el uso de simulación, realidad virtual y gemelos digitales como apoyo al ciclo de vida de las plataformas, y la investigación en recubrimientos y materiales para proteger frente a la corrosión y degradación.

Asimismo, se consultó el informe “[Tecnologías de alto impacto para la defensa en el entorno operativo 2035](#)” del Ministerio de Defensa, cuya lista de sinergias logísticas menciona expresamente la fabricación aditiva de piezas críticas como solución para el sostenimiento en entornos operativos. En paralelo, se realizó una revisión de fuentes abiertas de carácter técnico y de mercado y artículos especializados en Additive Manufacturing, Directed Energy Deposition, Cold Spray, Friction Stir Welding, NDT y Digital Twins, para identificar las tecnologías actualmente aplicadas en entornos militares de mantenimiento y reparación.



Identificación de las tecnologías clave empleadas – MRO en defensa

La tabla organiza las tecnologías duales en grupos que reflejan las distintas fases y necesidades de la reparación y la remanufactura en el ámbito militar. Los grupos no son homogéneos: algunos recogen procesos de intervención física sobre el componente, mientras que otros incluyen herramientas de diagnóstico y gestión que permiten planificar y optimizar esas intervenciones. En resumen, la tabla clasifica las tecnologías duales según su función: unas (cold spray, recargue láser, FSW) realizan la reparación física del componente, otras (NDT, CT, bancos de prueba) permiten diagnosticar qué reparar, y un tercer grupo (IA predictiva, gemelos digitales) apoya la planificación y gestión de la remanufactura.

Categoría	Tecnología	Descripción
Fabricación aditiva y reparación estructural 	<i>Cold spray (CSAM)</i>	Proceso aditivo en estado sólido que acelera partículas metálicas a alta velocidad para formar capas sin fundir la base; restaura geometrías perdidas y refuerza superficies.
	<i>Recargue láser (laser cladding)</i>	Haz láser que funde polvo o hilos metálicos generando un recubrimiento denso metalúrgicamente unido; permite reparar desgastes con poca distorsión térmica.
	<i>Directed Energy Deposition (DED)</i>	Proceso aditivo en el que un láser o haz de electrones deposita material fundido (polvo o hilos) en regiones dañadas; ideal para reparaciones de aleaciones costosas.
	<i>Friction Stir Welding (FSW) y reparación en estado sólido</i>	Técnica de soldadura en estado sólido donde un útil rotativo mezcla el material base sin fundirlo; crea uniones robustas y de alta integridad para reparaciones estructurales.
	<i>Fabricación aditiva de repuestos críticos</i>	Uso de impresión 3D (metálica o polimérica) para fabricar piezas de repuesto y utillaje bajo demanda en entornos operativos o talleres de MRO.
Procesos avanzados de reparación y recubrimientos 	<i>Recubrimientos funcionales y autorreparables</i>	Películas protectoras que incorporan microcápsulas o aditivos capaces de auto-sellarse tras un daño; aportan propiedades autolimpiantes o antifricción.
	<i>Recubrimientos anticorrosión/antiabrasión</i>	Capas metálicas o cerámicas aplicadas por proyección térmica o vapor para proteger frente a corrosión, desgaste y temperaturas extremas.
	<i>Soldadura láser y mecanizado de precisión</i>	Uso de láser de alta energía para soldar o reparar microgrietas, combinado con mecanizado de precisión para restaurar tolerancias dimensionales.
	<i>EHLA (Extreme High-speed Laser Application)</i>	Variante de laser cladding que deposita recubrimientos muy finos a gran velocidad, reduciendo el aporte térmico y permitiendo tratamientos de grandes superficies.

Identificación de las tecnologías clave empleadas – MRO en defensa

La tabla organiza las tecnologías duales en grupos que reflejan las distintas fases y necesidades de la reparación y la remanufactura en el ámbito militar. Los grupos no son homogéneos: algunos recogen procesos de intervención física sobre el componente, mientras que otros incluyen herramientas de diagnóstico y gestión que permiten planificar y optimizar esas intervenciones. En resumen, la tabla clasifica las tecnologías duales según su función: unas (cold spray, recargue láser, FSW) realizan la reparación física del componente, otras (NDT, CT, bancos de prueba) permiten diagnosticar qué reparar, y un tercer grupo (IA predictiva, gemelos digitales) apoya la planificación y gestión de la remanufactura.

Categoría	Tecnología	Descripción
Diagnóstico, inspección y robótica	<i>Inspección no destructiva (ultrasonido, rayos X, Eddy currents, partículas magnéticas)</i>	Conjunto de técnicas para detectar fallas internas y superficiales sin destruir la pieza; incluye ultrasonidos, radiografía, corrientes de Eddy y partículas magnéticas.
	<i>Tomografía computarizada (CT)</i>	Escaneo volumétrico mediante rayos X o gamma para reconstruir la geometría interna y localizar poros o delaminaciones en componentes complejos.
	<i>Robots y drones de inspección y reparación</i>	Plataformas robóticas equipadas con cámaras, sensores y herramientas que automatizan la inspección y pequeñas reparaciones en fuselajes, discos de turbina y estructuras navales.
	<i>Bancos de prueba y reingeniería electrónica</i>	Equipos de ensayo para validar y reacondicionar módulos electrónicos; permiten reingeniería y actualización de sistemas navales y aeronáuticos.
Digitalización, IA y mantenimiento predictivo	<i>Gemelos digitales y simulación (RA/RV)</i>	<i>Representaciones virtuales del activo físico que permiten simular reparaciones, planificar intervenciones y entrenar a operadores mediante realidad virtual/aumentada.</i>
	<i>Data-driven remanufactura (cadenas MRO digitales)</i>	<i>Metodologías que utilizan datos operacionales y de mantenimiento para optimizar los procesos de remanufactura y logística, combinando análisis predictivo y automatización.</i>

Identificación de las tecnologías clave empleadas – MRO en defensa

La tabla organiza las tecnologías duales en grupos que reflejan las distintas fases y necesidades de la reparación y la remanufactura en el ámbito militar. Los grupos no son homogéneos: algunos recogen procesos de intervención física sobre el componente, mientras que otros incluyen herramientas de diagnóstico y gestión que permiten planificar y optimizar esas intervenciones. En resumen, la tabla clasifica las tecnologías duales según su función: unas (cold spray, recargue láser, FSW) realizan la reparación física del componente, otras (NDT, CT, bancos de prueba) permiten diagnosticar qué reparar, y un tercer grupo (IA predictiva, gemelos digitales) apoya la planificación y gestión de la remanufactura.

Categoría	Tecnología	Descripción
Reciclaje, remanufactura y economía circular	<i>Reciclaje y reprocesado de composites</i>	Técnicas para recuperar fibra de carbono y resinas de componentes desechados; incluye pirólisis controlada y procesos mecánico-químicos.
	<i>Recuperación y reutilización de fibras y materiales</i>	Procesos de desmontaje y separación para recuperar metales y fibras de alta resistencia de equipos obsoletos.
	<i>Reciclaje químico de polímeros</i>	Transformación de polímeros y elastómeros en monómeros o materias primas mediante procesos químicos controlados.
	<i>Economía circular y reutilización de componentes</i>	Estrategias que fomentan el reuso de componentes y la recertificación de piezas para reducir residuos y consumo de materias primas.
Remanufactura y reacondicionamiento de sistemas	<i>Overhaul modular y reacondicionamiento de motores y transmisiones</i>	Desmontaje, limpieza, reparación y reensamblaje de subsistemas con garantía equivalente a un producto nuevo; se aplican controles de calidad y certificación.
	<i>Reingeniería de sistemas y modernización</i>	Actualización de sistemas para incorporar tecnologías de última generación, aumentar la eficiencia y prolongar su vida operativa.
	<i>Remanufactura de sistemas navales</i>	Recuperación y reacondicionamiento de equipos navales, sistemas de propulsión y armamento para mantener la flota operativa con estándares actuales.

Casos de uso de las tecnologías de defensa y su aplicación en otras industrias

Fabricación aditiva y reparación estructural

Directed Energy Deposition (DED)

La **Directed Energy Deposition (DED)** inicia en el ámbito militar en 2004 con el Mobile Parts Hospital (MPH) desplegado por el U.S. Army en Kuwait, que integraba Directed Material Deposition (DMD™) basado en LENS® para fabricar y reconstruir piezas metálicas near-net shape desde modelos CAD dentro de módulos móviles.

Esta capacidad de deposición dirigida se ha seguido utilizando en **mantenimiento militar**. Un ejemplo reciente es 2023, cuando la U.S. Navy comunicó que una tecnología de cold spray metallization (deposición dirigida para restauración dimensional/superficial) pasó de demostración a uso en depot, siendo implantada en líneas de mantenimiento vinculadas a Fleet Readiness Center East (FRCE).

Aplicación en el ámbito civil:

En civil, la DED se usa en **reparación de componentes de alto valor** (por ejemplo, turbinas) añadiendo material de forma localizada con bajo efecto térmico. Optomec describe su proceso **LENS** como reparación dirigida que aporta material solo en zonas desgastadas o dañadas, pensado para componentes sensibles como los de **motores de turbina de gas**.



Fabricación aditiva y reparación estructural

Fabricación aditiva de repuestos críticos

Marineros a bordo del USS Bataan (LHD-5) fabricaron en 2023 mediante impresión 3D una pieza metálica funcional ("sprayer plate") para **reparar el sistema de lastre del buque**, utilizando un sistema de fabricación aditiva instalado a bordo con apoyo del Johns Hopkins Applied Physics Laboratory. Un uso similar se documentó en 2024 en el USS Somerset (LPD-25), donde durante el ejercicio RIMPAC 2024 la tripulación fabricó una pieza de reemplazo para resolver una avería **sin depender de suministros externos**.

Fuera del ámbito naval, en 2022, la U.S. Air Force empleó fabricación aditiva en **bases aéreas** para producir repuestos y componentes obsoletos, reduciendo plazos y costes frente a proveedores tradicionales.

Aplicación en el ámbito civil:

En el ámbito civil, la fabricación aditiva bajo demanda se aplica tanto a producto final como a mantenimiento industrial. Gantri produce sistemas de iluminación mediante impresión 3D solo cuando existe un pedido, eliminando inventarios y moldes. En paralelo, Siemens Energy emplea fabricación aditiva para repuestos bajo demanda en equipos industriales.



Casos de uso de las tecnologías de defensa y su aplicación en otras industrias

Procesos avanzados de reparación y recubrimientos

Recubrimientos funcionales y autorreparables

En el ámbito militar se han desarrollado **recubrimientos funcionales autorreparables** para mantener prestaciones tras daños superficiales. El programa **SERDP/ESTCP** ha financiado recubrimientos poliméricos con enlaces químicos dinámicos, capaces de cerrar microfisuras y recuperar propiedades mecánicas tras impactos leves o abrasión.

En paralelo, la empresa **HIT (High Caliber Safety & Security)** comercializa **BattleJacket®**, un recubrimiento **self-sealing/self-healing** aplicado en **vehículos y depósitos militares**, diseñado para sellar perforaciones pequeñas y limitar la degradación funcional durante el servicio.



Aplicación en el ámbito civil:

En el ámbito civil, en 2021, BMW describió que el BMW iX integra un panel frontal con capa de poliuretano autorreparable, capaz de **eliminar arañazos superficiales en unas 24 horas** a temperatura ambiente o en minutos con aire caliente. En 2023, Hyundai Motor Group presentó en Nano Tech Day sus “self-healing polymer coatings” como tecnología para superficies exteriores y zonas de sensores; cobertura abierta recogió que el recubrimiento puede cerrar daños leves en torno a 2 horas.

Procesos avanzados de reparación y recubrimientos

Recubrimientos anticorrosión/antiabrasión

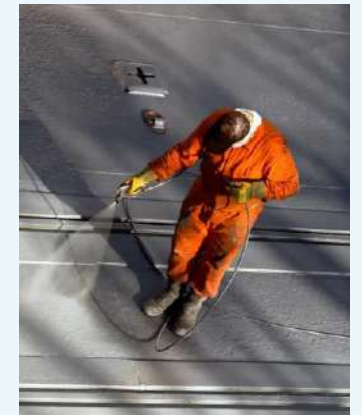
En 2011, la U.S. Air Force realizó una demostración en un C-5 Galaxy, aplicando un **recubrimiento anticorrosivo inteligente** en la puerta trasera del avión. El panel fue operado durante 12 meses y más de 290 horas de vuelo, manteniéndose sin corrosión ni pérdida de adherencia según las inspecciones.

Posteriormente, entre 2018 y 2022, el programa SERDP/ESTCP desarrolló un **recubrimiento anticorrosivo autorreparable** para aplicaciones aeronáuticas (WP18-1531), basado en inhibidores de corrosión encapsulados que se liberan tras un daño y restauran localmente la protección sin intervención manual.

Aplicación en el ámbito civil:

En el ámbito civil, los recubrimientos anticorrosión están ampliamente implantados en el **sector marítimo**. Nippon Paint Marine ofrece recubrimientos para tanques de lastre y cascos con tecnologías “self-indicating” que facilitan el control del estado del recubrimiento.

Jotun suministra sistemas anticorrosivos para flotas comerciales, orientados a prolongar la vida útil y reducir ciclos de mantenimiento.



Casos de uso de las tecnologías de defensa y su aplicación en otras industrias

Diagnóstico, inspección y robótica

Inspección no destructiva (ultrasonido, rayos X, Eddy currents, partículas magnéticas)

En el ámbito militar, la inspección no destructiva (NDT) es una práctica operativa **consolidada**.

En 2020, técnicos del 355th Equipment Maintenance Squadron en Davis-Monthan AFB inspeccionaron tornillería y componentes de aeronaves con ultrasonidos, rayos X, corrientes inducidas (eddy currents) y partículas magnéticas, dentro de un laboratorio NDI en uso estable.

En 2019, el Fleet Readiness Center Southwest (NAVAIR) aplicó UT, eddy current y radiología (X-ray) para sostener V-22 Osprey, F/A-18 y E-2/C-2, con certificación de nivel “depot”, también en uso estable. En 2018, ECIS se empleó para detectar defectos en el motor F135 del F-35 mediante inspección por corrientes inducidas, con madurez operacional.

Aplicación en el ámbito civil:

En civil, la NDT es estándar en **sectores regulados**. Empresas de aviación comercial emplean ultrasonidos y eddy currents en mantenimiento de flotas: En septiembre de 2024, Airbus **referenció el equipo Smart UE1** (UT & ET) de Testia, filial de Airbus especializada en ensayos no destructivos, certificación y servicios de calidad para el sector aeroespacial, en 185 procedimientos NTM para mantenimiento de aeronaves, en uso comercial.



Diagnóstico, inspección y robótica

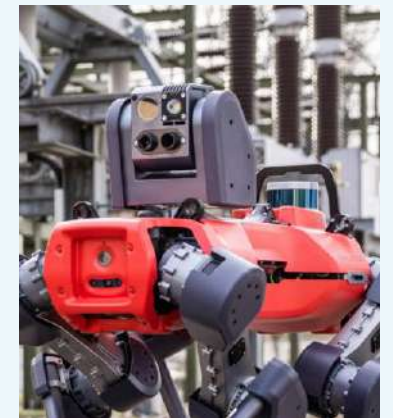
Robots y drones de inspección y reparación

En 2021–2023 la US Navy probó **sistemas robóticos teleoperados** Guardian DX y Sapien Sea Class con Sarcos Technology para tareas de inspección visual y retirada de corrosión/pintura en casco de buques, demostrando capacidades de mantenimiento y reparación asistida por robot en uso piloto/ensayo en astilleros navales.

En paralelo, Gecko Robotics recibió contratos con la US Navy para desplegar **robots autónomos que escalan estructuras de navíos** y generan datos estructurales para mantenimiento predictivo y reparación, con planes de ampliar despliegues en portaaviones y submarinos.

Aplicación en el ámbito civil:

En el ámbito civil, el uso de robots y drones de inspección y reparación está hoy extendido en sectores como **energía, infraestructuras críticas, oil & gas y eólica offshore**, donde se combinan inspección remota y tareas básicas de mantenimiento correctivo. Empresas privadas como ANYbotics (robots cuadrúpedos para plantas industriales) o Flyability (drones en espacios confinados) operan estos sistemas en uso comercial reduciendo riesgos humanos y paradas operativas.



Casos de uso de las tecnologías de defensa y su aplicación en otras industrias

Reciclaje, remanufactura y economía circular

Reciclaje y reprocesado de composites

En el ámbito militar se desarrollan estrategias de reciclaje y reprocesado de composites para reducir residuos de programas aeronáuticos y recuperar fibra de carbono de alto valor procedente de preregs (material compuesto avanzado de fibra preimpregnada con resina, ampliamente utilizado en aeronáutica y defensa) y componentes retirados.

En 2025, un proyecto ESTCP (Environmental Security Technology Certification Program del Departamento de Defensa de los Estados Unidos) demostró la pirólisis controlada de preregs IM7-977 procedentes de residuos aeroespaciales del Departamento de Defensa de los Estados Unidos, recuperando fibra que se reutilizó en nuevos laminados y paneles estructurales mediante el sistema TuFF*. En 2020, otro ESTCP (WP20-1491) validó procesos químico-oxidativos para separar resinas termoestables y reciclar la fibra para usos no críticos en defensa.

Aplicación en el ámbito civil:

En el ámbito civil, el reciclaje de composites se aplica cuando sectores como aeronáutica, eólica y automoción buscan valorizar residuos de fibra de carbono y reducir costes de materia prima. En 2024, Vartega operó procesos mecánico-químicos para recuperar fibra reciclada y comercializarla en formatos industriales estándar (EasyFeed Bundles), en uso comercial.



Reciclaje, remanufactura y economía circular

Economía circular y reutilización de componentes

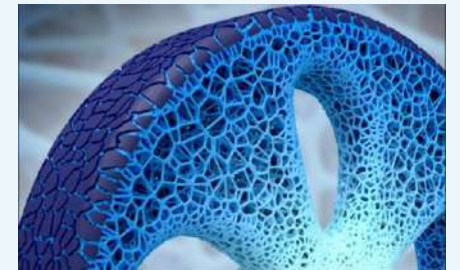
En el ámbito militar, la economía circular se aplica para recuperar materiales críticos y evitar fabricar desde cero cuando la materia prima es cara o estratégica.

En 2025, la Defense Logistics Agency (DLA) Disposition Services gestionó la recuperación de materiales a partir de equipos excedentes, incluyendo el reaprovechamiento de metales valiosos en baterías de plata-zinc usadas por la Naval Air Warfare Center Weapons Division (China Lake); madurez uso estable.

En 2019, Anniston Army Depot (ANAD) describió procesos de remanufactura para devolver piezas de vehículos blindados a especificación y reintroducirlas en servicio, reduciendo consumo de acero/aleaciones en repuestos nuevos; madurez uso estable.

Aplicación en el ámbito civil:

En el ámbito civil, la economía circular se usa para bajar la dependencia de materia prima virgen manteniendo rendimiento y coste. En 2024, Michelin amplió REMIX 2 y cuantificó ahorro de materias primas por neumático recauchutado frente a uno nuevo, en uso comercial.



Casos de uso de las tecnologías de defensa y su aplicación en otras industrias

Digitalización, IA y mantenimiento predictivo

Gemelos digitales y simulación (RA/RV)

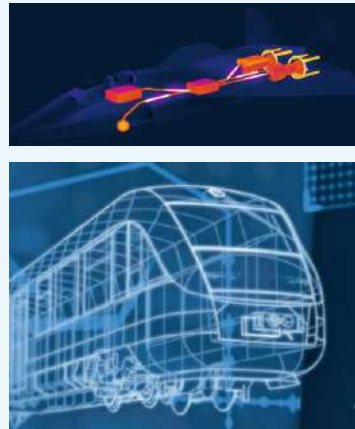
El uso de **gemelos digitales y simulación** es empleado en el ámbito militar para entrenar reparaciones caras o peligrosas con escenarios complejos.

Por ejemplo, en la base militar Travis Air Force Base de los EEUU se emplea entrenamiento VR para la mejora de la formación técnica y la reducción del uso de aeronaves reales de forma que se acelera la capacitación y permite prácticas seguras y repetibles para aviadores.

En 2021, la US Navy reportó que emplea gemelos digitales de buques para probar actualizaciones y arreglos antes de aplicarlos en la vida real, apoyando planificación de sustainment/maintenance en portaaviones y destructores; el sistema está en uso operativo inicial con ampliación planeada.

Aplicación en el ámbito civil:

En civil, los gemelos digitales se usan para **simular mantenimiento y planificar reparaciones** antes de parar el activo. Rolls-Royce aplica digital twins a motores en servicio para ajustar planes de mantenimiento según condición (uso comercial). En 2024, GE Aerospace describe modelos digital twin que predicen alcance y piezas de una reparación meses antes de la entrada a taller de MRO (uso comercial).



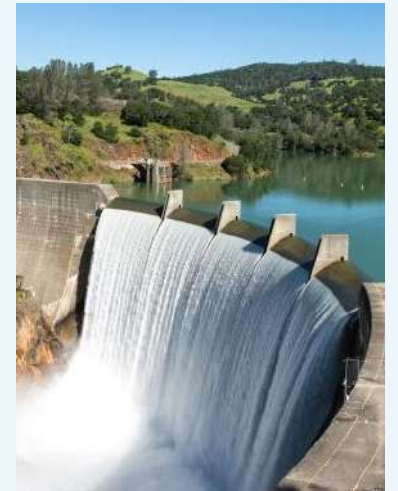
Remanufactura y reacondicionamiento de sistemas

Reingeniería de sistemas y modernización

En el Ejército de Tierra español, la reingeniería y modernización de sistemas se aplica para prolongar la vida operativa de plataformas existentes dentro del programa Fuerza 35, mediante la sustitución y actualización de flotas y capacidades logísticas. Un ejemplo es la incorporación del Vehículo Medio de Transporte Táctico (VMTT) fabricado por ITURRI, que reemplaza progresivamente a vehículos obsoletos integrando tecnologías y prestaciones actuales, reduciendo costes de ciclo de vida y mejorando la eficiencia operativa.

Aplicación en el ámbito civil:

En el ámbito civil, la empresa GE Vernova's Hydro Power business ha sido seleccionado para rehabilitar y mejorar unidades de centrales hidroeléctricas existentes, extendiendo significativamente su vida útil y mejorando rendimiento. También se emplea la reingeniería en ámbitos como el transporte: la empresa Alstom ha obtenido un contrato para modernizar y diseñar la primera línea de metro de Madrid sin conductor.



Casos de uso de las tecnologías de defensa y su aplicación en otras industrias

Diagnóstico, inspección y robótica

Drones de inspección

Los drones de inspección en el ámbito militar europeo se están incorporando como herramientas clave de apoyo al mantenimiento avanzado, en línea con la [Estrategia Europea de Drones 2.0](#), que promueve el uso de sistemas no tripulados en contextos de seguridad y defensa dentro de la UE. Estos sistemas permiten realizar inspecciones visuales y diagnósticos no destructivos de infraestructuras y activos militares, facilitando la toma de decisiones en procesos de reparación, reacondicionamiento y extensión de la vida útil. En el Ejército español se dispone de drones con capacidades aplicables a la inspección visual de infraestructuras al incorporar cámaras electro-ópticas e infrarrojas de alta resolución en nuevos sistemas como el programa [SIRTAP](#), desarrollado por Airbus Defence and Space.

Aplicación en el ámbito civil:

Estas capacidades de inspección se han transferido a otros sectores civiles. Un ejemplo es el proyecto [Dronument](#) de la Universidad Técnica Checa en Praga para su uso en **inspección del patrimonio cultural** o bien su uso para inspección de alcantarillado como emplea la empresa pública Canal de Isabel II para la [inspección del alcantarillado](#) de la ciudad de Madrid. También También, el proyecto [DRONSafe](#) despegue drones en la agricultura valenciana para mejorar el **control de plagas**.



Diagnóstico, inspección y robótica

Sensores embebidos

En el ámbito militar, un ejemplo claro del uso de sensores embebidos orientados a facilitar la reparación y la remanufactura es el helicóptero [H225M Caracal](#) de [Airbus Helicopters](#), en servicio en varias fuerzas armadas europeas. Esta plataforma incorpora de serie un Health and Usage Monitoring System (HUMS) que integra sensores de vibración, temperatura y carga en componentes críticos como el sistema de transmisión, los rotores y el tren de potencia. Los datos recogidos durante la operación permiten evaluar el desgaste real y la fatiga de los componentes, apoyando decisiones de mantenimiento basadas en condición. Este enfoque facilita la reparación y el reacondicionamiento selectivo de subconjuntos, contribuyendo a la extensión de la vida útil del helicóptero y alineándose con estrategias avanzadas de mantenimiento y remanufactura en el ámbito militar.

Aplicación en el ámbito civil:

En el ámbito **civil**, un ejemplo es la solución [SKF Insight Rail](#), desarrollada y suministrada por la empresa **SKF**, que ya se utiliza en **operadores ferroviarios europeos** para monitorizar el estado de bogies, ejes y rodamientos. Otro enfoque es el uso de estos sensores en **ascensores y escaleras mecánicas** como hace la empresa [KONE](#).



Casos de uso de las tecnologías de defensa y su aplicación en otras industrias

Procesos avanzados de reparación y recubrimientos

Tratamientos térmicos

En el ámbito militar, los tratamientos térmicos se emplean como parte de procesos de **reparación y extensión de vida útil de componentes metálicos**. Empresas especializadas como Bodycote aplican *stress relieving*, *quenching and tempering* y *nitriding / nitrocarburizing* para eliminar tensiones residuales, restaurar propiedades mecánicas y mejorar la resistencia al desgaste y a la fatiga en componentes aeroespaciales y de defensa, facilitando su reutilización sin añadir material nuevo.

Aplicación en el ámbito civil:

En el ámbito civil, estos mismos tratamientos térmicos se utilizan en sectores industriales como maquinaria, transmisión de potencia y bienes de equipo. Empresas como Aalberts Surface Technologies aplican *stress relieving*, *quenching and tempering* y tratamientos termoquímicos para el reacondicionamiento de ejes, engranajes y estructuras metálicas, permitiendo la reparación y remanufactura de **componentes industriales** y contribuyendo a la extensión de su vida útil.



Procesos avanzados de reparación y recubrimientos

Adhesivos estructurales de altas prestaciones

En el ámbito militar, los adhesivos estructurales de altas prestaciones se utilizan de forma habitual en procesos de mantenimiento y reparación de estructuras, especialmente en plataformas aeronáuticas y vehículos militares. Un ejemplo es la gama Scotch-Weld™ Structural Adhesives de 3M, empleada en reparaciones estructurales de aeronaves militares, sustituyendo o complementando uniones mecánicas tradicionales. Estos adhesivos están diseñados para soportar cargas estructurales, vibraciones y condiciones ambientales severas, contribuyendo a la reparación avanzada y extensión de la vida útil de componentes, en línea con enfoques de remanufactura.

Aplicación en el ámbito civil:

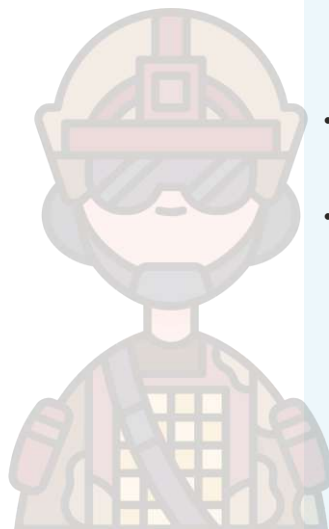
En el ámbito civil, un uso comparable se da en el **sector ferroviario europeo**, donde empresas como Sika suministran adhesivos estructurales de altas prestaciones (por ejemplo, la gama SikaPower®) para la fabricación, reparación y reacondicionamiento de trenes. Esta misma empresa dispone de productos para otras industriales como el sector de la energía con uso en turbinas de viento o para uso en el sector textil.



Identificación de las tecnologías clave empleadas - mercados del combatiente y dominios adyacentes

El análisis de los mercados tecnológicos vinculados al ecosistema del combatiente revela un conjunto de tecnologías habilitadoras que fortalecen la transición hacia sistemas personales más eficientes, conectados y sostenibles. Según informes y fuentes actualizadas como MarketsandMarkets (2024), la Agencia Europea de Defensa (EDA) y la Estrategia de Tecnología e Innovación para la Defensa (ETID 2020), las áreas más relevantes para los programas de modernización del combatiente abarcan:

- **Materiales avanzados y textiles técnicos inteligentes:** Incluyen fibras de alta tenacidad y multifuncionales (ej. aramidas como Kevlar® y Nomex®), soluciones ignífugas y recubrimientos funcionales.
- **Digitalización y sensorización:** Destacan los biosensores, tejidos inteligentes, comunicaciones vestibles y sistemas de simulación XR (ej. Hexoskin, Myant, Varjo). Están implantados en defensa, deporte y salud, permitiendo monitorización biométrica, gemelos digitales y simulación formativa.
- **Energía portátil:** Avances en baterías ligeras, textiles energéticos (fotovoltaicos), gestión térmica y sistemas para autonomía individual sustentan soluciones duales validadas en el sector de equipos de protección personal y ropa técnica.
- **Ergonomía y biomecánica aplicada:** incluyen exoesqueletos, modelado del movimiento, materiales con memoria de forma).



El listado de **tecnologías de reparación y remanufactura** se ha construido a partir del análisis combinado de los mercados del ecosistema del combatiente (*Smart Textiles*, *PPE*, *Footwear* y *Soldier Modernization*) y de los mercados adyacentes con mayor dinamismo dual (*Small Arms & Light Weapons*, *Targeting Systems*, *Simulation & Training* y *Non-Lethal Systems*). Estos mercados permiten identificar, por un lado, las tecnologías habilitadoras defensivas y ofensivas que caracterizan el equipamiento actual del combatiente, y por otro, los **componentes materiales, electrónicos y estructurales que requieren procesos específicos de reparación, reacondicionamiento o remanufactura**.

Importante:

- La **mayoría de las tecnologías de reparación y remanufactura** identificadas se originan en sectores civiles (aeroespacial, automoción, textil o de consumo) y se adaptan posteriormente al entorno militar para alargar la vida útil del equipo del combatiente. Ejemplo de ello son la proyección fría y los recubrimientos metálicos o el reciclaje de fibras de chalecos.
- Otras tecnologías, como los **laboratorios de fabricación aditiva desplegados (R-FAB)**, surgen de necesidades militares específicas pero utilizan tecnologías de impresión 3D desarrolladas en el sector civil.
- Varias soluciones resaltan la importancia de la **economía circular** en defensa: resole de botas para prolongar su uso, reciclado de fibras balísticas y la sustitución modular de componentes (interiores de cascos, paneles textiles). Por su parte, el reciclaje químico de composites y polímeros técnicos está impulsado por la necesidad de recuperar materiales estratégicos (fibras de carbono, aramidas y resinas epoxi) utilizados en plataformas aéreas y navales. Su avance se sustenta en proyectos europeos como REGEN (EDA) y EuReComp, que aplican procesos de solvolisis y pirólisis controlada para revalorizar residuos compuestos de defensa y sectores industriales civiles de alta exigencia (aeronáutico, eólico, automoción).

Identificación de las tecnologías clave empleadas - mercados del combatiente y dominios adyacentes

La tabla recoge las principales tecnologías de mantenimiento, reparación y remanufactura en los distintos mercados del combatiente. El mantenimiento del equipamiento del combatiente se apoya en procesos avanzados de materiales (proyección fría, reparación de composites, inspección ultrasónica), técnicas de economía circular (resole de botas, reciclaje de fibras balísticas), soluciones modulares (interiores 3D-printed para cascos) y tecnologías emergentes como la fabricación aditiva desplegable. Estas prácticas proceden en gran medida del ámbito civil, pero se han adaptado a las exigencias específicas del ámbito militar.

Categoría	Tecnología	Descripción
Materiales avanzados	<u>Reparación de laminados compuestos mediante scarf-repair/bonding</u>	Utiliza adhesivos estructurales y procesos de unión y curado para restaurar laminados de fibra (Kevlar, carbono) dañados. Henkel, por ejemplo, ofrece soluciones para reparaciones de tamaño reducido, fuera de autoclave y reparaciones especiales (como protección frente a rayos).
	<u>Inspección no destructiva (NDT) de placas balísticas (RUV/CT)</u>	El método de <u>Resonance Ultrasonic Vibrations (RUV)</u> monitoriza la respuesta de resonancia de una placa de armadura para identificar fisuras o delaminaciones en cerámicas sin dañar la pieza. Se utiliza en controles de producción y mantenimiento periódico de placas balísticas.
	<u>Proyección fría (cold spray) y cladding láser/DED</u>	Pulverización de partículas metálicas en estado sólido o fundición por láser para rellenar desgaste o corrosión de componentes metálicos. El Ejército de EE.UU. ha demostrado que la proyección fría permite recuperar soportes de armas de vehículos Bradley a un coste mucho menor que fabricar piezas nuevas, reduciendo el tiempo de parada y permitiendo reutilizar componentes que antes se desechaban.
Textiles técnicos y e-textiles	<u>Reparación de membranas impermeables y recubrimientos (DWR)</u>	Prolongar la vida útil de prendas y calzado militares con membranas como GORE-TEX. El ejercito de los Estados Unidos recomienda realizar reparaciones mediante centros autorizados, limpiar y secar las prendas regularmente y volver a aplicar el acabado repelente al agua cuando sea necesario.
	<u>Soldadura por ultrasonidos para circuitos textiles y uniones</u>	Las soluciones de <u>soldadura ultrasónica para textiles</u> permiten unir materiales sin necesidad de pegamentos o hilos, reduciendo el consumo de energía y permitiendo la integración de sensores conductivos en tejidos.
Textiles técnicos y PPE	<u>Sustitución de interiores de cascos impresos en 3D</u>	Sustitución del relleno de espuma de los <u>cascos militares por estructuras de celosía impresas en 3D</u> que mejoran la absorción de impactos. Estas almohadillas pueden reemplazarse de forma modular, prolongando la vida útil del casco.

Identificación de las tecnologías clave empleadas - mercados del combatiente y dominios adyacentes

La tabla recoge las principales tecnologías de mantenimiento, reparación y remanufactura en los distintos mercados del combatiente. El mantenimiento del equipamiento del combatiente se apoya en procesos avanzados de materiales (proyección fría, reparación de composites, inspección ultrasónica), técnicas de economía circular (resole de botas, reciclaje de fibras balísticas), soluciones modulares (interiores 3D-printed para cascos) y tecnologías emergentes como la fabricación aditiva desplegable. Estas prácticas proceden en gran medida del ámbito civil, pero se han adaptado a las exigencias específicas del ámbito militar.

Categoría	Tecnología	Descripción
Calzado militar	<i>Resolado y reconstrucción de botas de combate</i>	Programas de resole autorizados permiten sustituir suelas, plantillas y herrajes de las botas militares para devolverlas a condiciones “como nuevas”. Un mensaje del US Marine Corps advierte que la resuela sólo debe hacerse a través de cobblers certificados; NuShoe y Resole America ofrecen un servicio de resole por correo para Marines, evitando degradar el rendimiento de las botas.
PPE (chalecos, cascos)	<i>Reciclaje químico de fibras de aramidas</i>	Uplift360, financiada por la Defence and Security Accelerator (DASA), desarrolló un proceso de reciclaje con disolventes respetuosos que disuelve fibras de aramida (Kevlar®, Twaron®) y las vuelve a hilar para reutilizarlas en nuevos chalecos. El método reduce emisiones, preserva fibras costosas y se plantea como vía de economía circular para defensa.
Armas ligeras / equipos de misión	<i>Fabricación aditiva desplegable (R-FAB / X-FAB)</i>	Laboratorios móviles equipados con impresoras 3D permiten fabricar in situ piezas de repuesto para armas ligeras y equipos de misión. El sistema <u>R-FAB del US Army</u> puede escanear componentes dañados y producir piezas como cubiertas de lente o culatas, reduciendo la dependencia de la cadena logística.
	<i>Proyección fría / cladding láser para piezas metálicas</i>	Se utiliza para reparar montajes de armas y cañones, reduciendo el coste de sustitución y prolongando la vida útil.

Identificación de las tecnologías clave empleadas - mercados del combatiente y dominios adyacentes

La tabla recoge las principales tecnologías de mantenimiento, reparación y remanufactura en los distintos mercados del combatiente. El mantenimiento del equipamiento del combatiente se apoya en procesos avanzados de materiales (proyección fría, reparación de composites, inspección ultrasónica), técnicas de economía circular (resole de botas, reciclaje de fibras balísticas), soluciones modulares (interiores 3D-printed para cascos) y tecnologías emergentes como la fabricación aditiva desplegable. Estas prácticas proceden en gran medida del ámbito civil, pero se han adaptado a las exigencias específicas del ámbito militar.

Categoría	Tecnología	Descripción
Economía circular y fabricación sostenible	Reciclaje químico y mecánico de polímeros	Procesos de despolimerización y solvolisis aplicados a composites avanzados (fibra de carbono, aramidas) usados en plataformas de defensa y aeronáutica. En Europa, proyectos como REGEN (EDA) y EuReComp prueban su escalabilidad industrial. En civil, destacan BASF ChemCycling y Carbios con recuperación de PET y PA
	Reutilización y reprocesado de fibras textiles	Separación y reprocesado de fibras técnicas (aramida, carbono) empleadas en indumentaria balística y ropa técnica. Ejemplos: recuperación de Kevlar® por DuPont y proyectos textiles circulares de Infinited Fiber Company .
	Fabricación aditiva multimaterial	Impresión 3D de polímeros o textiles técnicos. En defensa, para componentes ligeros (<i>EOS Defense</i> trabaja impresión 3D metálica y polimérica en componentes ligeros, lo que encaja con aplicaciones civiles en moda técnica o mobiliario modular. Civil: impresión 3D en moda (<i>Stratasys x Adidas</i>) o mobiliario modular (<i>Gantri Lamps</i>).
	Diseño modular y reacondicionamiento parcial	Sustitución de piezas dañadas sin reemplazo total. Adoptado por <i>Decathlon</i> y <i>IKEA Circular Hub</i> en el sector civil.

Casos de uso de las tecnologías de defensa y su aplicación en otras industrias

Textiles técnicos y e-textiles

Soldadura por ultrasonidos para circuitos textiles y uniones

En prendas técnicas militares, la prioridad es unir sin perforar el material para **no abrir vías de entrada** (agua/agentes) y para integrar conductores sin costuras débiles. Una forma de incorporar estos circuitos es la soldadura ultrasónica, que podría ser necesaria en proyectos como el proyecto ARMETISS del centro AITEX para textiles inteligentes para uso militar.

Aplicación en el ámbito civil:

En civil, la soldadura ultrasónica es una técnica industrial para sellar y **unir textiles termoplásticos sin hilo ni adhesivos**, reduciendo consumibles y facilitando producción continua. La empresa Emerson Branson comercializa soluciones específicas de aplicación en salud como mascarillas, batas, filtros.



Textiles técnicos y PPE

Sustitución de interiores de cascos impresos en 3D

En cascos de combate, el objetivo es **reemplazar el “liner” tras golpes sin desechar todo el casco** y reducir consumo de espuma.

En 2021, General Lattice obtuvo contrato con el U.S. Army para mejorar absorción de impactos del Army Combat Helmet usando celosías generadas por modelado y fabricación aditiva.

En 2019, ARL + HRL demostraron “helmet padding” con celosías open-cell impresas en 3D.

Aplicación en el ámbito civil:

Se ha aplicado una estrategia similar en el diseño de un casco para uso en **fútbol** por parte de la empresa Riddell.



Calzado militar

Resolado y reconstrucción de botas de combate

En fuerzas armadas, la **reparación de calzado** se aborda como *sustainment*: mantener botas tácticas seguras sin consumir un par nuevo.

El programa de HAIX llamado Refurbish Program (retread + sustitución de componentes), operado con la empresa estadounidense NuShoe y usando materiales originales para devolver botas a condición “near-new”, indicando cumplimiento de requisitos militares y de la National Fire Protection Association (NFPA).

Aplicación en el ámbito civil:

En civil, el resolado se ofrece como servicio para evitar reemplazo completo y **reducir consumo de cuero/caucho**. HELM Boots mantiene un programa de resole en colaboración con NuShoe, orientado a reconstruir suelas y devolver el calzado “like new”.



Casos de uso de las tecnologías de defensa y su aplicación en otras industrias

Economía circular y fabricación sostenible

Reutilización y reprocesado de fibras textiles

En chalecos y prendas balísticas, la prioridad es **recuperar fibra técnica** cuando el material aún tiene valor fuera del uso balístico.

En **2023**, **DuPont** anunció **Kevlar® EXO™** y lo vinculó a uso en **chalecos de los U.S. Army Rangers** (soft body armor), mientras impulsa un diseño **más desmontable/reciclable** al reducir resinas y química fluorada; madurez **uso inicial + I+D de fin de vida**.

En **2023**, **Teijin Aramid** logró la producción industrial de **Twaron®** (fibra de aramida de alto rendimiento, ultrarresistente y ligera, utilizada en protección balística y aplicaciones industriales y de defensa) **con contenido reciclado**, orientado a aplicaciones de protección y textiles técnicos; madurez **industrial**.

Aplicación en el ámbito civil:

En **moda y textil técnico**, el reprocesado de fibras busca reducir algodón/polímero virgen con “fiber-to-fiber”. En 2022, **Inditex firmó un compromiso de compra** (>€100M) con **Infinited Fiber Company** para **Infinna™** una fibra fabricada desde residuo textil.



Economía circular y fabricación sostenible

Fabricación aditiva multimaterial

En el ámbito militar, la fabricación aditiva multimaterial se explora para producir y reparar componentes funcionales personalizados, incluidos elementos ligeros **integrables en equipamiento del soldado**.

Por ejemplo, en 2024, U.S. Army Development Command firmó un acuerdo de I+D con **G-Form** para desarrollar un liner de casco que combina su material SmartFlex® (polímero viscoelástico) con estructuras de celosía impresas en 3D, buscando mejorar absorción de impactos y confort; madurez prototipo/I+D aplicada.

Aplicación en el ámbito civil:

En civil, la multimaterialidad se usa para prototipar y fabricar piezas flexibles/rígidas y para impresión directa sobre tejido en moda técnica. En 2022, **Stratasys** lanzó **J850™ TechStyle™** para impresión full-color, multi-material directa a tela. En 2024–2025, **Adidas** escaló el calzado **Climacool** “casi totalmente” impreso en 3D.



Casos de uso de las tecnologías de defensa y su aplicación en otras industrias

Textiles técnicos y e-textiles

Reparación de membranas impermeables y recubrimiento

Un ejemplo de uso de tecnología prendas impermeables y transpirables con membrana GORE-TEX® diseñado para ser reparado y reacondicionado, mediante resellado de costuras, reparación de laminados y reactivación del tratamiento DWR. Por ejemplo, el ejército alemán (Bundeswehr) incorpora prendas impermeables y transpirables para sus soldados.

Aplicación en el ámbito civil:

En el ámbito civil, la marca Patagonia ofrece un **programa de reparación de prendas técnicas**, incluido equipo con membranas impermeables, que permite arreglar o reacondicionar ropa técnica en centros de reparación o enviarla para reparación profesional en Europa. En un uso más cercano a EPI y ropa de protección laboral, fabricantes como Helly Hansen Workwear emplean tecnologías de membranas impermeables reparables y tratamientos hidrofóbicos durables en prendas para entornos industriales y de emergencia, donde el reacondicionamiento y mantenimiento funcional es clave para extender la vida útil del equipo.



Economía circular y fabricación sostenible

Reciclaje químico de fibras de aramidas

En el ámbito de la protección balística personal, el reciclaje avanzado de fibras de aramida permite recuperar materiales de alto valor procedentes de chalecos y equipos fuera de servicio. Un ejemplo es Teijin Aramid, fabricante europeo de Twaron®, que desarrolla procesos de reciclaje avanzado de aramidas para reincorporar fibras recuperadas en nuevas aplicaciones de protección, reduciendo el uso de materia prima virgen y favoreciendo la circularidad en equipamiento de defensa.

Aplicación en el ámbito civil:

En el sector civil, el reciclaje químico de textiles de alto valor se aplica a distintos tipos de fibras. Worn Again ha desarrollado una tecnología de reciclaje químico capaz de separar y recuperar poliéster y celulosa a partir de residuos textiles complejos (incluidas mezclas difíciles de reciclar mecánicamente). Carbios (Francia) desarrolla un proceso de reciclaje químico enzimático del PET, capaz de convertir residuos textiles de poliéster en monómeros reutilizables para producir nuevas fibras de calidad equivalente a la virgen, demostrando la viabilidad industrial de estos enfoques circulares.





Principales actores en el ámbito

Tecnologías duales de remanufactura y reparación en defensa

Actores identificados

El conjunto de actores identificados (agencias logísticas y programas de defensa, fuerzas armadas, OEMs, MROs/depots, laboratorios aplicados y proveedores industriales) indica que la remanufactura y reparación en defensa no se gestiona como un “conjunto de tecnologías sueltas”, sino como una función estructural integrada en el ciclo de vida. Este ecosistema puede organizarse en cuatro niveles interrelacionados:

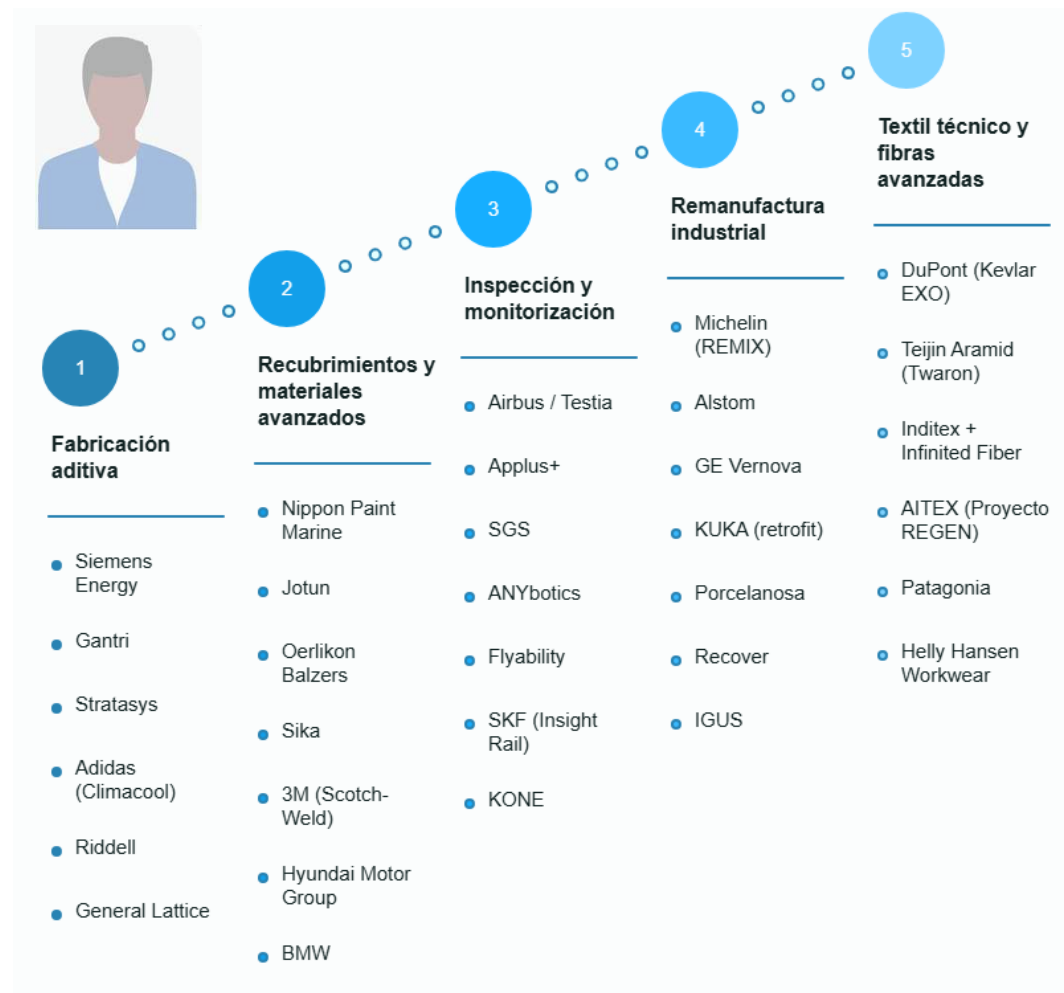


Actores identificados

Actores y programas de defensa



Actores civiles





**Potencial de las tecnologías identificadas en la
resolución de retos concretos en la industria**

Cuadro resumen comparativo con las diferentes tecnologías e industrias de aplicación

Tras analizar en detalle diversos casos de uso de tecnologías con origen en el ámbito militar que han encontrado aplicación en el sector civil, así como tecnologías desarrolladas en entornos civiles que han sido adoptadas en el ámbito de la defensa, se presenta una síntesis de los casos de uso analizados en el estudio. Esta síntesis se recoge en una tabla que relaciona, por un lado, las principales tecnologías identificadas y, por otro, el sector o sectores de la Plataforma Tecnológica Española de Sectores Manufactureros que presentan mayor potencial para su incorporación o aprovechamiento.

Tecnología	Sector	Tipo de intervención	Potencial de transferencia	Madurez	Ejemplos
Uso de impresión 3D y fabricación aditiva		Reparación localizada y fabricación de repuestos bajo demanda	La impresión 3D y la fabricación aditiva permiten la personalización de componentes funcionales, el prototipado rápido y la fabricación de elementos como interiores de cascos, protecciones y calzado técnico.	Alta (uso operativo real en defensa) TRL8-9	Adidas Climacool , Dani Peleg moda , Cascos Riddel
			Estas tecnologías posibilitan la impresión de polímeros y elastómeros para la fabricación de piezas funcionales, componentes personalizados y series cortas, reduciendo tiempos de desarrollo y costes de industrialización.		Impresión de materiales 3D de goma empresa RapidMade
			La fabricación aditiva se utiliza tanto como tecnología complementaria para componentes, uniones o moldes, como para la fabricación directa de piezas de mobiliario y elementos decorativos,.		Muebles de Gantri
			La impresión 3D se utiliza tanto para la fabricación directa de juguetes y prototipos como para su uso como un elemento recreativo en sí mismo con impresoras de tamaño reducido.		Impresoras 3D de Mattel , Juguetes 3D de Toybox Labs
			La impresión 3D cerámica permite la fabricación de geometrías complejas y componentes técnicos de alto valor añadido, ampliando las posibilidades de diseño y funcionalidad del material.		Calix Ceramic Solutions , Lithoz
			La fabricación aditiva habilita la producción bajo demanda de repuestos críticos, el desarrollo de utillaje, y la reparación, mantenimiento y modernización de maquinaria e instalaciones industriales.		Empresa Sculpteo
Directed Energy Deposition (DED) y Tratamientos térmicos		Reparaciones estructurales de alto valor para desgaste localizado de componentes metálicos	Presenta sinergias con procesos cerámicos avanzados, especialmente en utillaje, componentes técnicos y tratamientos superficiales y con gases (como el nitrógeno) aplicados a entornos de alta exigencia.	Media-alta TRL 6-7	Porcelanosa
			La tecnología DED y tratamientos térmicos permiten la reparación y el refuerzo de repuestos críticos para maquinaria e instalaciones industriales, reduciendo paradas y dependencia de la cadena de suministro.		Empresa Meltio , Empresa Lortek , Empresa Bodycote

Legenda sectores de aplicación

 Indumentaria: textil, confección, cuero y calzado.

 Caucho y materias plásticas

 Madera y muebles

 Juguete, ocio y artículos de puericultura.

 Cerámica

 Transversal

Cuadro resumen comparativo con las diferentes tecnologías e industrias de aplicación

Tras analizar en detalle diversos casos de uso de tecnologías con origen en el ámbito militar que han encontrado aplicación en el sector civil, así como tecnologías desarrolladas en entornos civiles que han sido adoptadas en el ámbito de la defensa, se presenta una síntesis de los casos de uso analizados en el estudio. Esta síntesis se recoge en una tabla que relaciona, por un lado, las principales tecnologías identificadas y, por otro, el sector o sectores de la Plataforma Tecnológica Española de Sectores Manufactureros que presentan mayor potencial para su incorporación o aprovechamiento.

Tecnología	Sector	Tipo de intervención	Potencial de transferencia	Madurez	Ejemplos
Recubrimientos funcionales, anticorrosión y autorreparables		Extensión de vida útil y protección preventiva en ambientes agresivos	Los recubrimientos funcionales aportan propiedades adicionales a textiles y cuero, como protección frente a humedad, abrasión, agentes químicos o funcionalidades antimicrobianas.	Media con aplicaciones demostradas en entornos controlados TRL6-7 para el caso de recubrimientos funcionales	Helly Hansen Workwear , Tecnologías de HeiQ
			En este sector se emplean estas estrategias para mejorar la resistencia al desgaste, la protección química y la durabilidad de componentes y productos finales.		Tecnología ContiSeal™ de Continental
			Permiten aumentar la durabilidad de superficies y acabados frente a humedad, agentes externos y desgaste, incluyendo soluciones autorreparables.		Milesi para madera
			Los recubrimientos avanzados mejoran el comportamiento frente a corrosión, temperatura y desgaste, e integran nuevas funcionalidades en productos cerámicos técnicos.		Revestimiento antimicrobiano grupo Keraben , Torrecid
			Se aplican a maquinaria, utillaje e instalaciones industriales para prolongar la vida útil, reducir mantenimiento y mejorar la fiabilidad operativa.		Recubrimientos de Oerlikon Balzers , Recubrimientos industriales anticorrosivos de Teknos

Legenda sectores de aplicación

 Indumentaria: textil, confección, cuero y calzado.

 Caucho y materias plásticas

 Madera y muebles

 Juguete, ocio y artículos de puericultura.

 Cerámica

 Transversal

Cuadro resumen comparativo con las diferentes tecnologías e industrias de aplicación

Tras analizar en detalle diversos casos de uso de tecnologías con origen en el ámbito militar que han encontrado aplicación en el sector civil, así como tecnologías desarrolladas en entornos civiles que han sido adoptadas en el ámbito de la defensa, se presenta una síntesis de los casos de uso analizados en el estudio. Esta síntesis se recoge en una tabla que relaciona, por un lado, las principales tecnologías identificadas y, por otro, el sector o sectores de la Plataforma Tecnológica Española de Sectores Manufactureros que presentan mayor potencial para su incorporación o aprovechamiento.

Tecnología	Sector	Tipo de intervención	Potencial de transferencia	Madurez	Ejemplos
Inspección no destructiva		Diagnóstico preventivo en entornos complejos de fallos no visibles	Las técnicas NDT permiten evaluar el estado de maquinaria, utillaje y componentes industriales sin detener la producción, facilitando el mantenimiento predictivo. Además, permiten realizar control de calidad por lo que de nuevo la transferencia es transversal.	Alta TRL8-9	Applus+ Laboratories , SGS
Robots y drones de inspección y reparación		Inspección en entornos complejos	Las tecnologías de robots y drones han sido transferidas al sector del juguete y el ocio en forma de dispositivos recreativos y educativos, incorporando funciones de control, sensorización y autonomía derivadas de aplicaciones industriales y militares.	Alta-Media-alta TRL 7-8-9 en fase de expansión industrial	Lego education , drones de ocio DJI
			La posibilidad de inspeccionar y operar de forma segura las instalaciones es especialmente relevante en el sector cerámico por las condiciones extremas en las que se lleva a cabo los procesos.		Automatizaciones de System Ceramics y Sacmi , dron Flyability
			Los robots y drones facilitan la inspección y reparación de instalaciones y maquinaria en entornos de difícil acceso, reduciendo riesgos y tiempos de parada.		Uso de drones de AkzoNobel para aplicar recubrimientos

Legenda sectores de aplicación

Indumentaria: textil, confección, cuero y calzado.

Caucho y materias plásticas

Madera y muebles

Juguete, ocio y artículos de puericultura.

Cerámica

Transversal

Tecnologías duales de remanufactura y reparación en defensa



Cuadro resumen comparativo con las diferentes tecnologías e industrias de aplicación

Tras analizar en detalle diversos casos de uso de tecnologías con origen en el ámbito militar que han encontrado aplicación en el sector civil, así como tecnologías desarrolladas en entornos civiles que han sido adoptadas en el ámbito de la defensa, se presenta una síntesis de los casos de uso analizados en el estudio. Esta síntesis se recoge en una tabla que relaciona, por un lado, las principales tecnologías identificadas y, por otro, el sector o sectores de la Plataforma Tecnológica Española de Sectores Manufactureros que presentan mayor potencial para su incorporación o aprovechamiento.

Tecnología	Sector	Tipo de intervención	Potencial de transferencia	Madurez	Ejemplos
Reciclaje y reprocesado de composites		Recuperación y valorización de materiales críticos - Remanufactura material	Presenta potencial en la reutilización de fibras técnicas y materiales compuestos procedentes de equipamiento de protección, posibilitando su aplicación en nuevos productos textiles funcionales.	Media TRL6-7 casos industriales emergentes	<u>Inditex</u> , <u>Infinna de</u> <u>Infinited Fiber</u>
			El reciclaje y reprocesado de materiales compuestos permite recuperar matrices poliméricas y refuerzos para su incorporación en nuevos productos, contribuyendo a la reducción de residuos y al uso más eficiente de materiales de alto valor.		<u>Recauchutado de</u> <u>neumáticos de</u> <u>camión de Michelin</u>
Economía circular y reutilización de componentes		Actualización sin sustitución total en maquinaria. Remanufactura textil técnica	La economía circular es un enfoque transversal aplicable a todos los sectores manufactureros, orientado a prolongar la vida útil de productos, materiales y componentes mediante reparación, reutilización, reacondicionamiento y reciclaje. Estas estrategias reducen residuos y consumo de recursos, mejoran eficiencia y costes, y refuerzan la resiliencia y competitividad industrial.	Media-alta	<u>Porcelanosa</u> , <u>Recover</u> , <u>IGNUS</u> <u>Ecovalor</u>
Reingeniería de sistemas y modernización		Retrofit y actualización tecnológica de maquinaria sin sustitución total- Remanufactura avanzada de sistemas	La reingeniería de sistemas en el sector del juguete y la puericultura permite diseñar productos evolutivos y modulares que se adaptan al crecimiento del usuario, mejorando la seguridad y funcionalidad a lo largo del tiempo. Este enfoque reduce la necesidad de sustitución de productos, disminuyendo costes para el usuario y el impacto ambiental.	Alta (TRL 9 en el caso de retrofit de maquinaria industrial)	<u>Sistema modular</u> <u>evolutivo de</u> <u>Bugaboo</u>
			La reingeniería de sistemas permite adaptar maquinaria, procesos e instalaciones existentes a nuevas exigencias tecnológicas, normativas o de mercado, mejorando eficiencia y competitividad.		<u>Modernización y</u> <u>retrofit de robots</u> <u>industriales de</u> <u>KUKA</u>
Gemelos digitales y simulación (RA/RV)		Planificación y optimización de mantenimientos y anticipación de fallos	Se aplican en desarrollo de experiencias virtuales e inmersivas en un contexto de ocio y también en el aprendizaje.	Media-Alta TRL 7-8 (adopción desigual)	<u>Meta Quest 3</u> , <u>Lynx-r</u>
			Los gemelos digitales y las tecnologías de simulación permiten reproducir virtualmente el comportamiento de maquinaria, procesos e instalaciones industriales, facilitando la monitorización en tiempo real, la predicción de fallos y la optimización del mantenimiento y la eficiencia operativa.		<u>Digital Twin de</u> <u>Siemens</u> , <u>Modelado</u> <u>virtual de fábricas</u> <u>de Delmia</u>

Legenda sectores de aplicación

 Indumentaria: textil, confección, cuero y calzado.

 Caucho y materias plásticas

 Madera y muebles

 Juguete, ocio y artículos de puericultura.

 Cerámica

 Transversal

Cuadro resumen comparativo con las diferentes tecnologías e industrias de aplicación

Tras analizar en detalle diversos casos de uso de tecnologías con origen en el ámbito militar que han encontrado aplicación en el sector civil, así como tecnologías desarrolladas en entornos civiles que han sido adoptadas en el ámbito de la defensa, se presenta una síntesis de los casos de uso analizados en el estudio. Esta síntesis se recoge en una tabla que relaciona, por un lado, las principales tecnologías identificadas y, por otro, el sector o sectores de la Plataforma Tecnológica Española de Sectores Manufactureros que presentan mayor potencial para su incorporación o aprovechamiento.

Tecnología	Sector	Tipo de intervención	Potencial de transferencia	Madurez	Ejemplos
Sensores embebidos		Digitalización de producto y monitorización de maquinaria y operación	La integración de sensores en prendas y equipamiento posibilita el desarrollo de textiles inteligentes capaces de monitorizar condiciones de uso, actividad o entorno, incorporando nuevas funcionalidades de alto valor añadido.	Uso consolidado en defensa	<u>Camisetas técnicas con sensores textiles integrados de Hexoskin</u>
			En el sector del juguete y la puericultura, la sensorización embebida mejora la seguridad y la interacción del producto, permitiendo funciones de control, seguimiento y adaptación al uso del usuario.		<u>Robot educativo esférico con múltiples sensores de Sphero BOLT</u>
			Los sensores embebidos permiten monitorizar en tiempo real el estado de maquinaria, procesos e instalaciones industriales, facilitando estrategias de mantenimiento predictivo, reducción de fallos y mejora de la eficiencia operativa.		<u>Sistemas Hidráulicos Conectados de Bosch</u>
Soldadura por ultrasonidos para circuitos textiles y uniones		Uniones sin costuras y reparación parcial	La soldadura por ultrasonidos permite unir textiles técnicos y circuitos integrados sin costuras tradicionales, mejorando la estanqueidad, la resistencia mecánica y la durabilidad de prendas funcionales y equipamiento técnico.	Alta TRL9	<u>The North Face, Sensoria Fitness</u>
			Esta tecnología se aplica a la unión de componentes plásticos y elastoméricos, posibilitando ensamblajes limpios, precisos y repetibles sin necesidad de adhesivos ni elementos mecánicos.		<u>Herrmann Ultrasonics, Dukane</u>
			De forma común, la soldadura por ultrasonidos se utiliza en procesos de ensamblaje industrial para mejorar la calidad de las uniones, reducir tiempos de fabricación y optimizar la eficiencia productiva.		<u>Sonotronic</u>
Resolado y reconstrucción de suelas		Extensión de vida útil	El resolado y la reconstrucción de suelas permiten alargar la vida útil del calzado técnico y profesional, mejorando su sostenibilidad y reduciendo costes mediante la reparación y reutilización frente a la sustitución completa.	Alta TRL9	Programa de Resole de HELM Boots , <u>Vibram</u>

Legenda sectores de aplicación



Indumentaria: textil, confección, cuero y calzado.



Caucho y materias plásticas



Madera y muebles



Juguete, ocio y artículos de puericultura.



Cerámica



Transversal

Cuadro resumen comparativo con las diferentes tecnologías e industrias de aplicación

Con el objetivo de presentar de forma más clara y esquemática la información analizada, los distintos casos de uso identificados se agrupan en una única tabla síntesis. Esta tabla permite concentrar y visualizar de manera ordenada las principales tecnologías y su potencial transferencia a los sectores industriales considerados, facilitando la comparación, la lectura global del análisis y la identificación rápida de las áreas con mayor potencial de aplicación. **La tabla sintetiza únicamente las aplicaciones observadas en los casos de uso analizados. No constituye un mapeo exhaustivo del potencial total de transferencia tecnológica.**

Tecnología						
Uso de impresión 3D y fabricación aditiva	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Directed Energy Deposition (DED) y Tratamientos térmicos					✓	✓
Recubrimientos funcionales, anticorrosión y autorreparables	✓	✓	✓		✓	✓
Inspección no destructiva						✓
Robots y drones de inspección y reparación				✓	✓	✓
Reciclaje y reprocesado de composites	✓	✓				
Economía circular y reutilización de componentes						✓
Reingeniería de sistemas y modernización				✓		✓
Gemelos digitales y simulación (RA/RV)				✓		✓
Sensores embebidos	✓			✓		✓
Soldadura por ultrasonidos para circuitos textiles y uniones	✓	✓				✓
Resolado y reconstrucción de suelas	✓					

Legenda sectores de aplicación



Indumentaria: textil, confección, cuero y calzado.



Caucho y materias plásticas



Madera y muebles



Juguete, ocio y artículos de puericultura.



Cerámica



Transversal

Potencial de las tecnologías en la resolución de retos concretos de las industrias manufactureras en España

Finalmente, se analiza cómo la incorporación de algunas de las tecnologías estudiadas podría contribuir a prevenir o mitigar los retos específicos que afrontan las industrias manufactureras en el mercado español. Este análisis se fundamenta en estudios sectoriales, informes de mercado y diagnósticos industriales, así como retos remitidos por miembros de PLATECMA, que identifican los principales frenos de cada sector y muestra cómo la adopción de estrategias tecnológicas avanzadas podría reducir su efecto perjudicial y mejorar la competitividad.

Impacto esperado

- Eficiencia / costes
- Resiliencia / continuidad
- Sostenibilidad / circularidad
- Cliente / calidad / trazabilidad

1. Competitividad global basada en costes y presión sobre márgenes



La industria española de los sectores PLATECMA compite en un entorno global marcado por economías de bajo coste y plataformas digitales con gran escala y presión en precios. Esta situación reduce márgenes, limita capacidad de inversión y obliga a evolucionar hacia modelos basados en mayor valor añadido, diferenciación tecnológica y resiliencia operativa.

Acción prioritaria	Impacto esperado	Tecnologías clave	Horizonte*
Implantar reparación avanzada local de maquinaria y componentes críticos	● ↓ dependencia exterior ● ↓ paradas productivas ● ↓ costes de sustitución	DED, tratamientos térmicos, inspección no destructiva (NDT), remanufactura estructurada	Corto a medio plazo
Desarrollar líneas de producto de alto valor añadido y personalización	● ↑ diferenciación técnica ● ↑ posicionamiento premium ● ↑ margen unitario	Fabricación aditiva multimaterial, soldadura avanzada (ultrasonidos), sensores embebidos, recubrimientos funcionales	Medio plazo
Integrar digitalización para ofrecer calidad verificable y servicio avanzado	● ↑ calidad verificable ● ↑ confianza cliente ● ↑ valor añadido del producto	Gemelos digitales, mantenimiento predictivo, trazabilidad avanzada, NDT digitalizado	Corto a Medio plazo

2. Incremento y volatilidad de costes productivos



El encarecimiento y la volatilidad de materias primas y energía afectan directamente a la rentabilidad de la industria española. Sectores intensivos en consumo energético o materiales sufren reducción de márgenes y mayor incertidumbre en planificación, lo que limita inversión, competitividad y estabilidad productiva.

Acción prioritaria	Impacto esperado	Tecnologías clave	Horizonte*
Extender la vida útil de activos industriales estratégicos	● ↓ CAPEX en sustitución de equipos ● ↑ continuidad operativa ● ↑ vida útil de activos	DED, tratamientos térmicos, recubrimientos antiabrasión y anticorrosión, NDT	Corto plazo
Optimizar procesos mediante monitorización y mantenimiento predictivo	● ↓ costes operativos ● ↓ fallos imprevistos ● ↑ estabilidad productiva	Sensores embebidos, gemelos digitales, robots y drones de inspección y analítica de datos	Corto a medio plazo
Reducir dependencia de materias primas vírgenes mediante recuperación avanzada	● ↓ costes de material ● ↑ autonomía material ● ↑ circularidad de materiales	Reciclaje y reprocesado de composites, reutilización de fibras textiles, economía circular estructurada	Medio plazo

Potencial de las tecnologías en la resolución de retos concretos de las industrias manufactureras en España

Finalmente, se analiza cómo la incorporación de algunas de las tecnologías estudiadas podría contribuir a prevenir o mitigar los retos específicos que afrontan las industrias manufactureras en el mercado español. Este análisis se fundamenta en estudios sectoriales, informes de mercado y diagnósticos industriales, así como retos remitidos por miembros de PLATECMA, que identifican los principales frenos de cada sector y muestra cómo la adopción de estrategias tecnológicas avanzadas podría reducir su efecto perjudicial y mejorar la competitividad.

Impacto esperado

- Eficiencia / costes
- Resiliencia / continuidad
- Sostenibilidad / circularidad
- Cliente / calidad / trazabilidad

3. Transición regulatoria hacia sostenibilidad y economía circular



La entrada en vigor del Reglamento de Ecodiseño (ESPR) y los objetivos de economía circular exigen mayor reciclabilidad, contenido reciclado y reducción del impacto ambiental. La industria debe adaptar diseño, materiales y procesos para cumplir normativamente sin perder competitividad frente a productos importados de menor coste.

Acción prioritaria	Impacto esperado	Tecnologías clave	Horizonte*
Implantar modelos estructurados de reparación y remanufactura	● ↑ vida útil de productos ● ↓ residuos industriales ● ↑ cumplimiento regulatorio	Reparación avanzada, DED, remanufactura, reparación de membranas y calzado técnico	Corto a medio plazo
Integrar reciclaje y reprocesado avanzado de materiales estratégicos	● ↑ contenido reciclado ● ↑ circularidad industrial ● ↓ dependencia de materias primas	Reutilización de fibras textiles, reciclaje químico de aramidas, reciclaje de composites	Medio plazo
Diseñar productos para mayor durabilidad y circularidad	● ↑ durabilidad del producto ● ↓ impacto ambiental ● ↑ posicionamiento sostenible	Recubrimientos funcionales y autorreparables, fabricación aditiva para repuestos, ecodiseño técnico	Medio plazo

4. Digitalización, trazabilidad y Pasaporte Digital de Producto (DPP)



La implantación del Pasaporte Digital de Producto exige recopilar, estructurar y compartir información fiable sobre composición, procesos, reparaciones y ciclo de vida. Muchas industrias tradicionales carecen de sistemas integrados de trazabilidad avanzada, lo que supone un desafío tecnológico, organizativo y de inversión.

Acción prioritaria	Impacto esperado	Tecnologías clave o relacionadas	Horizonte*
Estandarizar el registro técnico de intervenciones de reparación estructural y sustitución de componentes	● ↑ trazabilidad técnica ● ↑ historial verificable ● ↑ preparación para DPP	Directed Energy Deposition (DED), fabricación aditiva de repuestos críticos, soldadura avanzada (ultrasonidos), adhesivos estructurales	Corto a medio plazo
Documentar recuperación y reprocesado de materiales en productos al final de su vida útil	● ↑ trazabilidad de materiales ● ↑ evidencia de circularidad ● ↑ confianza cliente	Inspección no destructiva (NDT), DED aplicado a reparación, economía circular y reutilización de componentes	Medio plazo
Integrar fabricación bajo demanda como alternativa a inventarios de repuestos	● ↓ inventarios ● ↑ resiliencia logística ● ↑ trazabilidad de repuestos	Fabricación aditiva de repuestos críticos, reutilización y reprocesado de materiales	Medio plazo

Potencial de las tecnologías en la resolución de retos concretos de las industrias manufactureras en España

Finalmente, se analiza cómo la incorporación de algunas de las tecnologías estudiadas podría contribuir a prevenir o mitigar los retos específicos que afrontan las industrias manufactureras en el mercado español. Este análisis se fundamenta en estudios sectoriales, informes de mercado y diagnósticos industriales, así como retos remitidos por miembros de PLATECMA, que identifican los principales frenos de cada sector y muestra cómo la adopción de estrategias tecnológicas avanzadas podría reducir su efecto perjudicial y mejorar la competitividad.

Impacto esperado

- Eficiencia / costes
- Resiliencia / continuidad
- Sostenibilidad / circularidad
- Cliente / calidad / trazabilidad

5. Producción bajo demanda y personalización



El mercado demanda productos personalizados, series cortas y tiempos de respuesta reducidos. Los modelos tradicionales basados en producción en masa generan sobrestock y rigidez. La industria española debe ganar flexibilidad productiva sin perder eficiencia ni incrementar costes estructurales.

Acción prioritaria	Impacto esperado	Tecnologías clave	Horizonte*
Implantar fabricación flexible para series cortas y personalización	● ↓ stock ● ↓ riesgo financiero ● ↑ personalización del producto	Fabricación aditiva multimaterial, impresión 3D aplicada a componentes personalizados	Corto a medio plazo
Adaptar líneas productivas mediante modernización y reingeniería	● ↑ flexibilidad operativa ● ↓ tiempos de ajuste ● ↑ eficiencia productiva	Reingeniería de sistema: modernización de maquinaria, integración modular	Medio plazo
Simular y validar configuraciones antes de producir	● ↓ errores de fabricación ● ↓ retrabajos ● ↑ calidad del producto	Gemelos digitales, simulación avanzada, integración electrónica mediante soldadura por ultrasonidos	Corto a medio plazo

6. Impacto del e-commerce y transformación del canal comercial



Las plataformas digitales presionan en precio, reducen barreras de entrada y aumentan transparencia comparativa. Esto intensifica la competencia y favorece productos de bajo coste. La industria debe diferenciarse mediante calidad técnica, durabilidad y servicios asociados que no compitan únicamente en precio.

Acción prioritaria	Impacto esperado	Tecnologías clave	Horizonte*
Desarrollar modelos “producto + servicio” basados en reparación y mantenimiento	● ↑ fidelización cliente ● ↑ valor añadido ● ↑ ingresos por servicio	Reparación avanzada, remanufactura, resoldado y reconstrucción, reparación de membranas técnicas	Corto plazo
Diferenciar producto mediante mayor durabilidad y prestaciones técnicas	● ↑ posicionamiento premium ● ↑ diferenciación frente a importaciones ● ↑ margen unitario	Recubrimientos funcionales y autorreparables, tratamientos avanzados, integración de sensores	Medio plazo
Ofrecer garantías y calidad verificable basadas en datos	● ↑ confianza cliente ● ↑ transparencia ● ↑ reputación de marca	Inspección no destructiva digitalizada, sensores embebidos	Corto a medio plazo

Potencial de las tecnologías en la resolución de retos concretos de las industrias manufactureras en España

Finalmente, se analiza cómo la incorporación de algunas de las tecnologías estudiadas podría contribuir a prevenir o mitigar los retos específicos que afrontan las industrias manufactureras en el mercado español. Este análisis se fundamenta en estudios sectoriales, informes de mercado y diagnósticos industriales, así como retos remitidos por miembros de PLATECMA, que identifican los principales frenos de cada sector y muestra cómo la adopción de estrategias tecnológicas avanzadas podría reducir su efecto perjudicial y mejorar la competitividad.

7. Eficiencia productiva, reducción de desperdicios y mejora de seguridad



La pérdida de materia prima, los errores de producción y las paradas no planificadas reducen productividad y elevan costes. En sectores con procesos intensivos (energía, abrasión, temperatura), pequeñas desviaciones generan mermas significativas. Además, los riesgos laborales impactan en continuidad operativa y eficiencia global.

Acción prioritaria	Impacto esperado	Tecnologías clave	Horizonte*
Implantar mantenimiento predictivo y detección temprana de fallos	↓ paradas no planificadas ↓ desperdicio material ↑ eficiencia operativa	Sensores embebidos, inspección no destructiva (ultrasonidos, rayos X, Eddy currents)	Corto plazo
Extender vida útil y resistencia de maquinaria en entornos severos	↓ sustituciones ↑ vida útil de equipos ↑ continuidad operativa	DED en reparación de maquinaria, tratamientos térmicos, recubrimientos antiabrasión y anticorrosión	Corto a medio plazo
Reducir riesgos laborales en inspección y mantenimiento	↑ seguridad operativa ↓ incidentes laborales ↑ eficiencia de mantenimiento	Robots y drones de inspección, digitalización de procesos, monitorización remota	Medio plazo

8. Resiliencia industrial y dependencia de cadenas de suministro externas



La alta dependencia de proveedores internacionales y materias primas externas expone a la industria española a disrupciones logísticas y geopolíticas. La resiliencia exige capacidad local de reparación, sustitución, reacondicionamiento y adaptación tecnológica para mantener producción ante interrupciones.

Acción prioritaria	Impacto esperado	Tecnologías clave	Horizonte*
Implantar capacidad local de fabricación y reparación de repuestos críticos	↓ dependencia internacional ↑ autonomía industrial ↓ tiempos de reposición	Fabricación aditiva, DED, remanufactura estructurada	Corto a medio plazo
Recuperar y reprocesar materiales estratégicos dentro del territorio	↑ circularidad de materiales ↑ soberanía material ↓ costes de aprovisionamiento	Reciclaje de composites, reutilización de fibras técnicas, reciclaje químico avanzado	Medio plazo
Modernizar activos existentes para reducir necesidad de sustitución externa	↓ CAPEX ↑ continuidad productiva ↑ vida útil de equipos	Reingeniería de sistemas, gemelos digitales para rediseño y validación	Medio plazo

Impacto esperado

- Eficiencia / costes
- Resiliencia / continuidad
- Sostenibilidad / circularidad
- Cliente / calidad / trazabilidad

Potencial de las tecnologías en la resolución de retos concretos de las industrias manufactureras en España

Del análisis realizado se han identificado cuatro tecnologías o agrupaciones tecnológicas especialmente relevantes para los sectores manufactureros en España, ya que aparecen de forma reiterada como respuesta a distintos retos estratégicos y se posicionan como altamente transformadoras.

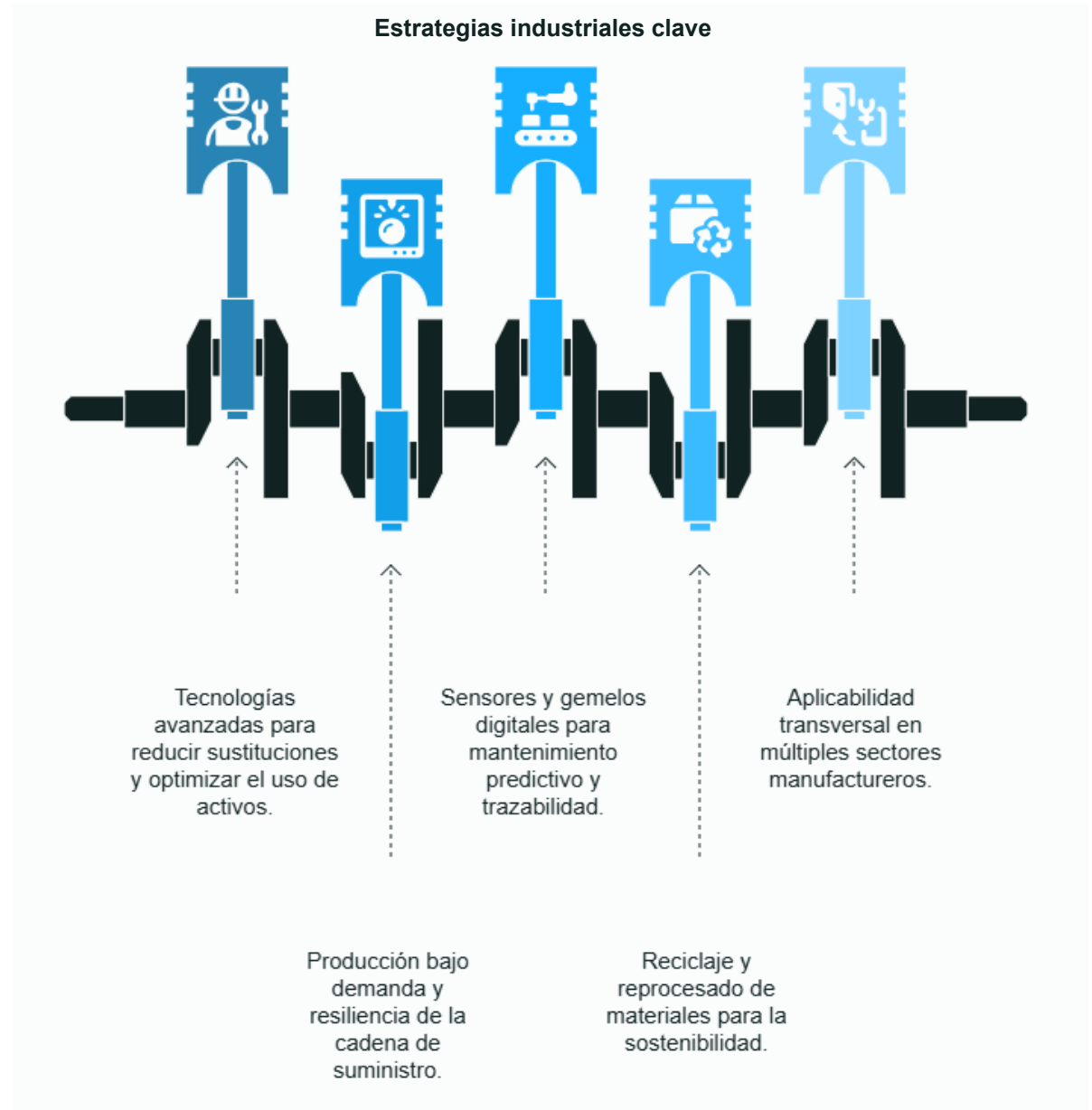
- En primer lugar, la **fabricación aditiva (incluye DED y fabricación multimaterial)**, que habilita reparación avanzada, producción flexible y fabricación local de repuestos críticos, reforzando competitividad y resiliencia.
- En segundo lugar, la **digitalización industrial avanzada (sensores embebidos, gemelos digitales e inspección no destructiva)**, que permite generar datos estructurados, mejorar eficiencia operativa y facilitar trazabilidad a lo largo del ciclo de vida.
- En tercer lugar, las **tecnologías de reparación avanzada y extensión de vida útil (DED, tratamientos térmicos y recubrimientos funcionales y anticorrosión)**, orientadas a incrementar durabilidad, reducir sustituciones y estabilizar costes.
- Finalmente, el **reciclaje y reprocesado avanzado de materiales (composites, fibras textiles y reciclaje químico de aramidas)**, clave para impulsar economía circular y reducir dependencia de materias primas vírgenes.

A partir de esta identificación, se ha elaborado un cuadro sintético donde se representa el potencial impacto de cada tecnología sobre los distintos retos industriales. La clasificación se estructura en tres niveles cualitativos: impacto directo (azul oscuro), cuando la tecnología actúa de forma clara y principal sobre el reto; impacto indirecto (azul celeste), cuando contribuye de manera complementaria o habilitadora; y sin impacto (gris), cuando no existe una relación significativa. Esta representación permite visualizar de forma clara las tecnologías tractoras y su alcance transversal.

Tecnología	Retos de las industrias manufactureras en España							
	Competitividad	Costes	Sostenibilidad	DPP	Bajo demanda	E-commerce	Eficiencia	Resiliencia
Fabricación aditiva	Directo	Directo	Directo	Indirecto	Directo	Indirecto	Indirecto	Directo
Digitalización industrial avanzada	Directo	Directo	Indirecto	Directo	Directo	Indirecto	Directo	Indirecto
Reparación avanzada y extensión de vida útil	Directo	Directo	Directo	Indirecto	Indirecto	Directo	Directo	Directo
Reciclaje y reprocesado avanzado de materiales	Indirecto	Directo	Directo	Indirecto	Sin impacto	Indirecto	Indirecto	Directo

Conclusiones

- 1. Las tecnologías duales de reparación y remanufactura ofrecen respuestas directas a varios de los retos estructurales de la industria manufacturera en España.** El análisis realizado muestra que tecnologías como la fabricación aditiva, la reparación estructural mediante deposición dirigida de energía (DED), los tratamientos térmicos, los recubrimientos funcionales, la inspección no destructiva o el reprocesado de materiales pueden contribuir a abordar retos relacionados con competitividad, costes productivos, sostenibilidad, eficiencia operativa y resiliencia industrial.
- 2. La extensión de la vida útil de productos, componentes y maquinaria emerge como uno de los mecanismos con mayor impacto potencial en competitividad industrial.** Las tecnologías analizadas permiten reducir sustituciones prematuras, optimizar el uso de activos existentes y disminuir la dependencia de repuestos externos, contribuyendo a mejorar la continuidad productiva y reducir inversiones en reemplazo de equipos.
- 3. La fabricación aditiva y las tecnologías de reparación avanzada aparecen como habilitadores clave para la producción flexible y la resiliencia de las cadenas de suministro.** En particular, la fabricación aditiva, (incluyendo producción de repuestos críticos, fabricación multimaterial y reparación mediante DED), permite reducir inventarios, facilitar la fabricación bajo demanda y reforzar la capacidad de respuesta ante interrupciones en el suministro.

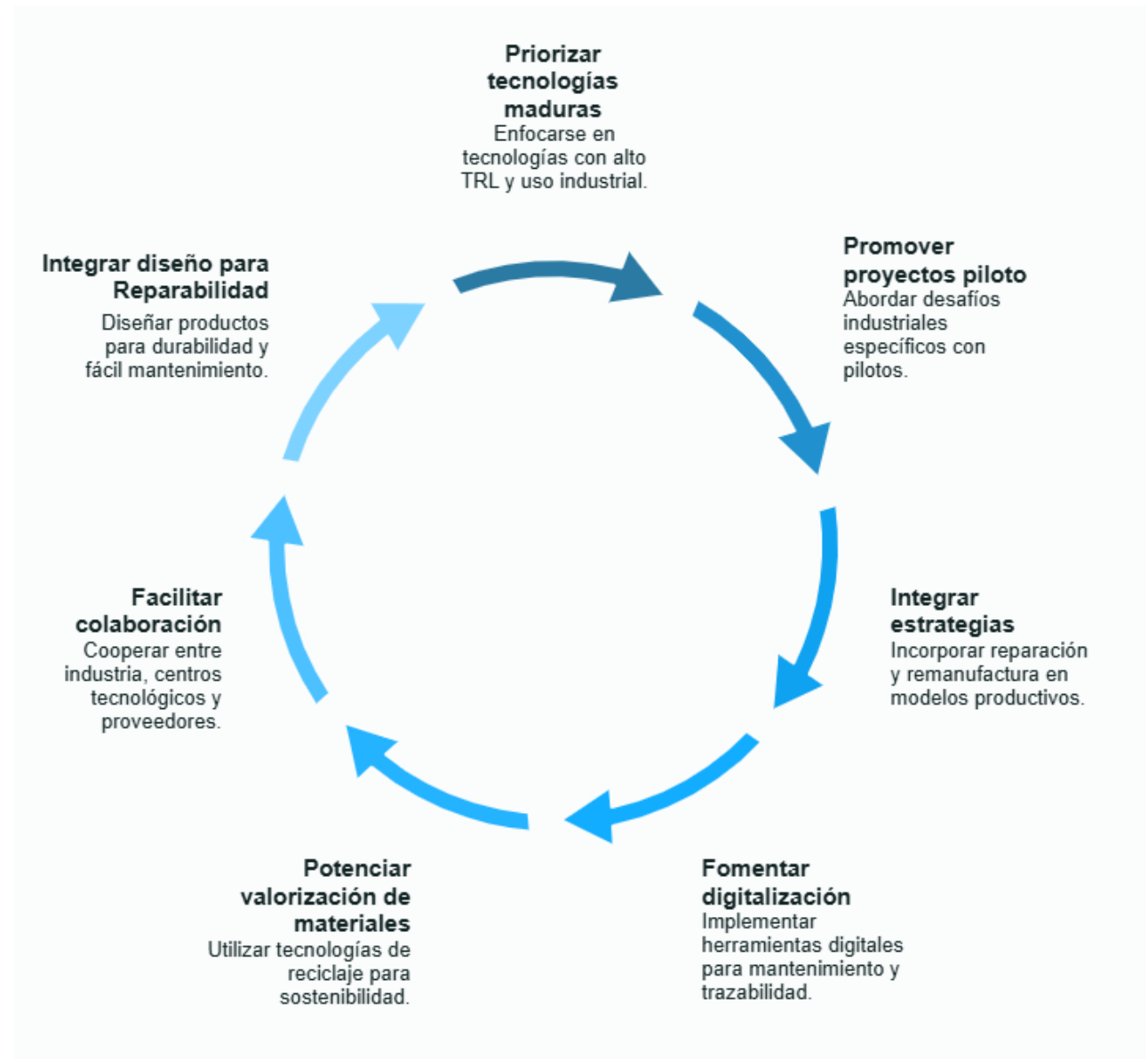


Conclusiones

4. **La digitalización industrial avanzada actúa como elemento habilitador para la implementación eficaz de estrategias de reparación y mantenimiento.** Tecnologías como sensores embebidos, inspección no destructiva digitalizada, robots de inspección o gemelos digitales permiten mejorar la detección temprana de fallos, optimizar el mantenimiento predictivo y generar datos estructurados para la trazabilidad y la verificación de calidad.
5. **La economía circular industrial y el reprocesado de materiales representan una oportunidad relevante para reducir la dependencia de materias primas y mejorar la sostenibilidad del sistema productivo.** El reciclaje y reprocesado de composites, fibras textiles o materiales técnicos permite recuperar valor de materiales estratégicos y reducir la exposición a la volatilidad de los mercados internacionales de materias primas.
6. **Las tecnologías analizadas presentan un carácter transversal que permite su aplicación potencial en múltiples sectores manufactureros.** Aunque los casos de uso revisados se originan en distintos contextos industriales, el análisis evidencia que muchas de estas tecnologías pueden transferirse o adaptarse a sectores representados en PLATECMA para abordar retos comunes relacionados con eficiencia, costes o circularidad.
7. **La convergencia entre reparación avanzada, digitalización y circularidad está configurando nuevos modelos industriales basados en la extensión del ciclo de vida de los productos.** Esta tendencia apunta hacia sistemas productivos en los que la reparación, el reacondicionamiento, la reutilización de componentes y la recuperación de materiales se integran progresivamente en la estrategia industrial y en el diseño de productos.

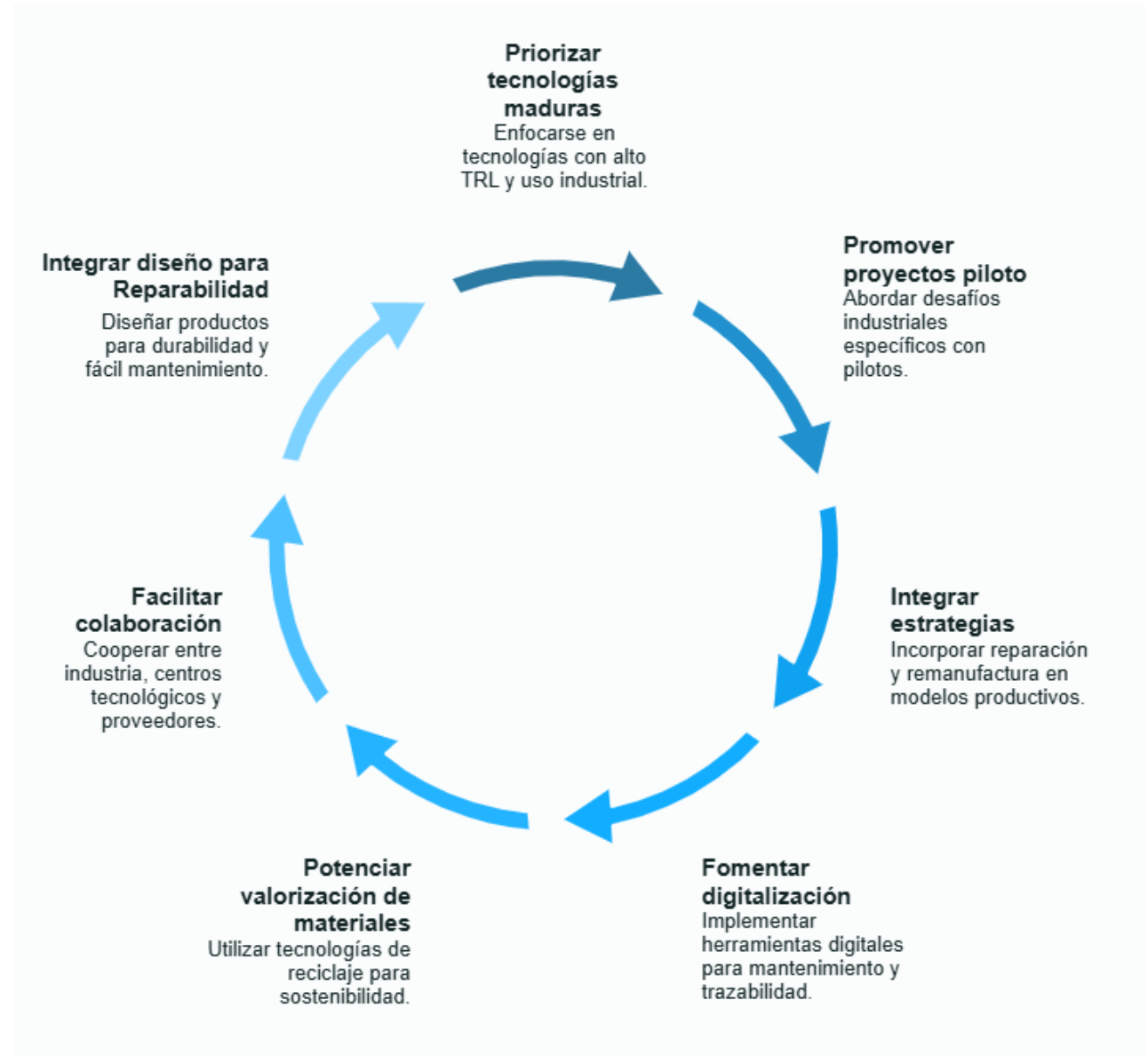
Recomendaciones estratégicas

- 1. Priorizar la adopción de tecnologías con mayor grado de madurez y aplicabilidad industrial inmediata.** Las primeras iniciativas deberían centrarse en tecnologías con alto nivel de madurez tecnológica (TRL elevado) y evidencia de uso industrial, como la fabricación aditiva de repuestos, la inspección no destructiva avanzada, los recubrimientos funcionales o los tratamientos térmicos para extensión de vida útil.
- 2. Promover proyectos piloto sectoriales orientados a resolver retos industriales concretos.** La implementación de tecnologías duales será más efectiva si se articula a partir de desafíos específicos de los sectores manufactureros, como reducción de paradas, recuperación de materiales o fabricación flexible, en lugar de iniciativas centradas exclusivamente en la adopción tecnológica.
- 3. Impulsar la integración de estrategias de reparación y remanufactura dentro de los modelos productivos industriales.** La reparación avanzada, la modernización de sistemas existentes y la reutilización de componentes pueden convertirse en herramientas relevantes para mejorar competitividad, reducir costes de sustitución y aumentar la eficiencia del uso de recursos.
- 4. Fomentar la digitalización de procesos de mantenimiento, reparación y trazabilidad.** La incorporación de herramientas de monitorización, diagnóstico y registro digital de intervenciones permitirá mejorar la planificación del mantenimiento, facilitar la trazabilidad de componentes y preparar a las empresas para futuras exigencias regulatorias, como el Pasaporte Digital de Producto.



Recomendaciones estratégicas

5. **Potenciar la valorización y recuperación de materiales dentro de estrategias de economía circular industrial.** La implementación de tecnologías de reciclaje avanzado y reprocesado de materiales puede contribuir a reducir la dependencia de materias primas vírgenes y mejorar la sostenibilidad de las cadenas de valor industriales.
6. **Facilitar la colaboración entre industria, centros tecnológicos y proveedores tecnológicos especializados.** La adopción de tecnologías avanzadas de reparación y remanufactura suele requerir capacidades técnicas específicas, por lo que la cooperación entre distintos actores del ecosistema industrial puede facilitar el acceso a conocimiento, infraestructuras y soluciones tecnológicas.
7. **Integrar la extensión de vida útil y la reparabilidad como criterios en el diseño de productos y procesos industriales.** El diseño orientado a reparación, reutilización y actualización tecnológica puede contribuir a mejorar la durabilidad de los productos, facilitar el mantenimiento y reducir el impacto ambiental a lo largo del ciclo de vida.





www.viromii.com