
Infraestructuras y economía circular

Noviembre 2025 / Documento #16

Infraestructuras y economía circular

Infraestructuras y economía circular

La transición hacia una economía circular en el sector de las infraestructuras es no sólo deseable sino imprescindible. requiere una transformación profunda de las prácticas de diseño, producción, uso y gestión de residuos. el despliegue normativo y tecnológico, así como los nuevos modelos de negocio basados en la servitización y la eficiencia, ofrecen un camino viable para alcanzar infraestructuras sostenibles, resilientes y alineadas con los objetivos del pacto verde europeo.

1 - El cambio de paradigma de los recursos: Introducción a la economía circular

El **modelo económico lineal tradicional**, basado en la extracción, producción, consumo y eliminación, es responsable en gran medida del **cambio climático y el agotamiento de recursos** y se ha mostrado inviable en el contexto del siglo XXI. La dependencia de importaciones de materias primas, la volatilidad en los precios y la creciente presión social y normativa para reducir la huella ambiental exigen una transformación profunda del modelo productivo. En este

sentido, si se quiere alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) y los compromisos de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) bajo el Acuerdo de París necesitamos adoptar **un nuevo modelo económico**.

Como respuesta, la economía circular establece un modelo de producción y consumo más sostenible, en el que las materias primas se mantienen más tiempo en los ciclos productivos, promoviendo que los residuos se conviertan en materias primas de nuevos procesos industriales, y apoyando la transición energética. Las ciudades, el entorno rural y la industria

necesitan encontrar soluciones basadas en la economía circular para acelerar sus procesos de descarbonización.

En este escenario, las infraestructuras pueden convertirse en una palanca clave para impulsar la circularidad, entendiéndolas no sólo como proyectos constructivos, sino como sistemas integrados que deben prever desde el diseño su reutilización, adaptabilidad y desmontaje. Este enfoque, que favorece el reaprovechamiento de los recursos, la reducción de emisiones y una mejor eficiencia en el uso de los materiales, es también una estrategia de seguridad económica y soberanía industrial para Cataluña y el Estado español.

Así, la gestión de las infraestructuras debe desvincularse del consumo intensivo de recursos vírgenes y tender hacia sistemas circulares que reduzcan el impacto ambiental y económico a lo largo de todo su ciclo de vida. Además, la evolución tecnológica y la digitalización ofrecen oportunidades para integrar mecanismos de trazabilidad, diagnóstico y reutilización inteligentes. Estas transformaciones permiten responder tanto a la crisis de recursos como a las demandas crecientes de una sociedad que reclama responsabilidad ambiental y eficiencia económica.

El cambio de modelo se convierte en una estrategia necesaria, teniendo en cuenta la presión creciente sobre los ecosistemas, la dependencia de recursos externos y la vulnerabilidad del sistema productivo actual ante las disrupciones globales. Por lo tanto, repensar el ciclo de vida de las infraestructuras (desde la planificación hasta la gestión de su desmantelamiento) se ha convertido en una condición indispensable para avanzar hacia un sistema más resiliente y autosuficiente.

Un enfoque destacado para ejemplificar las estrategias de la economía circular es el marco ReSOLVE, desarrollado por el Ellen MacArthur Foundation junto con McKinsey, que identifica seis estrategias clave para alcanzar la circularidad. La primera es la regeneración (Regenerate), que busca restaurar la biocapacidad del planeta a través de acciones como la sustitución de combustibles fósiles por energías renovables, la protección de ecosistemas o la recuperación de tierras degradadas, con ejemplos como la agricultura regenerativa o la gestión forestal sostenible. La segunda es la compartición (Share), que pretende alargar la vida útil de los productos y evitar la infrautilización mediante el consumo colaborativo, la reutilización y la reparación, como el coche compartido, las bibliotecas de productos o el mercado de segunda mano. La

tercera estrategia es la optimización (Optimise), orientada a mejorar la eficiencia de recursos y reducir pérdidas durante la fabricación y el uso, por ejemplo con el uso de tecnología inteligente que ajusta el consumo de energía.

La cuarta estrategia del marco ReSOLVE es la circularidad (Loop), que implica mantener los materiales dentro del sistema económico el máximo tiempo posible a través de la reutilización, el reciclaje o el compostaje, según se trate de materiales técnicos o biológicos. La quinta estrategia es la virtualización (Virtualise), que sustituye bienes físicos por servicios digitales para reducir el impacto material, como las reuniones virtuales, los libros digitales o las aplicaciones móviles que reemplazan dispositivos físicos. Finalmente, el intercambio (Exchange) promueve sustituir tecnologías o materiales obsoletos por alternativas más sostenibles, como motores eléctricos o materiales biodegradables.

En el campo de las infraestructuras, también destaca el modelo Cradle to Cradle (C2C), creado en 2002 por McDonough y Braungart, que propone un enfoque inspirado en la naturaleza: eliminar la idea de residuo y considerar que todo puede convertirse en recurso. A diferencia de los modelos lineales, el C2C plantea el diseño de productos para la

reutilización continua, mediante componentes fácilmente desmontables, reciclables o compostables, evitando así externalidades negativas. El modelo distingue entre nutrientes técnicos, como metales o plásticos que pueden ser reutilizados indefinidamente, y nutrientes biológicos, como materiales orgánicos que se descomponen sin impacto ambiental. Aplicado a las infraestructuras, este modelo implica una nueva manera de concebir y gestionar los materiales de construcción, promoviendo la modularidad, la reciclabilidad y la trazabilidad para reducir residuos y crear un banco de materiales para futuros usos.

2 - Normativa y estrategias relacionadas con la circularidad

Las administraciones supranacionales, estatales y autonómicas han comenzado a desarrollar un conjunto coherente de normas, estrategias e instrumentos que orientan al sector hacia una infraestructura más circular. A nivel europeo, destacan el Plan de Acción para la Economía Circular, el cual promovió la adopción del nuevo reglamento de productos de construcción 2024/3110, que sustituye al 305/2011 y que integra principios de Economía Circular como: provisión de información ambiental durante todo el ciclo de vida de los productos,

armonización de los productos utilizados, instrucciones de uso e información sobre seguridad del producto, recomendaciones para el final de la vida útil de los productos con medidas, el pasaporte digital de producto o la prohibición de destruir productos no vendidos, el Reglamento (UE) 2024/1252, del Parlamento Europeo y el Consejo de materias primas críticas (que fija objetivos de reciclaje obligatorio) y la nueva Directiva (UE) 2024/1275 de eficiencia energética de los edificios (que exige construcciones de emisiones cero a partir de 2030).

Este marco se complementa con iniciativas como el sistema Level(s) de la Unión Europea, que proporciona indicadores para medir la sostenibilidad de los edificios a lo largo de su ciclo de vida, o la aplicación del principio DNSH (Do No Significant Harm), integrado en la financiación europea. Estos instrumentos buscan garantizar que los proyectos financiados no sólo sean eficientes desde el punto de vista ambiental, sino también social y económicamente responsables.

En el ámbito estatal, destaca la Estrategia Española de Economía Circular, que establece objetivos claros de reducción de residuos y consumo de materiales. La Ley 7/2022, de residuos y suelos contaminados para una

economía circular y la Orden ACC/9/2023 concretan obligaciones e incentivos para la utilización de materiales reciclados en el sector de la construcción. Además, la Ley 10/2022 incorpora criterios de sostenibilidad en la rehabilitación energética del parque edificado, promoviendo el uso de áridos reciclados y la reducción de impactos ambientales derivados de la construcción y mantenimiento.

En cuanto a la situación en Cataluña, la Hoja de Ruta de la Economía Circular en Cataluña (FRECC) 2030 proporciona un marco operativo con indicadores, herramientas digitales y proyectos piloto para fomentar una economía circular territorializada. Este marco se alinea con otros instrumentos como el sistema Level(s), el BIM y la simbiosis industrial, que buscan cerrar ciclos materiales y reducir la huella ecológica del sector. También incluye iniciativas como los hubs sectoriales de circularidad, los centros de reutilización y la implementación progresiva de la gestión digital de infraestructuras.

3 - Impacto sobre la economía circular de las infraestructuras

Las infraestructuras, por su peso estratégico y por el gran volumen de recursos que

consumen, tienen un papel fundamental en la transición hacia una economía circular. El enfoque circular permite reducir el uso de materiales vírgenes, minimizar residuos y alargar la vida útil de los activos. No obstante, el sector presenta un alto consumo de recursos, con el consecuente impacto vinculado a su extracción y producción, especialmente vinculados a materiales como el cemento, el acero, los áridos y el asfalto. Estos elementos conllevan emisiones elevadas de CO₂ equivalente, consumo energético intensivo y generación de residuos difíciles de gestionar si no se integran en ciclos circulares. Sin embargo, actualmente ya se aplican estrategias como la incorporación de materiales reciclados (escorias, cenizas volantes), el uso de áridos reciclados o la reutilización de asfalto, que ayudan a reducir la huella ecológica del sector.

Una vez construidas, las infraestructuras entran en una fase de explotación que puede prolongarse durante décadas. En términos de economía circular, este periodo es crucial para amortizar el impacto ambiental inicial y optimizar el rendimiento con el mínimo consumo adicional de recursos y energía. En este sentido, cabe destacar especialmente los edificios y las redes de transporte, que requieren elevados consumos de energía por climatización, iluminación y funcionamiento.

En la UE, los edificios generan el 35% de las emisiones y consumen el 42% de la energía. Asimismo, infraestructuras como túneles, redes de agua o líneas ferroviarias también tienen consumos asociados a servicios como la ventilación, el bombeo o la electrificación. El mantenimiento periódico, aunque necesario para alargar la vida útil, implica también el uso de nuevos materiales y la generación de residuos. Por ello, es clave potenciar el mantenimiento predictivo, la reutilización de materiales (como el pavimento fresado o el balasto ferroviario), y la reconversión de infraestructuras existentes para nuevos usos, como ferrocarriles en desuso convertidos en vías verdes.

Una vez acabada su vida útil, el desmantelamiento de las infraestructuras genera grandes cantidades de materiales rechazados (residuos), el cual se convierte en una pérdida de recursos valiosos si no se aplica una gestión circular eficiente. Los residuos de construcción y demolición (RCD) constituyen aproximadamente el 30-33% del total de los residuos generados en Europa, con unos 450-500 millones de toneladas anuales, siendo la fracción más importante en volumen dentro de la Unión Europea. En Cataluña, en 2023 se generaron 6,95 millones de toneladas, con una tasa de reciclaje del

71,8%. A pesar de los avances en la materia, hay que seguir avanzando en la separación en origen, fomentar la demolición selectiva e incrementar el uso de áridos reciclados para evitar la pérdida de recursos valiosos. Aunque los materiales minerales se pueden reciclar casi al 100%, a menudo se pierden por falta de trazabilidad y demanda.

Adicionalmente, la recuperación de componentes como vigas, perfiles metálicos o paneles prefabricados puede evitar la necesidad de producir nuevos materiales. Además, es necesario que las instalaciones de tratamiento de residuos estén bien diseñadas para garantizar una valorización eficiente y ambientalmente sostenible. Por lo tanto, la incorporación de criterios de circularidad desde el diseño hasta el desmantelamiento de las infraestructuras es indispensable para alcanzar un modelo constructivo verdaderamente circular y resiliente.

4 - Los retos circulares en el desarrollo y gestión de infraestructuras

Los datos muestran que la construcción y el derribo siguen generando importantes volúmenes de residuos en la UE, por lo que la transición hacia un modelo circular se

convierte en imprescindible. Por ello, este apartado se centra en las principales iniciativas que surgen para avanzar hacia infraestructuras más sostenibles, resilientes y eficientes.

El **ecodiseño** en las infraestructuras es aquel diseño que considera acciones orientadas a la mejora ambiental de la infraestructura en todas las etapas de su ciclo de vida, desde su creación en la etapa conceptual, hasta su tratamiento como residuo. Así, la circularidad debe incorporarse desde el diseño inicial de las infraestructuras, mediante criterios como el ecodiseño, el uso de materiales durables y tecnologías digitales como el BIM, que permiten planificar la reutilización y el mantenimiento predictivo. Asimismo, la implementación de fuentes de energía renovables y sistemas inteligentes en el diseño también tiene un papel destacado, ya que la incorporación temprana de paneles solares, geotermia o energía eólica reduce el impacto ambiental de la explotación.

El **uso de materiales reciclados y de menor impacto** ambiental es clave para reducir la dependencia exterior y garantizar la resiliencia del sector. En este sentido, cabe destacar la valorización de los residuos de construcción (RCD), el uso de áridos reciclados según normativas como el Código Técnico de la

Edificación y la Orden ACC/9/2023, y la apuesta por materiales como el hormigón ecológico, la madera certificada o los aislantes reciclados. El proyecto del dique sur del Puerto de Barcelona ejemplifica el uso de materiales reciclados en el sector de las infraestructuras. Sin embargo, todavía hay que superar barreras técnicas, normativas y de mercado, por lo que la innovación continua y las plataformas digitales son esenciales para avanzar.

La **reducción del consumo energético a lo largo de todo el ciclo de vida** de las infraestructuras (construcción, uso y mantenimiento) es otra prioridad vinculada a la economía circular. En este caso, hay que distinguir entre las diferentes fases en las que aplicar medidas para aumentar la eficiencia energética. Durante la construcción, la eficiencia se potencia mediante maquinaria más limpia, la prefabricación y el uso de asfaltos templados. En la fase de uso y operación, destaca la aplicación de estándares de edificios de alta eficiencia, aislamientos eficientes y energías renovables, así como sistemas inteligentes en transportes e infraestructuras. Durante el mantenimiento, la monitorización IoT y los sistemas predictivos permiten ajustar consumos y optimizar la operación, por ejemplo en redes de agua o iluminación pública.

Otro aspecto fundamental es el **reaprovechamiento de materiales al final de la vida útil** de las infraestructuras. La demolición selectiva y la visión de los edificios como bancos de materiales (BAMB) fomentan la reutilización de componentes. Mientras que las normativas, como la Ley 7/2022 y la UNE-ISO 20887:2023, regulan la separación en origen y planificación del desmontaje, existen iniciativas para desarrollar programas de retorno y reciclaje de sus productos. También se destacan iniciativas de reciclaje in situ y plataformas como la de Simbiosis Industrial de Cataluña para facilitar el intercambio de materiales recuperados. La rehabilitación de infraestructuras, como el caso de Burdeos, representa una alternativa circular más eficiente y con menor impacto que la nueva construcción.

Finalmente, la **servitización de las infraestructuras** puede transformar el modelo de propiedad hacia la prestación de servicios. Esta consiste en la transformación de los modelos de negocio hacia la servitización, es decir, dejar de vender productos para ofrecerlos como servicios (Product as a Service). Aplicado a infraestructuras, esto significa contratar la funcionalidad en lugar de adquirir directamente los equipamientos o instalaciones. Este enfoque alinea los

incentivos económicos con la durabilidad, la reparabilidad y la recuperación de materiales, ya que el proveedor mantiene la propiedad del activo, interesado en alargar su vida útil y recuperarlo para reutilizarlo o reciclarlo. Algunos ejemplos son la iluminación como servicio (LaaS), el leasing inteligente de maquinaria o la

Movilidad como Servicio (MaaS); que muestran cómo este enfoque puede alargar la vida útil de los activos, fomentar la reutilización y reducir los residuos. Estos modelos requieren sin embargo nuevos marcos contractuales, culturales y técnicos para ser adoptados plenamente.



Propuesta del Consell Assessor d'Infraestructures de Catalunya

01

Implementar normativas específicas que obliguen el uso de **sistemas constructivos por componentes, diseñados pensando en su desmontaje, adaptabilidad, reutilización y mínimo impacto ambiental** en infraestructuras (como pavimentos o barreras acústicas), garantizando así su adaptabilidad, reutilización y mínimo impacto ambiental.

02

Promover, más allá del cumplimiento legal, y a través de cualquier medida financiera o fiscal, el uso de materiales reciclados certificados y con declaraciones ambientales en los proyectos constructivos, acelerando la transición hacia una construcción sostenible, utilizando instrumentos existentes como la responsabilidad ampliada del productor (RAP), sistemas o sellos de evaluación de la sostenibilidad.

03

Incorporar obligatoriamente la metodología BIM (Building Information Modeling) con pasaporte digital de los materiales en todos los proyectos de

infraestructuras, garantizando la trazabilidad completa, el mantenimiento predictivo y la futura recuperación de los materiales y componentes al final del ciclo de vida.

04

Promover la mejora de la eficiencia de la administración a través de la digitalización, aplicando tecnologías que permitan a las instituciones optimizar sus procesos, mejorar la gestión documental y ofrecer mejores servicios a los ciudadanos. El objetivo principal de la digitalización en la administración pública es transformar los procesos tradicionales basados en el papel en flujos de trabajo electrónicos que puedan ser gestionados de manera más eficiente.

05

Facilitar y promover la **colaboración público-privada en proyectos circulares** de infraestructuras con condiciones reguladoras claras y seguras, especialmente en aquellos que impliquen la reutilización directa y reciclaje avanzado de los materiales, aprovechando así el capital privado dispuesto a invertir en proyectos con criterios ambientales estrictos e innovadores.

06

Potenciar una **plataforma digital pública de intercambio de materiales reutilizables y reciclados** procedentes de desconstrucciones selectivas y obras públicas, como la Plataforma de Simbiosis Industrial de Cataluña, fomentando el aprovechamiento eficiente y local de los recursos.

07

Potenciar el análisis del ciclo de vida (ACV) de los materiales empleados para la construcción de infraestructuras, incluyendo todas las fases del mismo, para mejorar el conocimiento de su impacto global.

08

Promover activamente el modelo de **“Infraestructura como Servicio” (IaaS)** por infraestructuras críticas como iluminación pública, plantas de tratamiento de agua e instalaciones energéticas, asegurando un mantenimiento eficiente, la reducción de residuos y la reutilización óptima de los componentes al final del contrato.

09

Incorporar obligatoriamente la **monitorización inteligente con sensores IoT y gemelos digitales** en las infraestructuras críticas (puentes, túneles, redes ferroviarias, carreteras), facilitando el mantenimiento predictivo y la prolongación efectiva de su vida útil.

10

Impulsar el uso obligatorio de **materiales reciclados estructurales** certificados en proyectos públicos, como hormigón reciclado, áridos recuperados y también plásticos reciclados en pavimentos asfálticos, reduciendo así el impacto ambiental directo de las infraestructuras e incrementando la demanda de este tipo de productos circulares.

11


Fomentar la rehabilitación energética de edificios para mejorar el rendimiento energético del edificio (fachadas, cubiertas, ventanas e instalaciones) y reducir su consumo a la vez que se contribuye a un mayor confort térmico.

12

Incorporar el coste ambiental de la construcción de un edificio (teniendo en cuenta el conjunto de impactos ambientales ocasionados según el origen de los recursos necesarios para construir el edificio) y definir un coste por encima del cual se podría ver afectada la licencia de obra.

13

Promover la sensibilización de la sociedad en general para que se conozca la complejidad de los procesos ligados al reciclaje y destino final de los residuos, empezando por las escuelas.



Anexo

El cambio de paradigma de los recursos. Introducción a la economía circular

La economía circular es la clave para la transición energética, establece un modelo de producción y consumo más sostenible, en el que las materias primas se mantienen más tiempo en los ciclos productivos, promoviendo que los residuos se conviertan en materias primas de nuevos procesos industriales. Las ciudades, el entorno rural y la industria necesitan encontrar soluciones basadas en la economía circular para acelerar sus procesos de descarbonización.

El modelo económico global basado en la abundancia de recursos naturales a bajo coste, predominante durante el siglo XX, ya no es viable en pleno siglo XXI. Durante el siglo pasado, a pesar de periodos puntuales de volatilidad, el precio de los recursos clave experimentó una tendencia general a la baja, llegando a reducirse casi a la mitad en términos reales (figura 1). Un ejemplo claro es el del acero, que mantuvo precios estables durante décadas gracias a su elevada disponibilidad y a los bajos costes de extracción y transformación. Este fenómeno tuvo lugar en un contexto en el que la población mundial se multiplicó por cuatro y el PIB global aumentó hasta veinte veces, provocando un importante aumento en la demanda de productos (figura 2). Esta reducción en el coste de las materias primas se consiguió gracias a avances tecnológicos rápidos y a la explotación de nuevos yacimientos de recursos naturales más económicos (figura 3). No

obstante, cabe destacar que los precios raramente han reflejado los costes reales de producción, ya que a menudo se han ignorado aspectos como los subsidios energéticos, el acceso gratuito al agua o las potenciales externalidades negativas como la contaminación y las emisiones de GEI (gases de efecto invernadero).

Durante el siglo XXI, esta dinámica ha cambiado radicalmente. Los precios de los recursos naturales han entrado en una etapa marcada por incrementos importantes y una volatilidad creciente, especialmente intensa en la última década (figura 4). Esta situación se acelera rápidamente, especialmente en un contexto de aumento del coste de los combustibles fósiles, en un escenario de transición hacia energías renovables. Al mismo tiempo, la reposición de reservas mineras es cada vez más compleja y costosa, lo que tiende a agravarse aún más conforme se van agotando recursos mineros.

Este contexto de crisis en la disponibilidad de recursos, junto con el agotamiento progresivo de materias primas, el aumento de los costes asociados y las externalidades negativas derivadas del consumo masivo, ha hecho más evidente la necesidad de desvincular la actividad económica y el desarrollo de infraestructuras del consumo de recursos naturales. Además, la dependencia de países terceros y las tensiones geopolíticas crecientes hacen que este reto tome especial relevancia, convirtiéndose también en una cuestión estratégica de seguridad económica y suministro.

Ante este panorama, es manifiesto que el modelo

lineal tradicional (basado en extraer, producir, utilizar y tirar) presenta deficiencias estructurales. Como contraposición, la economía circular surge como una alternativa que responde a las carencias del modelo lineal. Este enfoque se basa en herramientas y estrategias como la reutilización, la reparación y el reciclaje de los materiales y productos para prolongar su vida útil y reducir la generación de residuos.

La construcción de infraestructuras, que representa una de las actividades más intensivas en el consumo de recursos y la generación de residuos al final de su vida útil, ejemplifica con claridad estas disfunciones. En concreto, el modelo lineal impulsa un desarrollo que a menudo no considera el ciclo de vida de los materiales ni la reutilización de elementos constructivos, generando pérdidas estructurales cada vez que se derriba o se renueva una infraestructura. Estas dinámicas no sólo incrementan los costes económicos y ambientales a largo plazo, sino que también derrochan materias primas, como el cobre o el aluminio, o materiales compuestos como el cemento. En cambio, 'economía circular promueve un modelo regenerativo, en el que los productos, componentes y materiales mantienen un gran valor y utilidad durante el mayor tiempo posible.

Un enfoque que sirve para ejemplificar las estrategias que incorpora la economía circular es el del marco **ReSOLVE**, desarrollado por el Ellen MacArthur Foundation, una de las entidades de referencia a nivel internacional en la promoción y difusión de la economía circular, en colaboración con la consultora McKinsey. Este marco define seis estrategias fundamentales para alcanzar la circularidad.

En primer lugar, plantea la **regeneración**

(Regenerate), un conjunto amplio de acciones destinadas a restaurar y potenciar la biocapacidad del planeta, como la sustitución progresiva de los combustibles fósiles por fuentes de energía renovables, la recuperación de tierras degradadas, la protección de los ecosistemas naturales o la reintroducción de recursos biológicos en el medio, como en el caso del compostaje. La agricultura regenerativa o la gestión forestal sostenible serían ejemplos prácticos. La siguiente estrategia es la **compartición (Share)**, basada en el uso compartido y el alargamiento de la vida útil de los productos para reducir el desperdicio y la infrautilización de activos. Esto incluye iniciativas como el coche compartido, el alquiler de herramientas, las bibliotecas de productos o el mercado de segunda mano. También se incluyen la reparación y la reutilización, que reducen la velocidad con que los bienes circulan por el sistema económico y disminuyen la necesidad de fabricar nuevos productos.

La tercera estrategia es la **optimización (Optimise)**, que se centra en mejorar la eficiencia de los recursos y eliminar pérdidas durante la fabricación y el uso de los productos. Implica, entre otras cosas, integrar tecnología inteligente para ajustar el uso de materiales o energía a las necesidades reales. Un ejemplo es el uso de sensores en la iluminación de infraestructuras, para ajustar su consumo de electricidad. La siguiente estrategia es la **circularidad (Loop)** que hace referencia a la recirculación continua de materiales dentro del sistema económico. En el caso de los materiales biológicos, esto puede implicar el compostaje; en los materiales técnicos (metales, plásticos, etc.), se fundamenta en reutilizar, remanufacturar o reciclar productos y componentes. Esta estrategia sirve para reducir la cantidad de

materiales eliminados y para mantenerlos dentro de la cadena de valor durante más tiempo.

La quinta estrategia vinculada a la economía circular sería **virtualización (Virtualise)**, que consiste en sustituir bienes físicos por servicios digitales, con el objetivo de reducir el consumo de materiales y energía. Ejemplos cotidianos serían las reuniones virtuales en lugar de los desplazamientos, los libros digitales, los servicios de música en streaming o el uso de aplicaciones móviles que reemplazan dispositivos físicos como despertadores, GPS o cámaras. Finalmente, la última estrategia es el **intercambio (Exchange)** de tecnologías, productos o procesos obsoletos por alternativas más sostenibles y eficientes. Esto incluye cambios como en las fuentes energéticas, como la adopción de motores eléctricos en lugar de combustión, así como de materiales, al sustituir los plásticos convencionales por materiales biodegradables o reciclables.

Por otra parte, en el contexto de las infraestructuras es especialmente de interés el modelo *Cradle to Cradle* (C2C), desarrollado en 2002 por William McDonough y Michael Braungart, que representa un enfoque innovador de la sostenibilidad basado en la imitación de los procesos naturales. A diferencia de los modelos tradicionales de “cradle to grave” (de la cuna a la tumba), que asumen que los productos tienen un inicio y un final lineal, el C2C parte del principio de que todo residuo puede convertirse en un recurso, eliminando completamente la noción de desperdicio. Este enfoque promueve el diseño pensado para la reutilización continua, donde cada componente de un producto está concebido para que pueda ser desmontado, reciclado o compostado de forma segura, sin generar externalidades negativas.

El modelo distingue entre nutrientes técnicos, que son materiales sintéticos o procesados (como metales, plásticos o fibras textiles) que pueden ser recuperados y reutilizados indefinidamente sin perder propiedades ni generar contaminación; y nutrientes biológicos, que son materiales orgánicos (como la madera no tratada, el algodón o el almidón) diseñados para descomponerse y retornar al medio ambiente sin impacto.

En el campo de las infraestructuras, la aplicación del C2C supone un cambio en el diseño y gestión de materiales de construcción, promoviendo el uso de componentes modulares, fácilmente desmontables y reciclables, así como la trazabilidad de los materiales empleados. Esto permite reducir los residuos, la huella ambiental de las obras y generar un banco de materiales reutilizables de cara a futuras intervenciones.

Normativa y estrategias relacionadas con la circularidad

La legislación ha regulado y las diferentes administraciones han establecido un contexto normativo y estratégico para fomentar la transición hacia la circularidad. Este marco normativo está concebido para garantizar que la circularidad se integre efectivamente al diseño, la construcción y la gestión de las infraestructuras, asegurando un uso eficiente de los recursos a lo largo de todo su ciclo de vida. A continuación, se presentan las principales normas y directrices que, tanto desde el ámbito europeo como estatal y autonómico, impulsan esta transformación hacia la circularidad.

A nivel estratégico, y a escala europea, cabe destacar

el **Plan de Acción para la Economía Circular**, que define un marco estratégico que convierte la sostenibilidad de los productos, servicios y modelos de negocio en una norma estructural. Este plan impulsa medidas legislativas como la ampliación de la Directiva de ecodiseño a todos los productos, la adopción de pasaportes digitales de producto, el uso obligatorio de materiales reciclados y la prohibición de destruir productos no vendidos. Además, fomenta nuevos modelos como el producto como servicio y la reparabilidad obligatoria, promoviendo la circularidad como motor de competitividad, resiliencia industrial e independencia de materias primas. Adicionalmente, el Plan de Acción contempla la digitalización como herramienta clave, integrando tecnologías como el Blockchain, la inteligencia artificial y los gemelos digitales para garantizar la trazabilidad, el mantenimiento predictivo y la valorización de los materiales a lo largo de todo el ciclo de vida.

En virtud del nuevo Reglamento 2024/3110, los requisitos de sostenibilidad aparecerán a través de características esenciales obligatorias inspiradas en la norma EN 15804, esta obligación comenzará con el marcado CE de los cuatro indicadores principales de sostenibilidad y con el tiempo se ampliará con otros indicadores. Los requisitos de sostenibilidad de las obras de construcción estarán cubiertos por dos nuevos requisitos básicos del reglamento: BWR 7: emisiones al medio ambiente exterior, y BWR 8: uso sostenible de los recursos naturales.

Otra novedad es que los documentos de marcado CE (etiquetado CE, declaración de prestaciones y conformidad – DoPC – e información adjunta, como las instrucciones de seguridad y las instrucciones

de instalación) pasarán a ser documentos digitales, para que puedan ser leídos por máquinas. Esta digitalización de toda la información relacionada con el producto de construcción se recopilará y centralizará en el DPP (pasaporte digital del producto) y será un punto clave para la trazabilidad de los recursos y para la economía circular.

A escala europea, también cabe destacar el **Reglamento del Parlamento Europeo y del Consejo para garantizar el suministro seguro y sostenible de materias primas fundamentales (Critical Raw Materials Act)**. Esta iniciativa establece un marco regulador para reducir las dependencias estratégicas de la UE en materiales esenciales para la transición ecológica y digital, como el litio, el cobalto o las tierras raras, fomentando la circularidad, la resiliencia industrial y la sostenibilidad ambiental. En el contexto de las infraestructuras, el Reglamento impulsa el uso de materiales reciclados, el ecodiseño orientado a la reparabilidad y la trazabilidad mediante pasaportes digitales, así como requisitos sobre la huella ambiental de los componentes. Además, refuerza la obligación de recuperar recursos de valor en residuos de obra y fomenta la creación de cadenas de valor europeas para la reutilización, remanufacturación y el reciclaje de materiales estratégicos.

En esta línea, el **Reglamento (UE) 2024/1252**, relativo al suministro seguro y sostenible de materias primas fundamentales, se convierte en un elemento clave para garantizar la disponibilidad de los recursos críticos en el sector de las infraestructuras. Esta norma establece objetivos vinculantes para 2030, como que al menos un 25% del consumo anual de materias primas estratégicas provenga del reciclaje

y que un 10% se cubra mediante extracción dentro del territorio europeo. Asimismo, promueve el ecodiseño orientado a la circularidad, incentivando la reutilización, la remanufactura y la valorización de residuos de obra, a la vez que impulsa el uso de pasaportes digitales de producto y la trazabilidad de los componentes a lo largo de su ciclo de vida. Este enfoque reduce la dependencia externa de materiales como el litio, el cobalto o las tierras raras, y fortalece la resiliencia industrial y ambiental de las infraestructuras, alineándose plenamente con los objetivos de descarbonización y transición ecológica de la UE.

También a escala europea, cabe destacar la **Directiva (UE) 2024/1275** relativa a la eficiencia energética de los edificios, introduce un nuevo marco jurídico vinculante para transformar progresivamente el parque inmobiliario europeo hacia la neutralidad climática. Esta directiva establece requisitos estrictos para las nuevas construcciones, que deberán ser de emisiones cero a partir de 2030, y fija el objetivo de descarbonizar la totalidad del parque edificado en el año 2050. Entre las medidas destacadas se incluye la obligación de instalar energía solar en edificios nuevos y reformados, la implantación de infraestructuras para la movilidad sostenible, la estandarización de los certificados de eficiencia energética y la creación de pasaportes de renovación para guiar intervenciones futuras. Asimismo, la directiva promueve el uso eficiente de los recursos mediante el diseño modular, los pasaportes digitales de materiales, el autoconsumo de energía renovable y la digitalización avanzada con tecnologías como los

gemelos digitales¹ y el blockchain² para garantizar su trazabilidad y circularidad.

En coherencia con este marco, el sistema **Level(s) de la Unión Europea** (aprobado en 2017), proporciona una herramienta armonizada para medir y mejorar la sostenibilidad de los edificios a lo largo de todo su ciclo de vida. Basado en seis macroobjetivos y dieciséis indicadores clave, Level(s) integra el análisis del comportamiento ambiental, la salud y el bienestar, los costes y los riesgos futuros. Fomenta el ecodiseño, la adaptabilidad, la desmontabilidad y la reutilización de los componentes constructivos, a la vez que impulsa el uso eficiente de los recursos a través de la recogida sistemática de datos y la evaluación de ciclo de vida. Complementariamente, propone criterios específicos como la construcción sostenible, el diseño para la desconstrucción, el cierre efectivo de los ciclos de materiales, el mantenimiento predictivo para prolongar la vida útil de las infraestructuras y nuevos modelos de negocio como el Building as a Service. Además, promueve la digitalización avanzada mediante tecnologías como los gemelos digitales y el blockchain, garantizando una trazabilidad robusta y facilitando la gestión circular de los edificios. Con todo ello, Level(s) se convierte en una pieza fundamental para alcanzar los objetivos del Pacto Verde Europeo y reforzar la coherencia entre la sostenibilidad ambiental, la eficiencia económica y la calidad de vida urbana.

A nivel estatal, la **Estrategia Española de Economía**

¹ Réplicas virtuales de infraestructuras físicas que permiten simular, monitorizar y optimizar su funcionamiento en tiempo real.

² Tecnología de registro digital descentralizado y seguro que garantiza la trazabilidad y transparencia de los datos, útil para certificar el origen de los materiales y procesos dentro de la economía circular.

Circular establece una hoja de ruta integradora para la transición hacia un modelo productivo más sostenible, con especial énfasis en la reducción de residuos, la eficiencia en el uso de los recursos y la descarbonización del sistema económico. Esta estrategia articula objetivos cuantitativos para 2030, como la reducción del 15% en la generación de residuos respecto al año 2010, la mejora del 10% en la eficiencia hídrica y la incorporación progresiva de criterios de circularidad en sectores clave como **la construcción**, el agroalimentario, el textil o el turismo. En el ámbito de las infraestructuras, esto se traduce en el impulso de un diseño arquitectónico más sostenible, la priorización de áridos reciclados y materiales de baja huella ambiental, así como la adopción de sistemas modulares y fácilmente desmontables que favorezcan la reutilización de los componentes. También se promueve la reutilización de un mínimo del 10% de los residuos municipales y una disminución del 30% en el consumo de materiales en relación con el PIB, optimizando así los ciclos de vida en los proyectos constructivos.

Asimismo, la **Ley 7/2022**, de residuos y suelos contaminados para una economía circular, que constituye la transposición de la **Directiva (UE) 2018/851**, es la normativa básica en materia de residuos. La presente ley pone especial énfasis en la prevención y la reducción de residuos, potenciando un diseño sostenible que minimice la generación de residuos y facilite el reciclaje y la reutilización de los materiales utilizados. También fomenta el uso de materiales reciclados y obliga a aplicar buenas prácticas para reducir el impacto ambiental de los residuos de construcción y demolición (RCDs).

La gestión eficiente de los RCDs constituye uno

de los pilares principales de esta normativa. Así, se exige la separación en origen de materiales específicos como el hormigón, el ladrillo, el vidrio o la madera y la clasificación de elementos susceptibles de ser reutilizados (se establece como objetivo la desviación del 70% de los residuos de construcción de tratamiento finalista (vertedero), y se prohíbe explícitamente su depósito directo a vertederos, incentivando su valorización. Paralelamente, se impulsa el uso activo de áridos reciclados en la construcción de nuevas infraestructuras y se exigen planes específicos de gestión de residuos en cada proyecto. Por ejemplo, en la demolición de una edificación con elementos de hormigón, cuando no ha sido posible su reutilización, se puede recuperar parte del hormigón derribado y reprocesarlo como árido.

De hecho, la Ley 7/2022 asienta las bases para el uso de materiales reciclados en la construcción y, en esta misma línea, la **Orden ACC/9/2023** concreta y refuerza la adopción de los áridos reciclados. El objetivo principal de esta orden es establecer un marco normativo que favorezca la transición hacia una economía más sostenible y eficiente en el consumo de recursos y la generación de residuos. Se pretende impulsar el uso de los áridos reciclados en los proyectos de construcción, con el objetivo concreto de alcanzar un mínimo del 5% de contenido de áridos reciclados en estos proyectos.

Otro aspecto destacado es la responsabilidad ampliada del productor, donde fabricantes y proveedores de materiales deben asumir la gestión de los residuos derivados de sus productos, fomentando el ecodiseño y garantizando una trazabilidad transparente de los materiales. En el

ámbito económico, la ley propone instrumentos como impuestos sobre el depósito en vertederos, bonificaciones fiscales por el uso de materiales reciclados, y un modelo de pago por generación de residuos industriales para incentivar prácticas circulares.

Asimismo, como antecedente clave en la regulación de los residuos de construcción y demolición, el **Real Decreto 105/2008** establece los fundamentos operativos que han permitido avanzar hacia una gestión más sostenible de estos residuos. Esta norma define obligaciones concretas para productores, poseedores y gestores, exigiendo la redacción de un estudio de gestión de residuos en el proyecto de obra, la separación selectiva en origen de fracciones como el hormigón, la cerámica, el metal o la madera, y su correcta trazabilidad hasta el tratamiento o valorización final. Asimismo, prohíbe el depósito directo en vertedero sin tratamiento previo y promueve la reutilización y el reciclaje como vías prioritarias. Este marco legal, vigente desde 2008, ha sido esencial para preparar al sector ante las exigencias más ambiciosas introducidas por la Ley 7/2022 y normativa complementaria como la Orden ACC/9/2023.

Además de las medidas relativas a la gestión de los RCDs, la Ley 10/2022 complementa y refuerza la estrategia estatal de sostenibilidad en el sector de la construcción, estableciendo incentivos fiscales y financieros para impulsar la rehabilitación energética de edificios. Esta norma se alinea con el enfoque circular de la Ley 7/2022, ya que fomenta actuaciones que reduzcan el consumo energético y mejoren el comportamiento ambiental de

los edificios, a menudo integrando criterios de reutilización y optimización de materiales. También promueve la participación activa de las comunidades de propietarios, la digitalización y la eficiencia como criterios clave para acceder a financiación y ayudas públicas. En este sentido, la Ley 10/2022 no sólo actúa como palanca para la transición energética, sino que también contribuye a consolidar un modelo constructivo más circular, resiliente y alineado con los objetivos ambientales europeos.

A escala catalana, la **Hoja de Ruta de la Economía Circular en Cataluña (FRECC) 2030** define una estrategia integral para alcanzar un modelo circular, resiliente y descarbonizado. El documento prioriza el ecodiseño, la servitización, la remanufactura y la reutilización como ejes estructurales, a la vez que impulsa la digitalización, la simbiosis industrial y la innovación como motores de cambio. También apuesta por una gobernanza colaborativa basada en la cuádruple hélix (Administración, empresa privada, investigación y ciudadanía), con mecanismos de seguimiento y ejecución que incluyen un Grupo de Trabajo Interdepartamental, hubs sectoriales y un conjunto de 15 líneas de actuación recogidas en el Plan de Acción 2024-2026, con iniciativas como la creación de centros y clústeres de reutilización, el impulso del pasaporte digital de producto, la adopción del **Building Information Modeling (BIM)**³ para la gestión circular y el reforzamiento de la movilidad sostenible mediante transporte eléctrico e hidrógeno verde.

³ Es un modelo digital 3D que integra datos técnicos para planificar, construir y gestionar edificios de forma eficiente.

Impacto sobre la economía circular de las infraestructuras

Las infraestructuras, por su naturaleza estratégica y el elevado volumen de recursos que requieren, se han convertido en un factor decisivo para impulsar la economía circular. Así, en el marco de la transición hacia un modelo económico no lineal, es fundamental entender cómo el enfoque circular puede reducir el uso de materiales vírgenes, minimizar la generación de residuos y prolongar la vida útil de los activos. En este contexto, a continuación se muestran los principales impactos vinculados al consumo de materias primas en el sector de las infraestructuras.

El consumo de recursos y generación de residuos en el desarrollo de infraestructuras

El sector de las infraestructuras se caracteriza por un consumo intensivo de recursos naturales, tanto en la fase de extracción como en la de fabricación y uso. Según la OCDE (2018), desde 1970 la extracción global de recursos para materiales de construcción se ha triplicado, llegando actualmente a los 89.000 millones de toneladas anuales. Según la misma fuente, si no se toman medidas para la reducción del consumo, esta cifra podría duplicarse hasta los 167.000 millones de toneladas en el año 2060.

Entre los materiales más utilizados, destacan el cemento y el hormigón, que son la base estructural de la mayoría de obras civiles; el acero, indispensable para puentes, túneles y armaduras; los áridos (grava, arena y piedra), empleados masivamente

en cimientos y mezclas; y el asfalto, que domina los pavimentos viarios a escala europea. Cada uno de estos materiales presenta una huella ambiental significativa a lo largo de su ciclo de vida y genera residuos difíciles de gestionar si no se integran dentro de un enfoque de economía circular.

Es importante remarcar que el impacto de estos materiales no se limita a la fase de extracción de las materias primas, sino que engloba también los costes energéticos y las emisiones embebidas a lo largo de todo su ciclo de vida. En muchas ocasiones, la cantidad de energía requerida y los gases de efecto invernadero generados en la fabricación, el procesamiento químico y el transporte de los productos finales superan de largo los valores asociados únicamente a la extracción. Esto hace que, además de poner el foco en la disponibilidad de recursos naturales, sea imprescindible incorporar estrategias de producción más limpia, el uso de subproductos o materias primas secundarias y la proximidad en la distribución, con el objetivo de reducir el impacto ambiental total y avanzar hacia una verdadera economía circular.

A continuación, se analiza de manera específica el consumo material y energético de cada uno de estos materiales:

Cemento y hormigón

La producción global de cemento se sitúa en unos 4.000 millones de toneladas anuales (Di Stefano, 2021). Según datos de Ciment Català, en Cataluña, se produjeron aproximadamente 3 millones de toneladas en 2023. La producción de una tonelada de cemento genera entre 0,8 y 0,9 toneladas de CO₂ equivalente, debido principalmente a la calcinación

de piedra caliza a temperaturas de unos 1.450 °C y al uso de combustibles fósiles (Arizona State University, 2023). Este proceso representa entre el 5% y el 8% de las emisiones globales antropogénicas y consume cerca del 5% de la energía industrial mundial (Arizona State University, 2023). Además, la fabricación de clínker implica un elevado consumo de agua dulce (unos 500 litros por tonelada), y produce contaminantes atmosféricos como partículas, NO_x y SO₂ (Di Stefano, 2021). Sin embargo, se están haciendo avances en la incorporación de subproductos como escorias y cenizas volantes, que representan ya el 5% de las materias primas en algunas regiones de Europa. Según datos del Observatorio de la Economía Circular del Sector del Cemento, en el año 2022 los materiales reciclados supusieron un 7,7% del consumo total de materias primas del sector.

Asimismo, según datos del informe de La Aportación del Sector Cementero a la Simbiosis Industrial (Instituto Cerdà, 2021) en España, sólo en el año 2019 se valorizaron materialmente 418.173 toneladas de cenizas volantes y 102.884 toneladas de otras escorias por crudo provenientes de centrales térmicas y procesos de incineración. En conjunto, esta valorización permitió un ahorro en costes de eliminación de más de 25 millones de euros sólo ese año.

Acero

El acero es clave en la construcción de infraestructuras por su resistencia estructural y durabilidad. Sin embargo, su producción supone importantes emisiones de gases de efecto invernadero. De hecho, se calcula que por cada tonelada de acero se generan unas 1,85 toneladas de CO₂ equivalente (McKinsey, 2020), principalmente

debido al proceso de reducción del mineral de hierro con coque de petróleo. La industria siderúrgica representa entre el 7% y el 8% de las emisiones globales de gases de efecto invernadero (McKinsey, 2020). A pesar de este elevado impacto inicial, el acero tiene un gran potencial dentro de la economía circular, ya que es 100% reciclable. Además, las escorias generadas durante el proceso pueden ser reutilizadas en usos como la producción de cemento siderúrgico.

Áridos (grava, arena y piedra)

Los áridos son la materia prima más consumida en el desarrollo de infraestructuras, con un consumo en 2023 en Cataluña de 20,9 millones de toneladas (ANEFA, 2024). Son esenciales en la composición del hormigón, del mortero y como base de pavimentos. Su extracción conlleva graves impactos ambientales como la alteración del terreno, la destrucción de hábitats, la erosión del suelo y el elevado consumo energético en transporte y densificación. La minería de áridos ejerce una fuerte presión sobre los recursos naturales y las reservas de arena y grava están disminuyendo en algunas regiones. Ante esta problemática, el uso de áridos reciclados se presenta como una alternativa clave para reducir el impacto ambiental de la construcción.

Asfalto

El asfalto, compuesto por áridos y betún derivado del petróleo, es el material principal en los pavimentos europeos, cubriendo el 94% de las carreteras. Su producción anual alcanza los 300 millones de toneladas. El proceso de fabricación y aplicación es altamente energético y emisivo, con impactos ambientales asociados al uso de combustibles fósiles,

emisiones de compuestos orgánicos volátiles (COV) y partículas, así como riesgos ambientales para la gestión del betún. No obstante, el reciclaje de asfalto es una práctica cada vez más extendida, con más del 85% del material reutilizado en nuevas mezclas asfálticas, reduciendo el consumo de materiales nuevos y el impacto ambiental cuando se integra dentro de los circuitos circulares.

Otros materiales (vidrio, plástico, etc.)

Aunque la mayor parte de las infraestructuras se basan en cemento, acero, áridos y asfalto, cada vez toma más relevancia el uso de otros materiales como el vidrio, los plásticos y otros compuestos poliméricos. Estos elementos pueden aparecer en aplicaciones diversas, desde paneles arquitectónicos y elementos de señalización hasta recubrimientos o sistemas de canalización. Aunque, en conjunto, suponen un volumen menor respecto a los grandes consumidores de recursos, conviene analizar también su ciclo de vida y su potencial de integración en la economía circular.

El vidrio se fabrica mediante la fusión de materias primas inorgánicas a altas temperaturas. La fase de fusión es la más impactante ambientalmente, con un alto consumo energético (744,4 Wh/kg de vidrio) y emisiones de CO₂ equivalente (1,12 kg/kg). Sin embargo, el uso de vidrio reciclado permite reducir el impacto ambiental: cada 10% de vidrio triturado añadido ahorra un 2,5% de energía y reduce las emisiones en 0,58 kg de CO₂ equivalente por kg reciclado. Además, sustituye materias primas, ahorrando 1,2 kg por cada kg de vidrio triturado utilizado.

Asimismo, en el ámbito de las infraestructuras y la construcción, los plásticos tienen un uso creciente

en elementos como membranas aislantes, sistemas de canalización y recubrimientos, gracias a su resistencia mecánica y ligereza. La fase de extracción y obtención de materias primas para fabricar plásticos supone una parte considerable del impacto ambiental, dado que la mayoría de los polímeros comerciales se producen a partir de recursos fósiles como el petróleo o el gas natural. Estas sustancias requieren varias etapas de refinamiento y transformación, de manera que generan emisiones y residuos asociados a la explotación y el procesamiento de los hidrocarburos. Una de las vías para reducir esta huella es la incorporación de plástico reciclado postconsumo, que puede minimizar tanto el consumo de recursos fósiles como la cantidad de residuos destinados al vertedero. En entornos donde se han aplicado políticas de recogida y reciclaje eficiente, se ha demostrado que el uso de plásticos recuperados puede disminuir de forma significativa el impacto global asociado a la producción (Blanco et al., 2020; Chen et al., 2016).

El impacto en la fase de uso

Una vez construidas, las infraestructuras entran en una fase de explotación que puede prolongarse durante décadas. En términos de economía circular, este periodo es crucial para amortizar el impacto ambiental inicial y optimizar el rendimiento con el mínimo consumo adicional de recursos y energía.

Un primer aspecto clave es el consumo energético derivado de su uso. En este sentido, hay que diferenciar claramente entre edificaciones (edificios públicos y privados, estaciones, aeropuertos) y las infraestructuras de obra civil pura (carreteras, puentes, redes diversas). En cuanto a los **edificios**,

el consumo energético operativo (iluminación, climatización, ventilación, etc.) es significativo. De hecho, los edificios son responsables en la UE de aproximadamente el 40% del consumo total de energía y del 36% de las emisiones de gases de efecto invernadero, principalmente debido a las necesidades de climatización y electricidad (Comisión Europea, 2020). En España, el parque edificado representa cerca del 30% del consumo energético final y genera alrededor del 25% de las emisiones nacionales de CO₂ equivalente (Green Building Council España, 2024). Además, el 75% del parque inmobiliario europeo se considera energéticamente ineficiente y, en el caso de España, hasta un 75% de las viviendas tienen una calificación energética inferior a D. Esto implica que, tras la construcción, su uso continuado durante décadas provoca un consumo constante de energía (a menudo de origen fósil) que supera con creces la energía gastada durante la fase constructiva.

Por otra parte, en las **infraestructuras de transporte** (como carreteras, autopistas, túneles y ferrocarriles), si bien éstas no consumen directamente combustibles, requieren recursos energéticos indirectos para asegurar su funcionamiento seguro. La iluminación de carreteras, autopistas y vías urbanas supone una parte importante del consumo energético de las ciudades, y los túneles requieren ventilación forzada, sistemas de iluminación constantes y equipos de bombeo, con el consumo de electricidad asociado. En el caso de las líneas ferroviarias electrificadas, la infraestructura proporciona energía a los trenes, incorporando así indirectamente parte del consumo del sector transporte. Asimismo, las redes de suministro (agua potable, alcantarillado, riego) integradas en las infraestructuras implican un consumo energético continuo por bombeo y tratamiento.

A pesar de pertenecer a sectores diferentes, estos consumos forman parte del ciclo de vida útil de las infraestructuras y deben minimizarse para alcanzar un modelo circular sostenible.

Otro aspecto destacable es el desgaste y las necesidades de mantenimiento durante el uso. Todas las infraestructuras se deterioran con el tiempo por factores como el tráfico, las condiciones meteorológicas y otras influencias ambientales, lo que requiere intervenciones periódicas de mantenimiento, reparación y rehabilitación. Desde una perspectiva circular, estas intervenciones son positivas para que alarguen la vida útil y retrasen la necesidad de nuevas construcciones. No obstante, el mantenimiento implica un consumo adicional de materiales y genera residuos. Por ejemplo, el reasfaltado de una autopista implica retirar el pavimento viejo, aportar nuevos áridos y betún, y consumir combustible en la maquinaria necesaria.

Desde una perspectiva de economía circular, es importante reutilizar al máximo los materiales retirados y aumentando la resiliencia de la infraestructura para reducir la frecuencia de las intervenciones. En este sentido, el reciclaje de los pavimentos asfálticos es ejemplar, ya que cuando hay que renovar una carretera, el firme antiguo se fresea y el material recuperado se reincorpora a la nueva mezcla asfáltica, lo que permite la reducción de la necesidad de material nuevo y evita la generación de residuos. En España, según la *Asociación Española de Fabricantes de Mezclas Asfálticas*, ya es habitual incluir entre un 20% y un 30% de material recuperado en las nuevas mezclas, con potencial para aumentar aún más este porcentaje. De manera similar, en el mantenimiento ferroviario, el balasto retirado puede ser limpiado y reutilizado, y en

puentes metálicos es viable reacondicionar o sustituir elementos reutilizando piezas. Estos buenos ejemplos contrastan con la media europea de circularidad global, que solo llega al 11,8%, lo que resalta la necesidad de potenciar estrategias como estas. (EEA, 2025).

Finalmente, prolongar la vida útil y fomentar la adaptabilidad y reutilización de infraestructuras son pilares fundamentales de la circularidad. Hoy en día, gracias a materiales más durables (como hormigones de alta resistencia y asfalto modificado) y mantenimientos preventivos, es posible alargar la vida útil de una infraestructura, y así evitar la construcción prematura de nuevas obras. Además, prácticas como la inspección predictiva y las reparaciones preventivas son clave, ya que maximizan el valor de los materiales ya invertidos. También hay que potenciar la reutilización de infraestructuras existentes para nuevos usos, como convertir tramos ferroviarios en desuso en vías verdes o transformar puentes antiguos en pasarelas peatonales.

La gestión circular del fin de vida de las infraestructuras

Una vez acabada su vida útil, el desmantelamiento de las infraestructuras genera grandes cantidades de materiales rechazados (residuos), el cual se convierte en una pérdida de recursos valiosos si no se aplica una gestión circular eficiente. Los residuos de construcción y demolición (RCD) constituyen aproximadamente el 30-33% del total de los residuos generados en Europa, con unos 450-500 millones de toneladas anuales, siendo la fracción más importante en volumen dentro de la Unión Europea.

En España, la situación refleja esta tendencia, con una generación de 37,1 millones de toneladas en 2021, tras un descenso puntual en 2020 (32,5 millones de toneladas) debido a la pandemia. Este volumen representa aproximadamente el 32% de los residuos totales del país.

Cataluña generó 6,95 Mt de residuos de la construcción y demolición en el año 2023. Cabe destacar que se trata de la cifra más elevada de generación de residuos desde la crisis provocada por el estallido de la burbuja inmobiliaria en el año 2008. No obstante, se observa una tendencia positiva en cuanto a la valorización de estos residuos, dado que la tasa de reciclaje, en el año 2023, fue del 71,8% (superando los objetivos europeos marcados). Este crecimiento se explica tanto por la implementación de tecnologías más eficientes de separación y tratamiento de escombros como por la creación de un mercado consolidado de áridos reciclados, que permite aprovechar los materiales en nuevas obras, infraestructuras o proyectos de acondicionamiento urbano. A pesar de estos avances, es imprescindible seguir mejorando la separación en origen de los residuos, fomentar la demolición selectiva y potenciar el uso de materiales reciclados en obras públicas para minimizar el uso de vertederos y transformar los residuos en recursos valiosos, contribuyendo a un modelo de construcción mucho más circular y sostenible.

Por otro lado, la gestión de los residuos con amianto, por su peligrosidad, queda fuera del circuito circular, ya que el 100% se elimina mediante depósito controlado.

La principal fracción de los RCD son los materiales

minerales (áridos, hormigón, etc.), que representan la mayor parte del volumen y que técnicamente son reciclables casi al 100%. A pesar de ello, la falta de separación en origen, la baja demanda de áridos reciclados y prácticas irregulares provocan que muchos de estos recursos se pierdan definitivamente en vertederos. Materiales con alto valor económico y ambiental, como metales o plásticos, también sufren pérdidas si no son gestionados correctamente.

Finalmente, promover la demolición selectiva y la adaptabilidad de las infraestructuras existentes permite recuperar componentes valiosos (vigas metálicas, elementos prefabricados, cableado) que pueden reutilizarse o reciclarse, minimizando la necesidad de nuevos recursos y reduciendo la carga ambiental asociada a nuevas extracciones y producciones. La demolición selectiva se basa en una planificación previa que identifica y separa los diferentes materiales y elementos constructivos según su composición, estado y potencial de valorización. Este proceso facilita la reutilización directa de elementos estructurales y de cierre, e incrementa la eficiencia del reciclaje en flujos como el hormigón, la madera o el metal. Además, reduce la presencia de impropios y contaminantes en los residuos generados.

Hay que tener en cuenta que las instalaciones de gestión de residuos son infraestructuras que deben estar diseñadas y gestionadas para minimizar su impacto, de manera que su existencia, necesaria para la gestión correcta de los flujos residuales, implique menos impacto que el hecho de no utilizarlas”.

Los retos circulares en el desarrollo y gestión de infraestructuras

Los datos muestran claramente que la construcción y el derribo siguen generando importantes volúmenes de residuos en la UE, por lo que la transición hacia un modelo circular se convierte en imprescindible. Por ello, este apartado se centra en las principales iniciativas que surgen para avanzar hacia infraestructuras más sostenibles, resilientes y eficientes.

La circularidad en el diseño

El ecodiseño en las infraestructuras es aquel diseño que considera acciones orientadas a la mejora ambiental de la infraestructura en todas las etapas de su ciclo de vida, desde su creación en la etapa conceptual, hasta su tratamiento como residuo. En este sentido, la fase del diseño es crítica. En esta fase se define el ciclo de vida que tendrá un producto, su duración, el consumo de materiales y energía, la capacidad para un proceso de recuperación, entre otros aspectos. Por lo tanto, esta etapa es decisiva ya que las decisiones que se tomen aquí tendrán efecto sobre el resto de etapas posteriores.

La digitalización y la integración del concepto de circularidad desde las fases iniciales de diseño son esenciales para alcanzar una gestión eficiente y sostenible de los recursos a lo largo de todo el ciclo de vida de las infraestructuras. Para traducir esta visión en acciones concretas, es necesario aplicar criterios de diseño circular desde el inicio del proyecto. Un diseño circular antepone la sostenibilidad desde la fase de concepción e incluye el uso de materiales durables, reciclables o reutilizables. Para garantizar la futura recuperación

de los elementos, se añaden tecnologías digitales avanzadas, como el *BIM*, que permiten describir en detalle cada componente y crear “pasaportes digitales”. Estos pasaportes documentan la composición y la localización exacta de cada parte, lo que facilita enormemente la trazabilidad, la planificación de mantenimientos predictivos y la reutilización. Además, *BIM* permite hacer una comprobación automatizada del cumplimiento de los requisitos de sostenibilidad durante la fase de diseño, incluyendo la calidad de los materiales, su impacto ambiental y las instrucciones de desmontaje.

Asimismo, cabe destacar que los gemelos digitales y los sensores *IoT* permiten monitorizar en tiempo real las condiciones de cada infraestructura, haciendo un seguimiento del desgaste, las vibraciones o el estrés de los materiales. Mediante algoritmos predictivos, los equipos de mantenimiento pueden intervenir antes de que surjan problemas graves, alargando la vida de los activos y promoviendo el ahorro de recursos. Un ejemplo destacado es la integración de estas tecnologías en puentes o autopistas, donde los sensores ayudan a garantizar la seguridad y sostenibilidad a largo plazo.

Además, la combinación de *BIM* con datos SIG (Sistemas de Información Geográfica) e *IoT* permite crear una visión integral del comportamiento de las infraestructuras. Esta sinergia posibilita simular escenarios de uso, planificar remodelaciones y diseñar desde el principio con criterios de circularidad. Por ejemplo, se puede identificar qué tramos de una carretera se podrían beneficiar de pavimentos modulares reciclables, garantizando desde el diseño una gestión óptima del ciclo de vida.

Por otro lado, uno de los pilares fundamentales del diseño circular es su adaptabilidad. Las infraestructuras modulares y flexibles pueden responder a cambios futuros en el uso, la tecnología o las necesidades sociales, evitando demoliciones prematuras. Por ejemplo, edificios públicos y privados o estaciones de transporte pueden ser diseñados para permitir su reconfiguración funcional.

Adicionalmente, la implementación de fuentes de energía renovables y sistemas inteligentes en el diseño también tiene un papel destacado, ya que la incorporación temprana de paneles solares, geotermia o energía eólica reduce el impacto ambiental de la explotación.

Varios proyectos europeos ya ponen en práctica estos principios. El proyecto CIRCUIT (Horizon Europe), enfocado a infraestructuras de transporte sostenibles, ha desarrollado una plataforma digital interoperable que integra *BIM* y otras herramientas tradicionales para incorporar innovaciones circulares desde la fase de diseño, evaluando los impactos positivos durante todo el ciclo de vida.

El uso de materiales reciclados y de menor impacto

Los materiales constituyen el corazón de cualquier infraestructura, y su selección condiciona tanto el impacto ambiental inmediato (energía y emisiones en la producción) como las posibilidades de reutilización futura. Además, muchos de estos materiales deben importarse, lo que genera una fuerte dependencia para su desarrollo. Un caso paradigmático es el del acero: el 32,5% del consumo interno en España en 2023 se cubrió con importaciones provenientes de países terceros fuera de la Unión Europea (UNESID,

2024). Reducir esta dependencia mediante el uso de materiales reciclados y de proximidad es un objetivo estratégico clave, no sólo en términos ambientales, sino también para garantizar la resiliencia del sector ante tensiones del mercado global.

Hay que tener en cuenta que promover la circularidad implica también sustituir materiales vírgenes por materiales reciclados, reutilizados o de bajo impacto ambiental siempre que sea posible, asegurando al mismo tiempo la calidad y resistencia requeridas. Una de las líneas de actuación más destacadas en este sentido es la valorización de los residuos de construcción y demolición (RCD), mediante su transformación en áridos reciclados para uso estructural. Esta práctica permite reducir la demanda de áridos naturales, limitar la extracción de recursos vírgenes y evitar la acumulación masiva de residuos. Además, su uso está regulado por el Código Estructural, que establece características clave como una absorción de agua máxima del 7% y un desgaste De Los Ángeles⁴ inferior al 40%, así como las condiciones de composición y reactividad, mientras que el Código Técnico de la Edificación (CTE) avala su aplicación en elementos no pretensados siempre que se garanticen los requisitos técnicos de resistencia y durabilidad.

A nivel catalán, la Orden ACC/9/2023 establece la obligatoriedad de incluir un mínimo del 5% de áridos reciclados en peso en toda obra pública o privada en Cataluña, y clasifica los diferentes tipos de áridos según su composición con el fin de adecuar su uso a cada aplicación constructiva. En esta línea, modelos como el *Cradle to Cradle* también ponen el

⁴ *Parámetro normalizado que mide la resistencia de los áridos al desgaste por fricción e impacto.*

acento en el tratamiento óptimo de los materiales, ya sean técnicos o biológicos, para que puedan reintegrarse en nuevos ciclos sin dañar el

medio... En Cataluña, iniciativas como la red de plantas autorizadas para la valorización de los RCD y campañas de sensibilización del sector buscan incrementar estas tasas y normalizar su uso en proyectos constructivos.

Entre los materiales sostenibles de bajo impacto ambiental destacan los hormigones ecológicos, que hacen uso de sustitutivos como las cenizas volantes o escorias granuladas, consiguiendo reducir hasta un 30% las emisiones de CO₂ equivalente en comparación con el hormigón tradicional. Sin embargo, presentan limitaciones importantes con respecto a su composición. Según el CTE la cantidad de árido grueso reciclado que se puede utilizar en elementos estructurales está limitada al 20% en peso del total de árido grueso, debido a las posibles afectaciones a la resistencia, la durabilidad y el control de calidad del hormigón. Superar este límite no es automáticamente admisible: para ello, es necesario aportar estudios específicos, experimentación complementaria y contar con la aprobación expresa de la dirección facultativa del proyecto. Todo ello supone un reto técnico y normativo relevante para el sector de la construcción sostenible.

La madera certificada también es clave, ya que garantiza una procedencia sostenible, ayuda a preservar la biodiversidad y frena la deforestación. Asimismo, los aislantes reciclados, elaborados a partir de fibras textiles recuperadas, celulosa reciclada o botellas PET, proporcionan una solución eficaz

para mejorar la eficiencia energética de los edificios y reducen el volumen de residuos enviados a los vertederos o incineradoras.

En el campo específico de las infraestructuras, hay múltiples ejemplos concretos de materiales reciclados y circulares:

- Hormigones reciclados fabricados con escombros triturados, utilizados en carreteras, puentes y puertos. Un ejemplo destacado es el **Puerto de Barcelona** (Cataluña) donde la construcción del dique nuevo (Sur) se ha llevado a cabo empleando material reciclado, concretamente, materiales sobrantes de la construcción de la nueva L9 del metro. Otro ejemplo, se encuentra en el **Puerto de Bilbao** (País Vasco), donde se ha completado la ampliación del Muelle AZ-0 con 4.000 bloques de hormigón de acero de alta densidad (provenientes de la reutilización de escorias siderúrgicas), con un ahorro de 3.000 m³ de hormigón, una reducción del 17% en la huella de carbono y la sustitución de 20.000 toneladas de materia prima natural.
- Plásticos reciclados incorporados a asfalto y pavimentos, reduciendo temperaturas de fabricación y consumo energético sin comprometer prestaciones. También destaca el reciclaje de neumáticos en superficies seguras para parques infantiles.
- Metales reciclados, especialmente el acero, reutilizado en nuevas estructuras (vigas, armaduras), así como madera estructural recuperada y elementos modulares como

contenedores marítimos reutilizados en edificaciones sostenibles.

A pesar de las iniciativas llevadas a cabo en el sector de las infraestructuras, todavía persisten retos, como asegurar un abastecimiento regular de materiales reciclados en cantidades suficientes y calidad consistente, así como superar las reticencias respecto a sus prestaciones técnicas. Según datos del Observatorio de la Economía Circular en la Industria del Cemento, entre 2004 y 2022 se han consumido 53 millones de toneladas de materias primas recicladas en España, y sólo en el año 2022 se incorporaron 2,1 millones de toneladas, equivalentes al 7,7 % del consumo total de materias primas del sector. La innovación continua en nuevos materiales sostenibles (cementos con menos clínker, asfalto frío con escorias o bioplásticos compostables) y el desarrollo de mercados digitales específicos son fundamentales para consolidar el uso de materiales circulares como alternativa habitual en la industria de las infraestructuras.

La reducción del consumo energético

La reducción del consumo energético es una prioridad estratégica en el sector de las infraestructuras. Este enfoque se concreta en tres fases principales: construcción, uso y operación, y mantenimiento. Cada una de ellas ofrece oportunidades específicas para optimizar la eficiencia energética, reducir las emisiones y avanzar hacia un modelo más sostenible y circular. A continuación, se analizan las estrategias y tecnologías aplicables a cada una de estas fases.

Fase de construcción

En esta etapa, la introducción de maquinaria

eficiente o accionada por energías renovables (excavadoras, grúas, camiones) se convierte en fundamental para reducir consumos energéticos innecesarios y minimizar el impacto ambiental asociado a la fase de ejecución de la obra. Además, la optimización de los procesos constructivos es clave para evitar consumos innecesarios.

Uno de los puntos clave es la prefabricación y la construcción industrializada que permiten controlar mejor el consumo, reduciendo desplazamientos de personal y maquinaria, así como el tiempo de ejecución a pie de obra.

En cuanto a la innovación tecnológica, cabe destacar el uso de nuevos procesos de fabricación como el asfalto templado o en frío, que, mediante el uso de aditivos como polímeros o plásticos reciclados, permitiendo reducir las temperaturas de fabricación y aplicación, consiguiendo ahorros de energía del 20 al 40% respecto al asfalto convencional en caliente.

Además, cada vez es más habitual el uso de fuentes de energía renovables en la obra, como generadores solares o híbridos, que cubren parte de las necesidades energéticas, especialmente en obras de edificación o infraestructuras ubicadas en zonas aisladas.

Fase de uso y operación

Esta fase representa el mayor potencial de ahorro energético, teniendo en cuenta el ciclo de vida completo de las infraestructuras, dado que éstas pueden permanecer en servicio durante décadas. La aplicación del estándar de edificios de alta eficiencia energética, conjuntamente con principios de diseño como el *passivhaus*⁵, incluye sistemas pasivos,

5 Estándar de construcción ultraeficiente que permite mantener con-

aislamientos térmicos avanzados y soluciones de climatización eficiente.

Un elemento clave en este proceso es la certificación energética de edificios, establecida en España mediante el Real Decreto 47/2007, que transpuso la Directiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, que clasifica las construcciones según su eficiencia en el uso de energía, de la letra A (más eficiente) a la G (menos eficiente).

En este contexto, el aislamiento térmico juega un papel fundamental. El uso de materiales de alta calidad con baja conductividad térmica como la lana mineral, el poliestireno extruido o las fibras naturales, permite reducir las pérdidas de calor en invierno y la ganancia térmica en verano, mejorando el confort interior y reduciendo la necesidad de climatización artificial.

Además, el uso de fuentes renovables (fotovoltaica, geotermia o híbridas) y de iluminación LED inteligente y adaptativa permite reducciones de consumo superiores al 50% en muchas ciudades europeas, disminuyendo también la contaminación lumínica.

En infraestructuras de transporte, destacan tecnologías como la electrificación ferroviaria avanzada con recuperación de energía procedente del frenado regenerativo, la ventilación optimizada y la iluminación inteligente adaptativa en túneles, y el uso de sistemas ITS (transporte inteligente) para mejorar la fluidez del tráfico. Paralelamente, la incorporación de energías renovables en infraestructuras aisladas

fort térmico con un consumo de energía casi nulo. Se basa en un gran aislamiento, hermeticidad, ventilación mecánica con recuperación de calor y eliminación de puentes térmicos.

disminuye la dependencia de la red convencional.

En el ámbito del agua, la digitalización y el uso de gemelos digitales han permitido optimizar los sistemas de bombeo y tratamiento, consiguiendo ahorros notables de energía. Esta transformación digital también facilita la detección precoz de averías mediante sistemas predictivos, la mejora en el control de calidad del agua con sensores en tiempo real, y la rehabilitación de redes con tecnologías sin zanja. Además, la implementación de plataformas basadas en inteligencia artificial permite optimizar el funcionamiento energético de las instalaciones, como las estaciones depuradoras, mejorando la eficiencia operativa y reduciendo el consumo eléctrico.

Fase de mantenimiento

El mantenimiento predictivo e inteligente contribuye significativamente a la eficiencia energética. Sensores IoT monitorizan las condiciones estructurales y energéticas, permitiendo reparaciones oportunas y evitando consumos innecesarios (por ejemplo, detección de fugas de agua o ajustes en climatización). En iluminación pública, sensores de presencia ajustan la intensidad lumínica en tiempo real, manteniendo la seguridad pero evitando derroches.

El reaprovechamiento de materiales de la construcción al final de su vida útil

Uno de los pilares de la economía circular es asegurar que, cuando una infraestructura llega al final de su vida útil o necesita una renovación, sus materiales y componentes se reintegren al ciclo productivo en lugar de convertirse en residuos. En el sector de la construcción tradicional, a menudo se practican

demoliciones expeditivas que tratan los residuos como un problema a eliminar en lugar de verlos como recursos aprovechables. Esta mentalidad está cambiando gracias a la aplicación de la Ley 7/2022, y a la promoción de la demolición selectiva, que consiste en derribar gradualmente y de manera coordinada para maximizar la reutilización y el reciclaje de los materiales, minimizando la fracción que acaba en el vertedero.

En este sentido, para un máximo aprovechamiento de los recursos de las infraestructuras, habría que considerar cada edificio o infraestructura al final de su vida en un “yacimiento urbano” de donde se extraen recursos valiosos (acero de las armaduras, madera de vigas, ladrillos enteros, instalaciones metálicas, etc.), que se pueden reintegrar a la cadena productiva bien mediante la reutilización directa o bien a través del reciclaje.

Un ejemplo de ello sería el concepto de edificio como banco de materiales o BAMB (siglas en inglés de Buildings As Material Banks), que liga la idea de no pensar en los materiales que componen un edificio como residuos cuando han llegado al final de su vida útil, sino como recursos que pueden ser recuperados y reutilizados a futuros ciclos constructivos, manteniendo su valor en el tiempo. Así, los edificios pasan a ser depósitos temporales de materiales que, después de cumplir su función, pueden reincorporarse al sistema productivo sin perder calidad ni propiedades. Ahora bien, para garantizar que estos materiales cumplen especificaciones técnicas y ambientales adecuadas, es esencial separarlos en origen. Cuanta menos mezcla haya, más fácil resulta recuperar fracciones puras de calidad suficiente para ser reutilizadas.

En este contexto, una de las herramientas clave es planificar el desmontaje desde la fase de diseño, elaborando un plan de deconstrucción (un “libro del edificio” vivo) donde se establecen procedimientos y estrategias para recuperar materiales cuando llegue el momento de la renovación o el derribo. Este principio se alinea con la norma UNE-ISO 20887:2023, que define los criterios para el desmontaje y la adaptabilidad en edificaciones y obras de ingeniería civil. Esto incluye inventarios o pasaportes de materiales que identifiquen qué hay y dónde, y facilita la logística de recuperación. Su importancia ha crecido aún más con la aplicación plena, desde el 1 de enero de 2024, de algunas obligaciones específicas derivadas de la Ley 7/2022, de residuos y suelos contaminados para una economía circular, que establecen de manera obligatoria la separación en origen de los residuos de construcción y demolición (RCD) en, como mínimo, seis fracciones: madera, metales, yeso, hormigón y escombros (fracción mineral), vidrio y plástico. Esto ha transformado completamente la gestión de los residuos a pie de obra, obligando a modificar protocolos y procesos para evitar su mezcla y garantizar la trazabilidad y valorización de cada fracción.

En cuanto al aprovechamiento de recursos al final de su vida útil, cabe destacar también las iniciativas de takeback, algunas empresas fabricantes de materiales de construcción recuperan sus productos al final de la vida útil para reintegrarlos a la cadena productiva.

Un ejemplo es el programa ReEntry® de la firma Interface, que recoge baldosas de moqueta usadas, las limpia y las vende como pavimento reutilizado. Otros fabricantes de pavimentos vinílicos, sistemas

de fachada o ventanas ya ofrecen opciones de devolución de los productos, ya sea para reciclar materiales (PVC, aluminio, vidrio, fibras, etc.) o reacondicionarlos y volverlos a vender. Otros fabricantes han desarrollado sistemas similares. Tarkett, por ejemplo, dispone del programa ReStart®, que permite la recogida y reciclaje de pavimentos vinílicos, linóleo y moqueta, tanto en obras nuevas como en reformas. El material recuperado se transforma en materia prima para nuevos productos.

En el ámbito de los cierres y fachadas, marcas como VELUX han puesto en marcha iniciativas para facilitar la recogida de ventanas viejas, especialmente para el reciclaje de vidrio y aluminio. De manera similar, fabricantes como Technal trabajan en la recuperación de perfiles de aluminio para fundirlos y reutilizarlos con menor huella de carbono asociada.

También destacan iniciativas de fabricantes como Sto o Rockpanel, que empiezan a implementar sistemas piloto para la recuperación de paneles de fachada y otros componentes compuestos, con el objetivo de reciclar sus fibras o elementos minerales.

En cuanto a la reutilización in situ, las tecnologías de reciclaje móvil permiten reaprovechar áridos y materiales minerales directamente allí donde se han generado los residuos, así se reduce el impacto ambiental del transporte y se maximiza la eficiencia en el uso de recursos. Paralelamente, han surgido plataformas digitales de compraventa e intercambio de materiales recuperados, como la Plataforma de Simbiosis Industrial de Cataluña, que pone en contacto oferta y demanda de este tipo de materiales, ofreciendo beneficios ambientales y económicos.

Finalmente, cabe destacar la rehabilitación y la reconversión de infraestructuras existentes como estrategia vinculada a la economía circular. Más que derribar, puede ser preferible adaptar o modernizar edificios obsoletos, ahorrando grandes cantidades de materiales. Según los Manuales de Ecogestión de la Generalitat de Cataluña, reformar un edificio existente tiene un impacto ambiental significativamente menor que construir uno nuevo. En lugar de generar toneladas de escombros y consumir nuevos materiales como hormigón o acero, rehabilitar permite reaprovechar la estructura existente, reduciendo emisiones de CO₂ equivalente y minimizando el impacto ambiental. Además, acostumbra a ser una solución más económica y eficiente, con una inversión a menudo inferior a la de construir desde cero, y con resultados que pueden ser igualmente transformadores.

Un caso emblemático es el de Burdeos, donde los arquitectos Lacaton & Vassal rehabilitaron bloques de viviendas sociales en 2015, añadiendo balcones e invernaderos con estructuras metálicas ligeras, transformando la calidad de vida de los residentes sin generar casi escombros. Este proyecto, reconocido con el Premio Pritzker 2021, simboliza el valor de reutilizar y mejorar aquello ya construido antes de empezar de cero.

La servitización de las infraestructuras

Una dimensión innovadora de la economía circular es la transformación de los modelos de negocio hacia la servitización, es decir, dejar de vender productos para ofrecerlos como servicios (Product as a Service). Aplicado a infraestructuras, esto significa contratar la funcionalidad en lugar de adquirir directamente

los equipamientos o instalaciones. Este enfoque alinea los incentivos económicos con la durabilidad, la reparabilidad y la recuperación de materiales, ya que el proveedor mantiene la propiedad del activo, interesado en alargar su vida útil y recuperarlo para reutilizarlo o reciclarlo.

Un ejemplo emblemático es la iluminación como servicio (Lighting as a Service, LaaS). En este modelo, el cliente no compra farolas o luminarias, sino que paga únicamente por la iluminación suministrada (por ejemplo, euros por lux o punto de luz). El proveedor se encarga de instalar, operar y mantener los sistemas de alumbrado, garantizando niveles de servicio óptimos en iluminación, disponibilidad y eficiencia energética pactados contractualmente. Esto aporta múltiples beneficios circulares, ya que los equipos se diseñan pensando en su durabilidad, reparabilidad y reciclabilidad para reducir los costes de mantenimiento y facilitar la recuperación de componentes.

Este modelo se ha extendido a otros ámbitos de infraestructuras y equipamientos:

Infraestructuras como servicio

Plantas de tratamiento de agua o instalaciones energéticas construidas por empresas que ofrecen servicios a clientes como ayuntamientos, cobrando sólo por el agua tratada o energía suministrada. Esto elimina inversiones iniciales por parte del cliente y obliga al proveedor a optimizar el ciclo de vida de los activos, diseñándolos de manera modular para facilitar actualizaciones y renovaciones continuas. Este modelo, basado en el rendimiento, incentiva la eficiencia operativa y la innovación

tecnológica, ya que el proveedor sólo obtiene ingresos si el sistema funciona correctamente y de forma sostenida. Además, permite a las administraciones públicas acceder a tecnologías punteras sin endeudarse ni asumir riesgos técnicos, y garantiza que las instalaciones estén siempre actualizadas, monitoreadas y mantenidas bajo criterios de máxima eficiencia.

Maquinaria y equipamiento como servicio

En construcción, el leasing avanzado o alquiler de maquinaria pesada se complementa con servicios integrales y tecnologías IoT permitiendo a los fabricantes recuperar los equipos al final de la vida útil para remanufacturarlos y reutilizarlos. Varias empresas ya practican estos modelos, garantizando que el cliente siempre disponga de equipos en condiciones óptimas mientras se maximiza la reutilización de piezas y materiales.

Movilidad como servicio (MaaS)

Este concepto consiste en integrar diferentes medios de transporte urbano (como el transporte público, bicicletas compartidas, patinetes eléctricos, o coches de alquiler por minutos) en una única aplicación o plataforma digital. El objetivo es facilitar que la ciudadanía pueda planificar, reservar y pagar sus desplazamientos combinando diversos modos de transporte, sin necesidad de vehículo privado. De esta manera, se reduce la dependencia del coche particular y se optimiza el uso de las infraestructuras existentes. Barcelona ya está desarrollando sistemas MaaS con el objetivo de minimizar la huella material de la movilidad urbana y fomentar el uso de vehículos compartidos, reutilizables y fácilmente reciclables.

En todos estos modelos, la tecnología IoT (Internet de las Cosas) es esencial para monitorizar en tiempo real el estado de los vehículos e infraestructuras, garantizar los niveles de servicio, medir el uso real de los activos y detectar incidencias de manera inmediata. Esto permite que los proveedores adapten la oferta a la demanda real, mejorando la eficiencia y la calidad de los servicios de movilidad.

Desde el punto de vista de la economía circular, la servitización reduce considerablemente el consumo de recursos materiales y evita la generación de residuos, al incentivar que los proveedores asuman la responsabilidad completa de los activos durante toda su vida útil. Esto también promueve la innovación continua y una economía menos intensiva en materiales. No obstante, implementar estos modelos requiere cambios culturales, técnicos y contractuales importantes. Administraciones públicas y empresas deben adaptar pliegos y contratos, capacitarse para gestionar servicios integrales a largo plazo y financiar inicialmente los activos.

Anexos gráficos

Real commodity price index, metals, 1928 to 2020

Real commodity price index across a range of metal resources, where prices are measured relative to the year 1900 (1900 = 100).

Our World
in Data

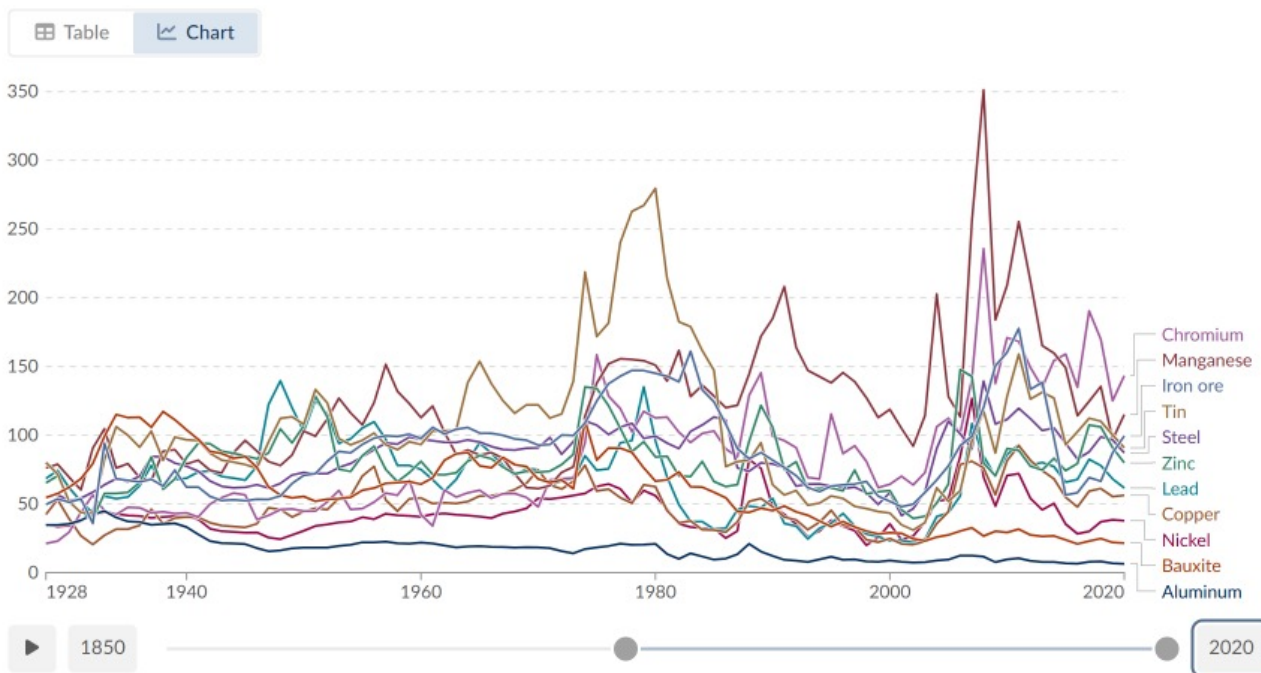


Figura 1. Índice de precios reales de las materias primas metálicas (1928–2020). Fuente: Our World in Data, 2020

Population, 1950 to 2023

Our World
in Data

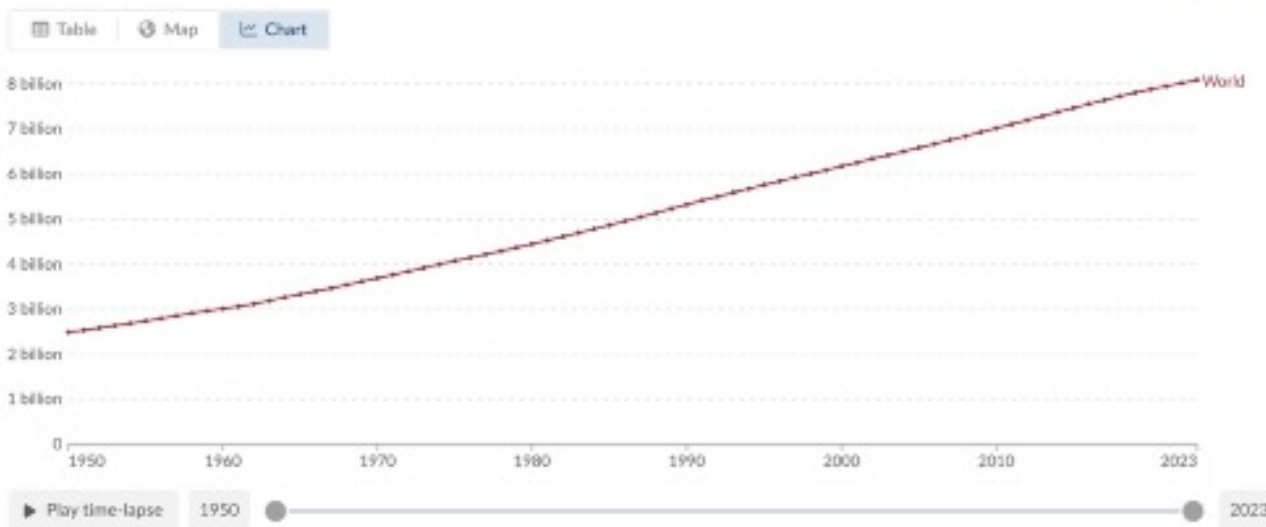


Figura 2. Evolución de la población mundial, 1950–2023 Fuente: Our World In Data, 2024.

Recursos naturals	Canvi de preu anual 1900-2000 %	Principals factors de l'oferta dels canvis en els preus dels recursos (principalment després de 1960)				Factors de demanda (post -1980)
		Noves fonts de subministrament	Progrés tecnològic relacionat amb l'oferta	Estructura de la indústria	Subvencions als productors	Canvis en la demanda
Energia	0.3	Descobriments de grans fonts de subministrament	Reducció del cost unitari del 10 al 20% amb la duplicació de la capacitat	L'augment de l'OPEP i els xocs de l'oferta van augmentar els costos del petroli durant la dècada de 1970	Grans subsidis energètics als països en desenvolupament	La intensitat energètica mundial del creixement va caure un 1,4% anual. 1980-2000
Materials	0.2	Grans descobriments de noves mines	Ús de tecnologies d'extracció de baix cost			El creixement global de la intensitat de l'acer va caure un 1% anual. 1980-2000
Menjar	-0.1	Les terres de conreu de cereals van augmentar un 0,1 % p.a. 1961-2000	El rendiment de gra per hectàrea augmenta un 2,1% p.a. 1961-2000		Grans subsidis agrícoles als països desenvolupats	La demanda de blat en relació al PIB va caure un 1,5 % p.a. 1980-2000
Aigua ¹	-0	Gran inversió en nou subministrament			Subvencions públiques de fins al 90% del cost real de l'aigua	La intensitat global de creixement de l'aigua va caure un 1% anual. 1980-2000

■ Conductor fort
■ Conductor mitjà

Figura 3. Factores de incidencia sobre los precios durante el siglo XX en función del recurso. Fuente: McKinsey, 2011.

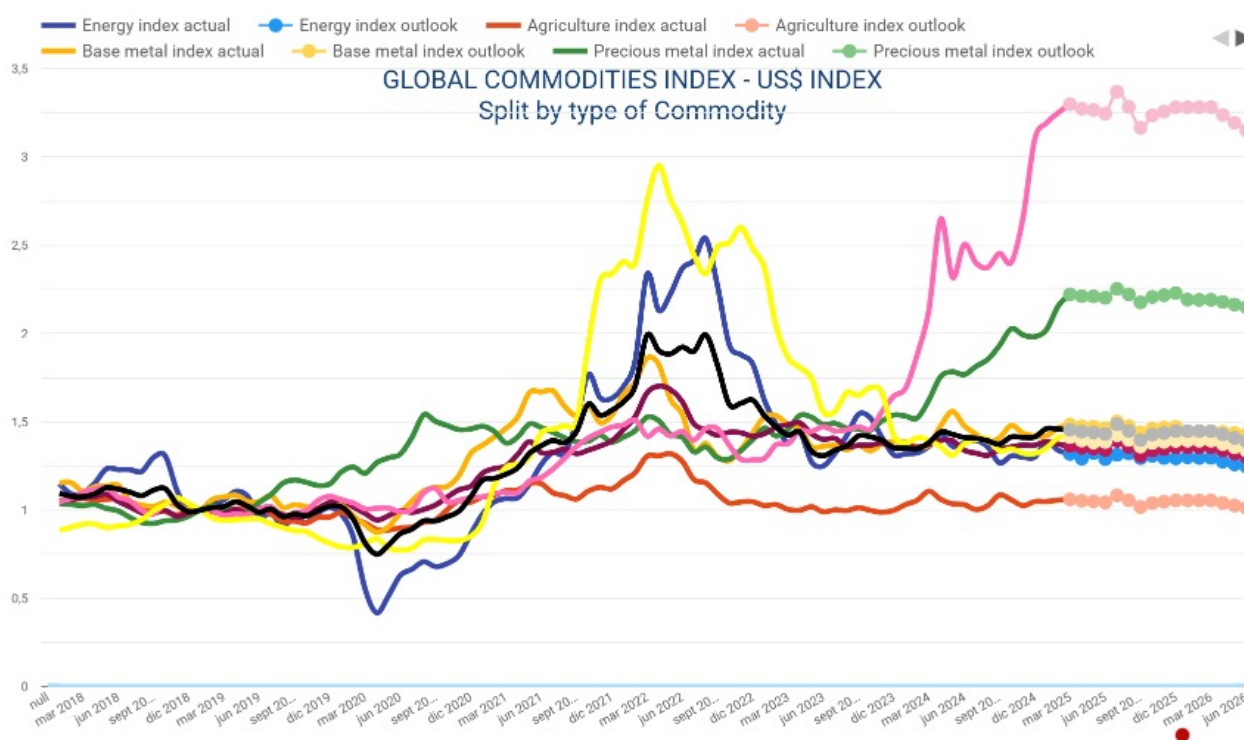


Figura 4. Evolución de los precios de materias primas de los últimos años Fuente: Business AnalytIQ, 2025.



Figura 5. Balance de materias. Fuente: Cadic (Xavier Elias), 2023.

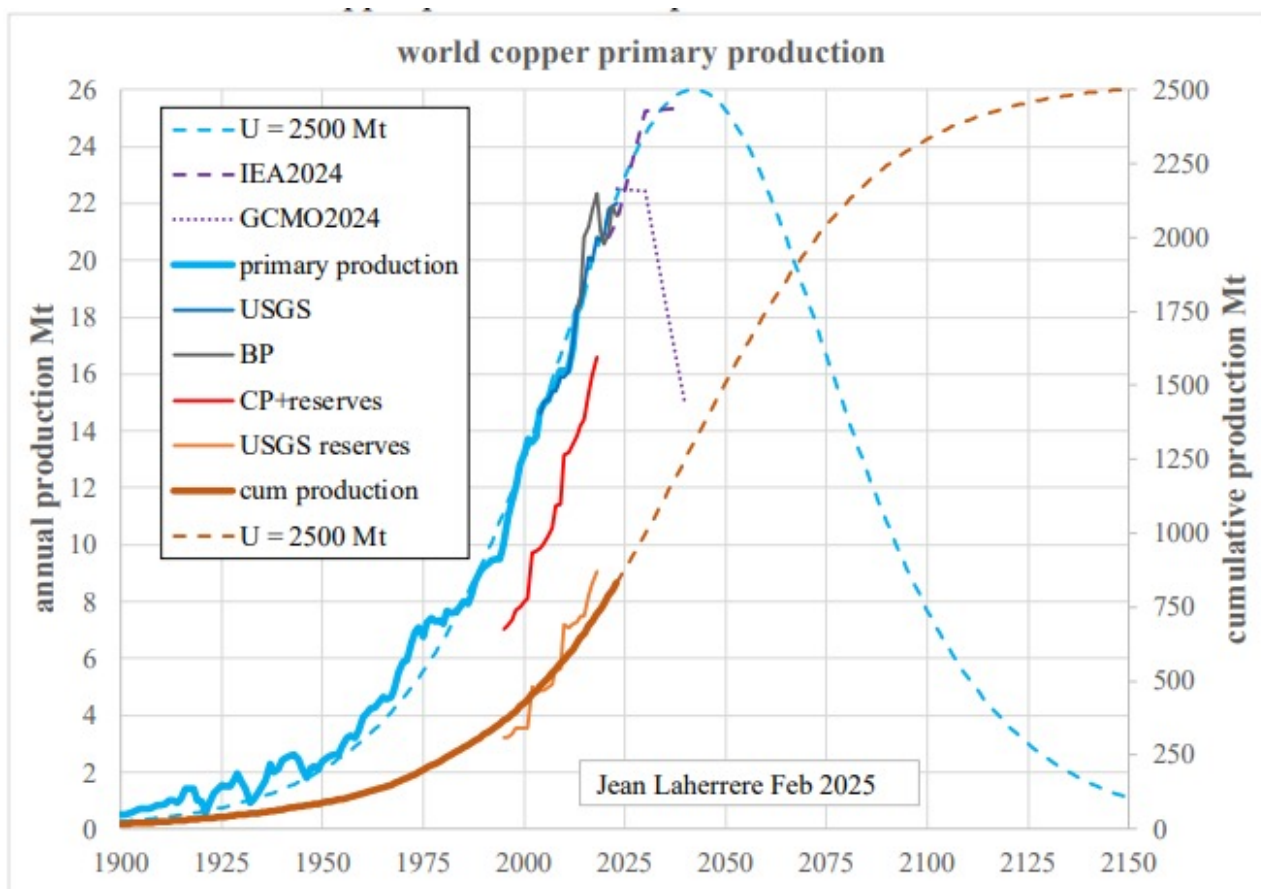


Figura 6. Producción primaria mundial de cobre. Fuente: Jean Laherrere, 2025.

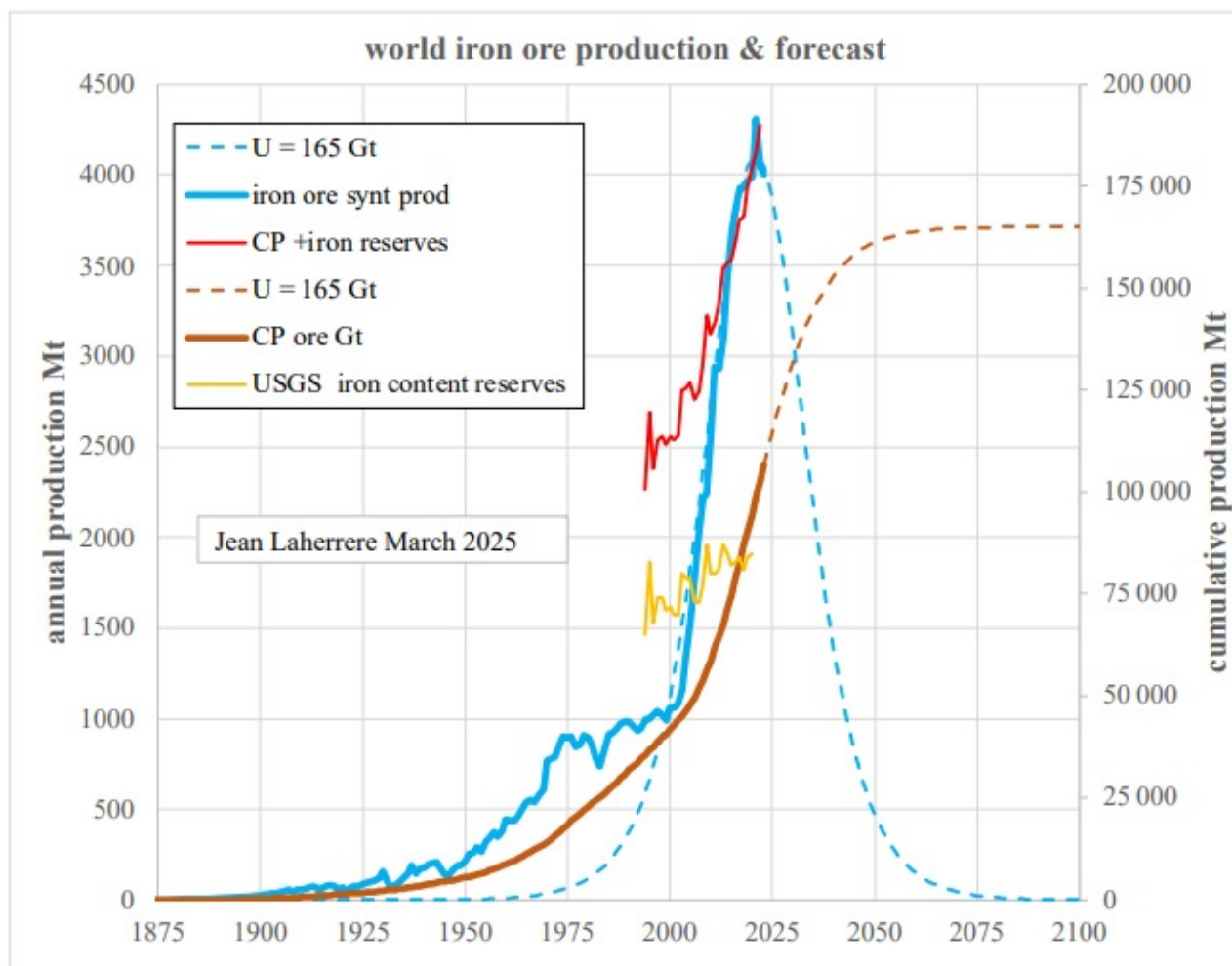


Figura 7. Producción y pronóstico mundial de mineral de hierro. Fuente: Jean Laherrere, 2025.

Presidente de honor: Francisco Gutiérrez Ferrándiz

Presidente de honor: Joaquim Llansó

Presidente	Juan Manuel Manrique Gual
Vicepresidenta	Maria Jesús Montoro Chiner
Vocal	Ramon Arandes Renú
Vocal	Mario Aymerich
Vocal	Enric Baucells Vilarasau
Vocal	Josep Dolz Ripollés
Vocal	Imma Estrada
Vocal	Josep Gassiot i Matas
Vocal	Anna Gener Surrell
Vocal	Josep Lascurain Golferichs
Vocal	Ada Llorens i Geranio
Vocal	Miquel Morell Deltell
Vocal	M ^a Belén Noguera de la Muela
Vocal	Valentí Pich Rosell
Vocal	Ramon Serra Massip
Vocal	Ferran Travé i Piqué
Vocal	Josep Túnica Buira
Secretario	Salvador Guillermo Viñeta
Secretario Adjunto	Ignasi Puig Abós

Componentes del grupo de trabajo:

Ponente David Martínez Ramírez (Fundació Privada Institut Cerdà)

Vocales Mario Aymerich
 Marc Bassany
 Ignasi Cubiñá
 Francisco Diéguez
 Ruben Gil
 Francisco Gutiérrez
 Joaquim Llansó
 Juan Manuel Manrique
 M Jesús Montoro
 Victoria Sol Olmos
 Ramón Tella



Via Laietana, 32. 3a planta
08003 Barcelona
consellinfraestructures.cat
info@consellinfraestructures.cat
T. 93 467 52 86

