
Infraestructures i economia circular

Novembre 2025 / Document #16

Infraestructures i economia circular

Infraestructures i economia circular

La transició cap a una economia circular en el sector de les infraestructures és no només desitjable sinó imprescindible. requereix una transformació profunda de les pràctiques de disseny, producció, ús i gestió de residus. el desplegament normatiu i tecnològic, així com els nous models de negoci basats en la servitització i l'eficiència, ofereixen un camí viable per assolir infraestructures sostenibles, resilients i alineades amb els objectius del pacte verd europeu.

1 - El canvi de paradigma dels recursos: Introducció a l'economia circular

El **model econòmic lineal tradicional**, basat en l'extracció, producció, consum i eliminació, és responsable en gran mesura del **canvi climàtic i l'esgotament de recursos** i s'ha mostrat inviable en el context del segle XXI. La dependència d'importacions de matèries primeres, la volatilitat en els preus i la creixent pressió social i normativa per reduir la petjada ambiental exigeixen una transformació profunda del model productiu. En aquest sentit, si es vol assolir els Objectius de Desenvolupament Sostenible (ODS) i els

compromisos d'emissions de gasos d'efecte hivernacle (GEI) sota l'Acord de París necessitem adoptar **un nou model econòmic**.

Com a resposta, l'economia circular estableix un model de producció i consum més sostenible, en què les matèries primeres es mantenen més temps als cicles productius, promovent que els residus es converteixin en matèries primeres de nous processos industrials, i recolzant la transició energètica. Les ciutats, l'entorn rural i la indústria necessiten trobar solucions basades en l'economia circular per accelerar-ne els processos de descarbonització.

En aquest escenari, les infraestructures poden esdevenir una palanca clau per impulsar la circularitat, entenent-les no només com a projectes constructius, sinó com a sistemes integrats que han de preveure des del disseny la seva reutilització, adaptabilitat i desmuntatge. Aquest enfocament, que afavoreix el reaprofitament dels recursos, la reducció d'emissions i una millor eficiència en l'ús dels materials, és també una estratègia de seguretat econòmica i sobirania industrial per a Catalunya i l'Estat espanyol.

Així, la gestió de les infraestructures ha de desvincular-se del consum intensiu de recursos verges i tendir cap a sistemes circulars que redueixin l'impacte ambiental i econòmic al llarg de tot el seu cicle de vida. A més, l'evolució tecnològica i la digitalització ofereixen oportunitats per integrar mecanismes de traçabilitat, diagnòstic i reutilització intel·ligents. Aquestes transformacions permeten respondre tant a la crisi de recursos com a les demandes creixents d'una societat que reclama responsabilitat ambiental i eficiència econòmica.

El canvi de model esdevé una estratègia necessària, tenint en compte la pressió creixent sobre els ecosistemes, la dependència de recursos externs i la vulnerabilitat del sistema

productiu actual davant les disruptcions globals. Per tant, repensar el cicle de vida de les infraestructures (des de la planificació fins a la gestió del seu desmantellament) s'ha convertit en una condició indispensable per avançar cap a un sistema més resilient i autosuficient.

Un enfocament destacat per exemplificar les estratègies de l'economia circular és el marc ReSOLVE, desenvolupat per l'Ellen MacArthur Foundation juntament amb McKinsey, que identifica sis estratègies clau per assolir la circularitat. La primera és la regeneració (Regenerate), que busca restaurar la biocapacitat del planeta a través d'accions com la substitució de combustibles fòssils per energies renovables, la protecció d'ecosistemes o la recuperació de terres degradades, amb exemples com l'agricultura regenerativa o la gestió forestal sostenible. La segona és la compartició (Share), que pretén allargar la vida útil dels productes i evitar la infrautilització mitjançant el consum col·laboratiu, la reutilització i la reparació, com ara el cotxe compartit, les biblioteques de productes o el mercat de segona mà. La tercera estratègia és l'optimització (Optimise), orientada a millorar l'eficiència de recursos i reduir pèrdues durant la fabricació i l'ús, per exemple amb l'ús de tecnologia intel·ligent que ajusta el consum d'energia.

La quarta estratègia del marc ReSOLVE és la circularitat (Loop), que implica mantenir els materials dins del sistema econòmic el màxim temps possible a través de la reutilització, el reciclatge o el compostatge, segons es tracti de materials tècnics o biològics. La cinquena estratègia és la virtualització (Virtualise), que substitueix béns físics per serveis digitals per reduir l'impacte material, com ara les reunions virtuals, els llibres digitals o les aplicacions mòbils que reemplacen dispositius físics. Finalment, l'intercanvi (Exchange) promou substituir tecnologies o materials obsolets per alternatives més sostenibles, com motors elèctrics o materials biodegradables.

En el camp de les infraestructures, també destaca el model Cradle to Cradle (C2C), creat el 2002 per McDonough i Braungart, que proposa un enfocament inspirat en la natura: eliminar la idea de residu i considerar que tot pot esdevenir recurs. A diferència dels models lineals, el C2C planteja el disseny de productes per a la reutilització contínua, mitjançant components fàcilment desmontables, reciclables o compostables, evitant així externalitats negatives. El model distingeix entre nutrients tècnics, com metalls o plàstics que poden ser reutilitzats indefinidament, i nutrients biològics, com materials orgànics que es descomponen

sense impacte ambiental. Aplicat a les infraestructures, aquest model implica una nova manera de concebre i gestionar els materials de construcció, promovent la modularitat, la reciclabilitat i la traçabilitat per reduir residus i crear un banc de materials per a futurs usos.

2 - Normativa i estratègies relacionades amb la circularitat

Les administracions supranacionals, estatals i autonòmiques han començat a desplegar un conjunt coherent de normes, estratègies i instruments que orienten el sector cap a una infraestructura més circular. A nivell europeu, destaquen el Pla d'Acció per a l'Economia Circular, el qual va promoure l'adopció del nou reglament de productes de construcció 2024/3110, que substitueix al 305/2011 i que integra principis d'Economia Circular com: provisió d'informació ambiental durant tot el cicle de vida dels productes, harmonització dels productes utilitzats, instruccions d'ús i informació sobre seguretat del producte, recomanacions per al final de la vida útil dels productes amb mesures, el passaport digital de producte o la prohibició de destruir productes no venuts, el Reglament (UE) 2024/1252, del Parlament Europeu i el Consell de matèries primeres crítiques (que fixa objectius de

reciclatge obligatori) i la nova Directiva (UE) 2024/1275 d'eficiència energètica dels edificis (que exigeix construccions d'emissions zero a partir de 2030).

Aquest marc es complementa amb iniciatives com el sistema Level(s) de la Unió Europea, que proporciona indicadors per mesurar la sostenibilitat dels edificis al llarg del seu cicle de vida, o l'aplicació del principi DNSH (Do No Significant Harm), integrat en el finançament europeu. Aquests instruments busquen garantir que els projectes finançats no només siguin eficients des del punt de vista ambiental, sinó també socialment i econòmicament responsables.

En l'àmbit estatal, destaca l'Estratègia Espanyola d'Economia Circular, que estableix objectius clars de reducció de residus i consum de materials. La Llei 7/2022, de residus i sòls contaminats per a una economia circular i l'Ordre ACC/9/2023 concreten obligacions i incentius per a la utilització de materials reciclats en el sector de la construcció. A més, la Llei 10/2022 incorpora criteris de sostenibilitat en la rehabilitació energètica del parc edificat, promovent l'ús d'àrids reciclats i la reducció d'impactes ambientals derivats de la construcció i manteniment.

Pel que fa a la situació a Catalunya, el Full de Ruta de l'Economia Circular a Catalunya (FRECC) 2030 proporciona un marc operatiu amb indicadors, eines digitals i projectes pilot per fomentar una economia circular territorialitzada. Aquest marc s'alinea amb altres instruments com el sistema Level(s), el BIM i la simbiosi industrial, que busquen tancar cicles materials i reduir la petjada ecològica del sector. També inclou iniciatives com els hubs sectorials de circularitat, els centres de reutilització i la implementació progressiva de la gestió digital d'infraestructures.

3 - Impacte sobre l'economia circular de les infraestructures

Les infraestructures, pel seu pes estratègic i pel gran volum de recursos que consumeixen, tenen un paper fonamental en la transició cap a una economia circular. L'enfocament circular permet reduir l'ús de materials verges, minimitzar residus i allargar la vida útil dels actius. No obstant això, el sector presenta un alt consum de recursos, amb el conseqüent impacte vinculat a la seva extracció i producció, especialment vinculats a materials com el ciment, l'acer, els àrids i l'asfalt. Aquests elements comporten emissions elevades de CO₂ equivalent, consum energètic intensiu i generació de residus difícils de gestionar si no s'integren en cicles circulars. Tot i això, actualment ja s'apliquen estratègies com la incorporació de materials reciclats (escòries, cendres

volants), l'ús d'àrids reciclats o la reutilització d'asfalt, que ajuden a reduir la petjada ecològica del sector.

Un cop construïdes, les infraestructures entren en una fase d'explotació que pot prolongar-se durant dècades. En termes d'economia circular, aquest període és crucial per amortitzar l'impacte ambiental inicial i optimitzar el rendiment amb el mínim consum addicional de recursos i energia. En aquest sentit, cal destacar especialment els edificis i les xarxes de transport, que requereixen elevats consums d'energia per climatització, il·luminació i funcionament. A la UE, els edificis generen el 35% de les emissions i consumeixen el 42% de l'energia. Així mateix, infraestructures com túnels, xarxes d'aigua o línies ferroviàries també tenen consums associats a serveis com la ventilació, el bombeig o l'electrificació. El manteniment periòdic, tot i que necessari per allargar la vida útil, implica també l'ús de nous materials i la generació de residus. Per això, és clau potenciar el manteniment predictiu, la reutilització de materials (com el paviment fresat o el balast ferroviari), i la reconversió d'infraestructures existents per a nous usos, com ferrocarrils en desús convertits en vies verdes.

Un cop acabada la seva vida útil, el desmantellament de les infraestructures genera grans quantitats de materials rebutjats (residus), el qual esdevé una pèrdua de recursos valuosos si no s'aplica una gestió circular eficient. Els residus de construcció i demolició (RCD) constitueixen aproximadament el 30-33% del total dels residus generats a Europa, amb uns 450-500 milions de tones anuals, essent

la fracció més important en volum dins la Unió Europea. A Catalunya, el 2023 se'n van generar 6,95 milions de tones, amb una taxa de reciclatge del 71,8%. Tot i els avenços en la matèria, cal seguir avançant en la separació en origen, fomentar la demolició selectiva i incrementar l'ús d'àrids reciclats per evitar la pèrdua de recursos valuosos. Malgrat que els materials minerals es poden reciclar gairebé al 100%, sovint es perden per manca de traçabilitat i demanda.

Addicionalment, la recuperació de components com bigues, perfils metàl·lics o panells prefabricats pot evitar la necessitat de produir nous materials. A més, cal que les instal·lacions de tractament de residus estiguin ben dissenyades per garantir una valorització eficient i ambientalment sostenible. Per tant, la incorporació de criteris de circularitat des del disseny fins al desmantellament de les infraestructures és indispensable per assolir un model constructiu veritablement circular i resilient.

4 - Els reptes circulars en el desenvolupament i gestió d'infraestructures

Les dades mostren que la construcció i l'enderroc segueixen generant importants volums de residus a la UE, per la qual cosa la transició cap a un model circular esdevé imprescindible. Per això, aquest apartat es centra en les principals iniciatives que sorgeixen per

avançar cap a infraestructures més sostenibles, resilients i eficients.

L'ecodisseny en les infraestructures és aquell disseny que considera accions orientades a la millora ambiental de la infraestructura en totes les etapes del seu cicle de vida, des de la seva creació en l'etapa conceptual, fins al seu tractament com a residu. Així, la circularitat s'ha d'incorporar des del disseny inicial de les infraestructures, mitjançant criteris com l'ecodisseny, l'ús de materials durables i tecnologies digitals com el BIM, que permeten planificar la reutilització i el manteniment predictiu. Així mateix, la implementació de fonts d'energia renovables i sistemes intel·ligents en el disseny també té un paper destacat, ja que la incorporació primerenca de panells solars, geotèrmia o energia eòlica redueix l'impacte ambiental de l'explotació.

L'ús de materials reciclats i de menor impacte ambiental és clau per reduir la dependència exterior i garantir la resiliència del sector. En aquest sentit, cal destacar la valorització dels residus de construcció (RCD), l'ús d'àrids reciclats segons normatives com el Codi Tècnic de l'Edificació i l'Ordre ACC/9/2023, i l'aposta per materials com el formigó ecològic, la fusta certificada o els aïllants reciclats. El projecte del dic sud del Port

de Barcelona exemplifica l'ús de materials reciclats en el sector de les infraestructures. Tot i això, encara cal superar barreres tècniques, normatives i de mercat, motiu pel qual la innovació contínua i les plataformes digitals són essencials per avançar.

La reducció del consum energètic al llarg de tot el cicle de vida de les infraestructures (construcció, ús i manteniment) és una altra prioritat vinculada a l'economia circular. En aquest cas, cal distingir entre les diferents fases en les que aplicar mesures per augmentar l'eficiència energètica. Durant la construcció, l'eficiència es potencia mitjançant maquinària més neta, la prefabricació i l'ús d'asfalts temperats. En la fase d'ús i operació, destaca l'aplicació d'estàndards d'edificis d'alta eficiència, aïllaments eficients i energies renovables, així com sistemes intel·ligents en transports i infraestructures. Durant el manteniment, el monitoratge IoT i els sistemes predictius permeten ajustar consums i optimitzar l'operació, per exemple en xarxes d'aigua o il·luminació pública.

Un altre aspecte fonamental és el reaprofitament de materials al final de la vida útil de les infraestructures. La demolició selectiva i la visió dels edificis com a bancs de materials (BAMB) fomenten la reutilització de

components. Mentre que les normatives, com la Llei 7/2022 i la UNE-ISO 20887:2023, regulen la separació en origen i planificació del desmuntatge, existeixen iniciatives per a desenvolupar programes de retorn i reciclatge dels seus productes. També es destaquen iniciatives de reciclatge in situ i plataformes com la de Simbiosi Industrial de Catalunya per facilitar l'intercanvi de materials recuperats. La rehabilitació d'infraestructures, com el cas de Bordeus, representa una alternativa circular més eficient i amb menor impacte que la nova construcció.

Finalment, la servitització de les infraestructures pot transformar el model de propietat cap a la prestació de serveis. Aquesta consisteix en la transformació dels models de negoci cap a la servitització, és a dir, deixar de vendre productes per oferir-los com a serveis (Product as a Service). Aplicat a infraestructures, això significa contractar la funcionalitat en comptes d'adquirir directament els equipaments o instal·lacions. Aquest enfocament alinea els incentius econòmics amb la durabilitat, la reparabilitat i la recuperació de materials, ja que el proveïdor manté la propietat de l'actiu, interessat en allargar-ne la vida útil i recuperar-lo per reutilitzar-lo o reciclar-lo. Alguns exemples són la il·luminació com a servei (LaaS), el leasing intel·ligent de maquinària o la Mobilitat

com a Servei (MaaS); que mostren com aquest enfocament pot allargar la vida útil dels actius, fomentar la reutilització i reduir els residus. Aquests models requereixen però nous marcs contractuals, culturals i tècnics per a ser adoptats plenament.



Proposta del Consell Assessor d'Infraestructures de Catalunya

01

Implementar normatives específiques que obliguin l'ús de **sistemes constructius per components, dissenyats pensant en el seu desmuntatge, adaptabilitat, reutilització i mínim impacte ambiental** en infraestructures (com paviments o barreres acústiques), garantint així la seva adaptabilitat, reutilització i mínim impacte ambiental.

02

Promoure, més enllà del compliment legal, i a través de qualsevol mesura financera o fiscal, l'ús de materials reciclats certificats i amb declaracions ambientals en els projectes constructius, accelerant la transició cap a una construcció sostenible, fent servir instruments existents com la responsabilitat ampliada del productor (RAP), sistemes o segells d'avaluació de la sostenibilitat.

03

Incorporar obligatòriament la metodologia BIM (Building Information Modeling) amb passaport digital dels materials en tots els projectes d'infraestructures, garantint

la traçabilitat completa, el manteniment predictiu i la futura recuperació dels materials i components al final del cicle de vida.

04

Promoure la millora de l'eficiència de l'administració a través de la digitalització, aplicant tecnologies que permetin a les institucions optimitzar els seus processos, millorar la gestió documental i oferir millors serveis als ciutadans. L'objectiu principal de la digitalització en l'administració pública és transformar els processos tradicionals basats en el paper en fluxos de treball electrònics que puguin ser gestionats de manera més eficient.

05

Facilitar i promoure la **col·laboració públic-privada en projectes circulars** d'infraestructures amb condicions reguladores clares i segures, especialment en aquells que impliquin la reutilització directa i reciclatge avançat dels materials, aprofitant així el capital privat disposat a invertir en projectes amb criteris ambientals estrictes i innovadors.

06

Potenciar una **plataforma digital pública d'intercanvi de materials reutilitzables i reciclats** procedents de desconstruccions selectives i obres públiques, com la Plataforma de Simbiosi Industrial de Catalunya, fomentant l'aprofitament eficient i local dels recursos.

07

Potenciar l'anàlisi del cicle de vida (ACV) dels materials emprats per a la construcció d'infraestructures, incloent totes les fases del mateix, per a millorar el coneixement del seu impacte global.

08

Promoure activament el model de **"Infraestructura com a Servei" (IaaS)** per infraestructures crítiques com il·luminació pública, plantes de tractament d'aigua i instal·lacions energètiques, assegurant un manteniment eficient, la reducció de residus i la reutilització òptima dels components al final del contracte.

09

Incorporar obligatòriament la **monitorització intel·ligent amb sensors IoT i bessons digitals** en les infraestructures crítiques (ponts, túnels, xarxes ferroviàries, carreteres), facilitant el manteniment predictiu i la prolongació efectiva de la seva vida útil.

10

Impulsar l'ús obligatori de **materials reciclats estructurals** certificats en projectes públics, com formigó reciclat, àrids recuperats i també plàstics reciclats en paviments asfàltics, reduint així l'impacte ambiental directe de les infraestructures i incrementant la demanda d'aquest tipus de productes circulars.

11

Fomentar la rehabilitació energètica d'edificis per millorar el rendiment energètic de l'edifici (façanes, cobertes, finestres i instal·lacions) i reduir el seu consum a la vegada que es contribueix a un major confort tèrmic.

12

Incorporar el cost ambiental de la construcció d'un edifici (tenint en compte el conjunt d'impactes ambientals ocasionats segons l'origen dels recursos necessaris per construir l'edifici) i definir un cost per sobre del qual es podria veure afectada la llicència d'obra.

13

Promoure la sensibilització de la societat en general perquè es conegui la complexitat dels processos lligats al reciclatge i destí final dels residus, començant per les escoles.





Annex

El canvi de paradigma dels recursos. Introducció a l'economia circular

L'economia circular és la clau per a la transició energètica, estableix un model de producció i consum més sostenible, en què les matèries primeres es mantenen més temps als cicles productius, promovent que els residus es converteixin en matèries primeres de nous processos industrials. Les ciutats, l'entorn rural i la indústria necessiten trobar solucions basades en l'economia circular per accelerar-ne els processos de descarbonització.

El model econòmic global basat en l'abundància de recursos naturals a baix cost, predominant durant el segle XX, ja no és viable en ple segle XXI. Durant el segle passat, malgrat períodes puntuals de volatilitat, el preu dels recursos clau va experimentar una tendència general a la baixa, arribant a reduir-se gairebé a la meitat en termes reals (figura 1). Un exemple clar és el de l'acer, que va mantenir preus estables durant dècades gràcies a la seva elevada disponibilitat i als baixos costos d'extracció i transformació. Aquest fenomen va tenir lloc en un context en què la població mundial es va multiplicar per quatre i el PIB global va augmentar fins a vint vegades, provocant un important augment en la demanda de productes (figura 2). Aquesta reducció en el cost de les matèries primeres es va aconseguir gràcies a avanços tecnològics ràpids i a l'explotació de nous jaciments de recursos naturals més econòmics (figura 3). No obstant això, cal destacar que els preus rarament han reflectit els

costos reals de producció, ja que sovint s'han ignorat aspectes com els subsidis energètics, l'accés gratuït a l'aigua o les potencials externalitats negatives com la contaminació i les emissions de GEH (gasos d'efecte hivernacle).

Durant el segle XXI, aquesta dinàmica ha canviat radicalment. Els preus dels recursos naturals han entrat en una etapa marcada per increments importants i una volatilitat creixent, especialment intensa en l'última dècada (figura 4). Aquesta situació s'accelera ràpidament, especialment en un context d'augment del cost dels combustibles fòssils, en un escenari de transició cap a energies renovables. Alhora, la reposició de reserves mineres és cada cop més complexa i costosa, fet que tendeix a agreujar-se encara més conforme es van esgotant recursos miners.

Aquest context de crisi en la disponibilitat de recursos, juntament amb l'esgotament progressiu de matèries primeres, l'augment dels costos associats i les externalitats negatives derivades del consum massiu, ha fet més evident la necessitat de desvincular l'activitat econòmica i el desenvolupament d'infraestructures del consum de recursos naturals. A més, la dependència de països tercers i les tensions geopolítiques creixents fan que aquest repte prengui especial rellevància, convertint-se també en una qüestió estratègica de seguretat econòmica i subministrament.

Davant d'aquest panorama, és manifest que el model lineal tradicional (basat en extreure, produir, utilitzar i llençar) presenta deficiències estructurals.

Com a contraposició, l'economia circular sorgeix com una alternativa que respon a les mancances del model lineal. Aquest enfocament es basa en eines i estratègies com la reutilització, la reparació i el reciclatge dels materials i productes per prolongar-ne la vida útil i reduir la generació de residus.

La construcció d'infraestructures, que representa una de les activitats més intensives en el consum de recursos i la generació de residus al final de la seva vida útil, exemplifica amb claredat aquestes disfuncions. En concret, el model lineal impulsa un desenvolupament que sovint no considera el cicle de vida dels materials ni la reutilització d'elements constructius, generant pèrdues estructurals cada cop que s'enderroca o es renova una infraestructura. Aquestes dinàmiques no només incrementen els costos econòmics i ambientals a llarg termini, sinó que també malbaraten matèries primeres, com el coure o l'alumini, o materials compostos com el ciment. En canvi, l'economia circular promou un model regeneratiu, en què els productes, components i materials mantenen un gran valor i utilitat durant el major temps possible.

Un enfocament que serveix per exemplificar les estratègies que incorpora l'economia circular és el del marc **ReSOLVE**, desenvolupat per l'Ellen MacArthur Foundation, una de les entitats de referència a escala internacional en la promoció i difusió de l'economia circular, en col·laboració amb la consultora McKinsey. Aquest marc defineix sis estratègies fonamentals per assolir la circularitat.

En primer lloc, planteja la **regeneració (Regenerate)**, un conjunt ampli d'accions destinades a restaurar i potenciar la biocapacitat del planeta, com ara la

substitució progressiva dels combustibles fòssils per fonts d'energia renovables, la recuperació de terres degradades, la protecció dels ecosistemes naturals o la reintroducció de recursos biològics en el medi, com en el cas del compostatge. L'agricultura regenerativa o la gestió forestal sostenible en serien exemples pràctics. La següent estratègia és la **compartició (Share)**, basada en l'ús compartit i l'allargament de la vida útil dels productes per reduir el malbaratament i la infrutilització d'actius. Això inclou iniciatives com el cotxe compartit, el lloguer d'eines, les biblioteques de productes o el mercat de segona mà. També s'hi inclouen la reparació i la reutilització, que redueixen la velocitat amb què els béns circulen pel sistema econòmic i disminueixen la necessitat de fabricar nous productes.

La tercera estratègia és l'**optimització (Optimise)**, que es centra en millorar l'eficiència dels recursos i eliminar pèrdues durant la fabricació i l'ús dels productes. Implica, entre altres coses, integrar tecnologia intel·ligent per ajustar l'ús de materials o energia a les necessitats reals. Un exemple és l'ús de sensors a la il·luminació d'infraestructures, per ajustar el seu consum d'electricitat. La següent estratègia és la **circularitat (Loop)** que fa referència a la recirculació contínua de materials dins del sistema econòmic. En el cas dels materials biològics, això pot implicar el compostatge; en els materials tècnics (metalls, plàstics, etc.), es fonamenta en reutilitzar, remanufacturar o reciclar productes i components. Aquesta estratègia serveix per reduir la quantitat de materials eliminats i per mantenir-los dins de la cadena de valor durant més temps.

La cinquena estratègia vinculada a l'economia circular seria la **virtualització (Virtualise)**, que

consisteix a substituir béns físics per serveis digitals, amb l'objectiu de reduir el consum de materials i energia. Exemples quotidians serien les reunions virtuals en lloc dels desplaçaments, els llibres digitals, els serveis de música en streaming o l'ús d'aplicacions mòbils que reemplacen dispositius físics com despertadors, GPS o càmeres. Finalment, la darrera estratègia és l'**intercanvi (Exchange)** de tecnologies, productes o processos obsolets per alternatives més sostenibles i eficients. Això inclou canvis com en les fonts energètiques, com l'adopció de motors elèctrics en lloc de combustió, així com de materials, al substituir els plàstics convencionals per materials biodegradables o reciclables.

Per altra banda, en el context de les infraestructures és especialment d'interès el model Cradle to Cradle (C2C), desenvolupat el 2002 per William McDonough i Michael Braungart, que representa un enfocament innovador de la sostenibilitat basat en la imitació dels processos naturals. A diferència dels models tradicionals de "cradle to grave" (del bressol a la tomba), que assumeixen que els productes tenen un inici i un final lineal, el C2C parteix del principi que tot residu pot esdevenir un recurs, eliminant completament la noció de deixalla. Aquest enfocament promou el disseny pensat per a la reutilització contínua, on cada component d'un producte està concebut perquè pugui ser desmuntat, reciclat o compostat de forma segura, sense generar externalitats negatives. El model distingeix entre nutrients tècnics, que són materials sintètics o processats (com metalls, plàstics o fibres tèxtils) que poden ser recuperats i reutilitzats indefinidament sense perdre propietats ni generar contaminació; i nutrients biològics, que són materials orgànics (com la fusta no tractada, el cotó o el midó) dissenyats per

descompondre's i retornar al medi ambient sense impacte.

En el camp de les infraestructures, l'aplicació del C2C suposa un canvi en el disseny i gestió de materials de construcció, promovent l'ús de components modulars, fàcilment desmuntables i reciclables, així com la traçabilitat dels materials emprats. Això permet reduir els residus, la petjada ambiental de les obres i generar un banc de materials reutilitzables de cara a futures intervencions.

Normativa i estratègies relacionades amb la circularitat

La legislació ha regulat i les diferents administracions han establert un context normatiu i estratègic per a fomentar la transició cap a la circularitat. Aquest marc normatiu està concebut per a garantir que la circularitat s'integri efectivament al disseny, la construcció i la gestió de les infraestructures, assegurant un ús eficient dels recursos al llarg de tot el seu cicle de vida. A continuació, es presenten les principals normes i directrius que, tant des de l'àmbit europeu com estatal i autonòmic, impulsen aquesta transformació cap a la circularitat.

A nivell estratègic, i a escala europea, cal destacar el **Pla d'Acció per a l'Economia Circular**, que defineix un marc estratègic que converteix la sostenibilitat dels productes, serveis i models de negoci en una norma estructural. Aquest pla impulsa mesures legislatives com l'ampliació de la Directiva d'ecodisseny a tots els productes,

l'adopció de passaports digitals de producte, l'ús obligatori de materials reciclats i la prohibició de destruir productes no venuts. A més, fomenta nous models com el producte com a servei i la reparabilitat obligatòria, promovent la circularitat com a motor de competitivitat, resiliència industrial i independència de matèries primeres. Addicionalment, el Pla d'Acció contempla la digitalització com a eina clau, integrant tecnologies com el Blockchain, la intel·ligència artificial i els bessons digitals per garantir la traçabilitat, el manteniment predictiu i la valorització dels materials al llarg de tot el cicle de vida.

En virtut del nou Reglament 2024/3110, els requisits de sostenibilitat apareixeran a través de característiques essencials obligatòries inspirades a la norma EN 15804, aquesta obligació començarà amb el marcatge CE dels quatre indicadors principals de sostenibilitat i amb el temps s'ampliarà amb altres indicadors. Els requisits de sostenibilitat de les obres de construcció estaran coberts per dos nous requisits bàsics del reglament: BWR 7: emissions al medi ambient exterior, i BWR 8: ús sostenible dels recursos naturals.

Una altra novetat és que els documents de marcatge CE (etiquetatge CE, declaració de prestacions i conformitat – DoPC – i informació adjunta, com les instruccions de seguretat i les instruccions d'instal·lació) passaran a ser documents digitals, perquè puguin ser llegits per màquines. Aquesta digitalització de tota la informació relacionada amb el producte de construcció es recopilarà i centralitzarà al DPP (passaport digital del producte) i serà un punt clau

per la traçabilitat dels recursos i per a l'economia circular.

A escala europea, també cal destacar el **Reglament del Parlament Europeu i del Consell per garantir el subministrament segur i sostenible de matèries primeres fonamentals (Critical Raw Materials Act)**. Aquesta iniciativa estableix un marc regulador per reduir les dependències estratègiques de la UE en materials essencials per a la transició ecològica i digital, com el liti, el cobalt o les terres rares, tot fomentant la circularitat, la resiliència industrial i la sostenibilitat ambiental. En el context de les infraestructures, el Reglament impulsa l'ús de materials reciclats, l'ecodisseny orientat a la reparabilitat i la traçabilitat mitjançant passaports digitals, així com requisits sobre la petjada ambiental dels components. A més, reforça l'obligació de recuperar recursos de valor en residus d'obra i fomenta la creació de cadenes de valor europees per a la reutilització, remanufacturació i el reciclatge de materials estratègics.

En aquesta línia, el **Reglament (UE) 2024/1252**, relatiu al subministrament segur i sostenible de matèries primeres fonamentals, esdevé un element clau per garantir la disponibilitat dels recursos crítics en el sector de les infraestructures. Aquesta norma estableix objectius vinculants per al 2030, com ara que almenys un 25% del consum anual de matèries primeres estratègiques provingui del reciclatge i que un 10% es cobreixi mitjançant extracció dins del territori europeu. Així mateix, promou l'ecodisseny orientat a la circularitat, incentivant la reutilització, la remanufacturació i la valorització de residus d'obra, alhora que

impulsa l'ús de passaports digitals de producte i la traçabilitat dels components al llarg del seu cicle de vida. Aquest enfocament redueix la dependència externa de materials com el liti, el cobalt o les terres rares, i enforteix la resiliència industrial i ambiental de les infraestructures, alineant-se plenament amb els objectius de descarbonització i transició ecològica de la UE.

També a escala europea, cal destacar la **Directiva (UE) 2024/1275** relativa a l'eficiència energètica dels edificis, introdueix un nou marc jurídic vinculant per transformar progressivament el parc immobiliari europeu cap a la neutralitat climàtica. Aquesta directiva estableix requisits estrictes per a les noves construccions, que hauran de ser d'emissions zero a partir de 2030, i fixa l'objectiu de descarbonitzar la totalitat del parc edificat l'any 2050. Entre les mesures destacades s'hi inclou l'obligació d'instal·lar energia solar en edificis nous i reformats, la implantació d'infraestructures per a la mobilitat sostenible, l'estandardització dels certificats d'eficiència energètica i la creació de passaports de renovació per guiar intervencions futures. Així mateix, la directiva promou l'ús eficient dels recursos mitjançant el disseny modular, els passaports digitals de materials, l'autoconsum d'energia renovable i la digitalització avançada amb tecnologies com els bessons digitals¹ i el blockchain² per garantir-ne la traçabilitat i circularitat.

1 *Rèpliques virtuals d'infraestructures físiques que permeten simular, monitoritzar i optimitzar el seu funcionament en temps real.*

2 *Tecnologia de registre digital descentralitzat i segur que garanteix la traçabilitat i transparència de les dades, útil per certificar l'origen dels materials i processos dins l'economia circular.*

En coherència amb aquest marc, el **sistema Level(s) de la Unió Europea** (aprovat al 2017), proporciona una eina harmonitzada per mesurar i millorar la sostenibilitat dels edificis al llarg de tot el seu cicle de vida. Basat en sis macroobjectius i setze indicadors clau, Level(s) integra l'anàlisi del comportament ambiental, la salut i el benestar, els costos i els riscos futurs. Fomenta l'ecodisseny, l'adaptabilitat, la desmuntabilitat i la reutilització dels components constructius, alhora que impulsa l'ús eficient dels recursos a través de la recollida sistemàtica de dades i l'avaluació de cicle de vida. Complementàriament, proposa criteris específics com la construcció sostenible, el disseny per a la desconstrucció, el tancament efectiu dels cicles de materials, el manteniment predictiu per prolongar la vida útil de les infraestructures i nous models de negoci com el Building as a Service. A més, promou la digitalització avançada mitjançant tecnologies com els bessons digitals i el blockchain, garantint una traçabilitat robusta i facilitant la gestió circular dels edificis. Amb tot això, Level(s) esdevé una peça fonamental per assolir els objectius del Pacte Verd Europeu i reforçar la coherència entre la sostenibilitat ambiental, l'eficiència econòmica i la qualitat de vida urbana.

A escala estatal, l'**Estratègia Espanyola d'Economia Circular** estableix un full de ruta integrador per a la transició cap a un model productiu més sostenible, amb especial èmfasi en la reducció de residus, l'eficiència en l'ús dels recursos i la descarbonització del sistema econòmic. Aquesta estratègia articula objectius quantitatius per al 2030, com ara la reducció del 15% en la generació de residus respecte a

l'any 2010, la millora del 10% en l'eficiència hídrica i la incorporació progressiva de criteris de circularitat en sectors clau com la **construcció**, l'agroalimentari, el tèxtil o el turisme. En l'àmbit de les infraestructures, això es tradueix en l'impuls d'un disseny arquitectònic més sostenible, la prioritització d'àrids reciclats i materials de baixa petjada ambiental, així com l'adopció de sistemes modulars i fàcilment desmuntables que afavoreixin la reutilització dels components. També es promou la reutilització d'un mínim del 10% dels residus municipals i una disminució del 30% en el consum de materials en relació amb el PIB, optimitzant així els cicles de vida en els projectes constructius.

Així mateix, la Llei 7/2022, de residus i sòls contaminats per a una economia circular, que constitueix la transposició de la **Directiva (UE) 2018/851**, és la normativa bàsica en matèria de residus. Aquesta llei posa especial èmfasi en la prevenció i la reducció de residus, potenciant un disseny sostenible que minimitzi la generació de residus i faciliti el reciclatge i la reutilització dels materials emprats. També fomenta l'ús de materials reciclats i obliga a aplicar bones pràctiques per reduir l'impacte ambiental dels residus de construcció i demolició (RCDs).

La gestió eficient dels RCDs constitueix un dels pilars principals d'aquesta normativa. Així, s'exigeix la separació en origen de materials específics com el formigó, el maó, el vidre o la fusta i la classificació d'elements susceptibles de ser reutilitzats (s'estableix com a objectiu la desviació del 70% dels residus de construcció de tractament finalista (abocador), i es prohibeix explícitament el seu dipòsit directe a abocadors, incentivant-

ne la valorització. Paral·lelament, s'impulsa l'ús actiu d'àrids reciclats en la construcció de noves infraestructures i s'exigeixen plans específics de gestió de residus en cada projecte. Per exemple, en la demolició d'una edificació amb elements de formigó, quan no ha estat possible la seva reutilització, es pot recuperar part del formigó enderrocat i reprocessar-lo com a àrid.

De fet, la Llei 7/2022 assenta les bases per a l'ús de materials reciclats en la construcció i, en aquesta mateixa línia, l'**Ordre ACC/9/2023** concreta i reforça l'adopció dels àrids reciclats. L'objectiu principal d'aquesta ordre és establir un marc normatiu que afavoreixi la transició cap a una economia més sostenible i eficient en el consum de recursos i la generació de residus. Es pretén impulsar l'ús dels àrids reciclats en els projectes de construcció, amb l'objectiu concret d'assolir un mínim del 5% de contingut d'àrids reciclats en aquests projectes.

Un altre aspecte destacat és la responsabilitat ampliada del productor, on fabricants i proveïdors de materials han d'assumir la gestió dels residus derivats dels seus productes, fomentant l'ecodisseny i garantint una traçabilitat transparent dels materials. En l'àmbit econòmic, la llei proposa instruments com impostos sobre el dipòsit en abocadors, bonificacions fiscals per l'ús de materials reciclats, i un model de pagament per generació de residus industrials per incentivar pràctiques circulars.

Així mateix, com a antecedent clau en la regulació dels residus de construcció i demolició, el **Reial Decret 105/2008** estableix els fonaments operatius

que han permès avançar cap a una gestió més sostenible d'aquests residus. Aquesta norma defineix obligacions concretes per a productors, posseïdors i gestors, exigint la redacció d'un estudi de gestió de residus en el projecte d'obra, la separació selectiva en origen de fraccions com el formigó, la ceràmica, el metall o la fusta, i la seva correcta traçabilitat fins al tractament o valorització final. Així mateix, prohibeix el dipòsit directe en abocador sense tractament previ i promou la reutilització i el reciclatge com a vies prioritàries. Aquest marc legal, vigent des de 2008, ha estat essencial per preparar el sector davant les exigències més ambicioses introduïdes per la Llei 7/2022 i normativa complementària com l'Ordre ACC/9/2023.

A més de les mesures relatives a la gestió dels RCDs, la Llei 10/2022 complementa i reforça l'estratègia estatal de sostenibilitat en el sector de la construcció, establint incentius fiscals i financers per impulsar la rehabilitació energètica d'edificis. Aquesta norma s'alinea amb l'enfocament circular de la Llei 7/2022, ja que fomenta actuacions que redueixin el consum energètic i millorin el comportament ambiental dels edificis, sovint integrant criteris de reutilització i optimització de materials. També promou la participació activa de les comunitats de propietaris, la digitalització i l'eficiència com a criteris clau per accedir a finançament i ajuts públics. En aquest sentit, la Llei 10/2022 no només actua com a palanca per a la transició energètica, sinó que també contribueix a consolidar un model constructiu més circular, resiliència i alineat amb els objectius ambientals europeus.

A escala catalana, el **Full de Ruta de l'Economia Circular a Catalunya (FRECC) 2030** defineix una estratègia integral per assolir un model circular, resiliència i descarbonitzat. El document prioritza l'ecodisseny, la servitització, la remanufactura i la reutilització com a eixos estructurals, alhora que impulsa la digitalització, la simbiosi industrial i la innovació com a motors de canvi. També aposta per una governança col·laborativa basada en la quàdruple hèlix (Administració, empresa privada, recerca i ciutadania), amb mecanismes de seguiment i execució que inclouen un Grup de Treball Interdepartamental, hubs sectorials i un conjunt de 15 línies d'actuació recollides al Pla d'Acció 2024-2026, amb iniciatives com la creació de centres i clústers de reutilització, l'impuls del passaport digital de producte, l'adopció del *Building Information Modeling (BIM)*³ per a la gestió circular i el reforçament de la mobilitat sostenible mitjançant transport elèctric i hidrogen verd.

Impacte sobre l'economia circular de les infraestructures

Les infraestructures, per la seva naturalesa estratègica i l'elevat volum de recursos que requereixen, han esdevingut un factor decisiu per impulsar l'economia circular. Així, en el marc de la transició cap a un model econòmic no lineal, és fonamental entendre com l'enfoc circular pot reduir l'ús de materials verges, minimitzar la generació de residus i prolongar la vida útil dels actius. En aquest context, a continuació es mostren els principals impactes

³ és un model digital 3D que integra dades tècniques per planificar, construir i gestionar edificis de forma eficient.

vinculats al consum de matèries primeres al sector de les infraestructures.

El consum de recursos i generació de residus en el desenvolupament d'infraestructures

El sector de les infraestructures es caracteritza per un consum intensiu de recursos naturals, tant en la fase d'extracció com en la de fabricació i ús. Segons l'OCDE (2018), des de 1970 l'extracció global de recursos per a materials de construcció s'ha triplicat, arribant actualment als 89.000 milions de tones anuals. Segons la mateixa font, si no es prenen mesures per a la reducció del consum, aquesta xifra podria duplicar-se fins als 167.000 milions de tones l'any 2060.

Entre els materials més utilitzats, destaquen el ciment i el formigó, que són la base estructural de la majoria d'obres civils; l'acer, indispensable per a ponts, túnels i armadures; els àrids (grava, sorra i pedra), emprats massivament en fonaments i mesclats; i l'asfalt, que domina els paviments viaris a escala europea. Cadascun d'aquests materials presenta una petjada ambiental significativa al llarg del seu cicle de vida i genera residus difícils de gestionar si no s'integren dins d'un enfocament d'economia circular. És important remarcar que l'impacte d'aquests materials no es limita a la fase d'extracció de les matèries primeres, sinó que engloba també els costos energètics i les emissions embegudes al llarg de tot el seu cicle de vida. En moltes ocasions, la quantitat d'energia requerida i els gasos amb efecte d'hivernacle generats en la fabricació, el processament químic i el transport dels productes finals superen de llarg els valors associats únicament

a l'extracció. Això fa que, a més de posar el focus en la disponibilitat de recursos naturals, sigui imprescindible incorporar estratègies de producció més neta, l'ús de subproductes o matèries primeres secundàries i la proximitat en la distribució, amb l'objectiu de reduir l'impacte ambiental total i avançar cap a una verdadera economia circular. A continuació, s'analitza de manera específica el consum material i energètic de cadascun d'aquests materials:

Ciment i formigó

La producció global de ciment se situa en uns 4.000 milions de tones anuals (Di Stefano, 2021). Segons dades de Ciment Català, a Catalunya, es van produir aproximadament 3 milions de tones el 2023. La producció d'una tona de ciment genera entre 0,8 i 0,9 tones de CO₂ equivalent, degut principalment a la calcinació de pedra calcària a temperatures d'uns 1.450 °C i a l'ús de combustibles fòssils (Arizona State University, 2023). Aquest procés representa entre el 5% i el 8% de les emissions globals antropogèniques i consumeix prop del 5% de l'energia industrial mundial (Arizona State University, 2023). A més, la fabricació de clínter implica un elevat consum d'aigua dolça (uns 500 litres per tona), i produeix contaminants atmosfèrics com partícules, NO_x i SO₂ (Di Stefano, 2021). Tot i això, s'estan fent avenços en la incorporació de subproductes com escòries i cendres volants, que representen ja el 5% de les matèries primeres en algunes regions d'Europa. Segons dades de l'Observatori de l'Economia Circular del Sector del Ciment, a l'any 2022 els materials reciclatats van suposar un 7,7% del consum total de matèries primeres del sector.

Així mateix, segons dades de l'informe de *La aportación del Sector Cementero a la Simbiosis Industrial* (Institut Cerdà, 2021) a Espanya, només l'any 2019 es van valoritzar materialment 418.173 tones de cendres volants i 102.884 tones d'altres escòries per cru provinents de centrals tèrmiques i processos d'incineració. En conjunt, aquesta valorització va permetre un estalvi en costos d'eliminació de més de 25 milions d'euros només aquell any.

Acer

L'acer és clau en la construcció d'infraestructures per la seva resistència estructural i durabilitat. No obstant això, la seva producció suposa importants emissions de gasos d'efecte hivernacle. De fet, es calcula que per cada tona d'acer es generen unes 1,85 tones de CO₂ equivalent (McKinsey, 2020), principalment a causa del procés de reducció del mineral de ferro amb coc de petroli. La indústria siderúrgica representa entre el 7% i el 8% de les emissions globals de gasos amb efecte d'hivernacle (McKinsey, 2020). Tot i aquest elevat impacte inicial, l'acer té un gran potencial dins l'economia circular, ja que és 100% reciclable. A més, les escòries generades durant el procés poden ser reutilitzades en usos com la producció de ciment siderúrgic.

Àrids (grava, sorra i pedra)

Els àrids són la matèria primera més consumida en el desenvolupament d'infraestructures, amb un consum en 2023 a Catalunya de 20,9 milions de tones (ANEFA, 2024). Són essencials en la composició del formigó, del morter i com a base de paviments. La seva extracció comporta greus impactes ambientals com l'alteració del terreny, la destrucció d'hàbitats, l'erosió del sòl i l'elevat consum energètic en transport i trituració. La mineria d'àrids exerceix una

forta pressió sobre els recursos naturals i les reserves de sorra i grava estan disminuint en algunes regions. Davant d'aquesta problemàtica, l'ús d'àrids reciclats es presenta com una alternativa clau per reduir l'impacte ambiental de la construcció.

Asfalt

L'asfalt, compost per àrids i betum derivat del petroli, és el material principal en els paviments europeus, cobrint el 94% de les carreteres. La seva producció anual arriba als 300 milions de tones. El procés de fabricació i aplicació és altament energètic i emissiu, amb impactes ambientals associats a l'ús de combustibles fòssils, emissions de compostos orgànics volàtils (COV) i partícules, així com riscos ambientals per la gestió del betum. No obstant això, el reciclatge d'asfalt és una pràctica cada vegada més estesa, amb més del 85% del material reutilitzat en noves mescles asfàltiques, reduint el consum de materials nous i l'impacte ambiental quan s'integra dins dels circuits circulars.

Altres materials (vidre, plàstic, etc.)

Encara que la major part de les infraestructures es basen en ciment, acer, àrids i asfalt, cada cop pren més rellevància l'ús d'altres materials com el vidre, els plàstics i altres compostos polimèrics. Aquests elements poden aparèixer en aplicacions diverses, des de panells arquitectònics i elements de senyalització fins a recobriments o sistemes de canalització. Tot i que, en conjunt, suposen un volum menor respecte als grans consumidors de recursos, convé analitzar-ne també el cicle de vida i el seu potencial d'integració en l'economia circular.

El vidre es fabrica mitjançant la fusió de matèries primeres inorgàniques a altes temperatures. La fase

de fusió és la més impactant ambientalment, amb un alt consum energètic (744,4 Wh/kg de vidre) i emissions de CO₂ equivalent (1,12 kg/kg). Tot i això, l'ús de vidre reciclat permet reduir l'impacte ambiental: cada 10% de vidre triturat afegit estalvia un 2,5% d'energia i redueix les emissions en 0,58 kg de CO₂ equivalent per kg reciclat. A més, substitueix matèries primeres, estalviant 1,2 kg per cada kg de vidre triturat utilitzat.

Així mateix, en l'àmbit de les infraestructures i la construcció, els plàstics tenen un ús creixent en elements com membranes aïllants, sistemes de canalització i recobriments, gràcies a la seva resistència mecànica i lleugeresa. La fase d'extracció i obtenció de matèries primeres per fabricar plàstics suposa una part considerable de l'impacte ambiental, atès que la majoria dels polímers comercials es produeixen a partir de recursos fòssils com el petroli o el gas natural. Aquestes substàncies requereixen diverses etapes de refinament i transformació, de manera que generen emissions i residus associats a l'explotació i el processament dels hidrocarburs. Una de les vies per reduir aquesta petjada és la incorporació de plàstic reciclat postconsum, que pot minimitzar tant el consum de recursos fòssils com la quantitat de residus destinats a l'abocador. En entorns on s'han aplicat polítiques de recollida i reciclatge eficient, s'ha demostrat que l'ús de plàstics recuperats pot disminuir de forma significativa l'impacte global associat a la producció (Blanco et al., 2020; Chen et al., 2016).

L'impacte en la fase d'ús

Un cop construïdes, les infraestructures entren en una fase d'explotació que pot prolongar-se durant dècades. En termes d'economia circular, aquest

període és crucial per amortitzar l'impacte ambiental inicial i optimitzar el rendiment amb el mínim consum addicional de recursos i energia.

Un primer aspecte clau és el consum energètic derivat del seu ús. En aquest sentit, cal diferenciar clarament entre edificacions (edificis públics i privats, estacions, aeroports) i les infraestructures d'obra civil pura (carreteres, ponts, xarxes diverses). Pel que fa als **edificis**, el consum energètic operatiu (il·luminació, climatització, ventilació, etc.) és significatiu. De fet, els edificis són responsables a la UE d'aproximadament el 40% del consum total d'energia i del 36% de les emissions de gasos d'efecte hivernacle, principalment a causa de les necessitats de climatització i electricitat (Comissió Europea, 2020). A Espanya, el parc edificat representa prop del 30% del consum energètic final i genera al voltant del 25% de les emissions nacionals de CO₂ equivalent (Green Building Council España, 2024). A més, el 75% del parc immobiliari europeu es considera energèticament ineficient i, en el cas d'Espanya, fins a un 75% dels habitatges tenen una qualificació energètica inferior a D. Això implica que, després de la construcció, el seu ús continuat durant dècades provoca un consum constant d'energia (sovint d'origen fòssil) que supera amb escreix l'energia gastada durant la fase constructiva.

Per altra banda, en les **infraestructures de transport** (com carreteres, autopistes, túnels i ferrocarrils), si bé aquestes no consumeixen directament combustibles, requereixen recursos energètics indirectes per assegurar-ne el funcionament segur. La il·luminació de carreteres, autopistes i vies urbanes suposa una part important del consum energètic de les ciutats, i els túnels requereixen ventilació forçada, sistemes d'il·luminació constants i equips de bombeig, amb

el consum d'electricitat associat. En el cas de les línies ferroviàries electrificades, la infraestructura proporciona energia als trens, incorporant així indirectament part del consum del sector transport. Així mateix, les xarxes de subministrament (aigua potable, clavegueram, reg) integrades a les infraestructures impliquen un consum energètic continu per bombeig i tractament. Tot i pertànyer a sectors diferents, aquests consums formen part del cicle de vida útil de les infraestructures i han de minimitzar-se per assolir un model circular sostenible.

Un altre aspecte destacable és el desgast i les necessitats de manteniment durant l'ús. Totes les infraestructures es deterioren amb el temps per factors com el trànsit, les condicions meteorològiques i altres influències ambientals, fet que requereix intervencions periòdiques de manteniment, reparació i rehabilitació. Des d'una perspectiva circular, aquestes intervencions són positives perquè allarguen la vida útil i retarden la necessitat de noves construccions. No obstant això, el manteniment implica un consum addicional de materials i genera residus. Per exemple, el reasfaltat d'una autopista implica retirar el paviment vell, aportar nous àrids i betum, i consumir combustible en la maquinària necessària.

Des d'una perspectiva d'economia circular, és important reutilitzar al màxim els materials retirats i augmentant la resiliència de la infraestructura per reduir la freqüència de les intervencions. En aquest sentit, el reciclatge dels paviments asfàltics és exemplar, ja que quan cal renovar una carretera, el ferm antic es freseja i el material recuperat es reincorpora a la nova mescla asfàltica, el que permet la reducció de la necessitat de material nou

i evita la generació de residus. A Espanya, segons la *Asociación Española de Fabricantes de Mezclas Asfálticas*, ja és habitual incloure entre un 20% i un 30% de material recuperat en les noves mescles, amb potencial per augmentar encara més aquest percentatge. De manera similar, en el manteniment ferroviari, el balast retirat pot ser netejat i reutilitzat, i en ponts metàl·lics és viable reacondicionar o substituir elements reutilitzant-ne peces. Aquests bons exemples contrasten amb la mitjana europea de circularitat global, que només arriba a l'11,8%, fet que ressalta la necessitat de potenciar estratègies com aquestes (EEA, 2025).

Finalment, prolongar la vida útil i fomentar l'adaptabilitat i reutilització d'infraestructures són pilars fonamentals de la circularitat. Avui dia, gràcies a materials més durables (com formigons d'alta resistència i asfalt modificat) i manteniments preventius, és possible allargar la vida útil d'una infraestructura, i així evitar la construcció prematura de noves obres. A més, pràctiques com la inspecció predictiva i les reparacions preventives són clau, ja que maximitzen el valor dels materials ja invertits. També cal potenciar la reutilització d'infraestructures existents per a nous usos, com convertir trams ferroviaris en desús en vies verdes o transformar ponts antics en passarel·les per a vianants.

La gestió circular de la fi de vida de les infraestructures

Un cop acabada la seva vida útil, el desmantellament de les infraestructures genera grans quantitats de materials rebutjats (residus), el qual esdevé una pèrdua de recursos valuosos si no s'aplica una gestió circular eficient. Els residus de construcció i demolició (RCD) constitueixen aproximadament el

30-33% del total dels residus generats a Europa, amb uns 450-500 milions de tones anuals, essent la fracció més important en volum dins la Unió Europea.

A Espanya, la situació reflecteix aquesta tendència, amb una generació de 37,1 milions de tones el 2021, després d'un descens puntual el 2020 (32,5 milions de tones) degut a la pandèmia. Aquest volum representa aproximadament el 32% dels residus totals del país.

Catalunya va generar 6,95 Mt de residus de la construcció i demolició l'any 2023. Cal destacar que es tracta de la xifra més elevada de generació de residus des de la crisi provocada per l'esclat de la bombolla immobiliària a l'any 2008. Això no obstant, s'observa una tendència positiva pel que fa a la valorització d'aquests residus, atès que la taxa de reciclatge, a l'any 2023, va ser del 71,8% (superant els objectius europeus marcats). Aquest creixement s'explica tant per la implementació de tecnologies més eficients de separació i tractament de runes com per la creació d'un mercat consolidat d'àrids reciclats, que permet aprofitar els materials en noves obres, infraestructures o projectes de condicionament urbà. Tot i aquests avenços, és imprescindible seguir millorant la separació en origen dels residus, fomentar la demolició selectiva i potenciar l'ús de materials reciclats en obres públiques per minimitzar l'ús d'abocadors i transformar els residus en recursos valuosos, tot contribuint a un model de construcció molt més circular i sostenible.

Per altra banda la gestió dels residus amb amiant, per la seva perillositat, queda fora del circuit circular, ja que el 100% s'elimina mitjançant dipòsit controlat.

La principal fracció dels RCD són els materials minerals (àrids, formigó, etc.), que representen la major part del volum i que tècnicament són reciclables gairebé al 100%. Malgrat això, la falta de separació en origen, la baixa demanda d'àrids reciclats i pràctiques irregulars provoquen que molts d'aquests recursos es perdin definitivament en abocadors. Materials amb alt valor econòmic i ambiental, com metalls o plàstics, també pateixen pèrdues si no són gestionats correctament.

Finalment, promoure la demolició selectiva i l'adaptabilitat de les infraestructures existents permet recuperar components valuosos (bigues metàl·liques, elements prefabricats, cablejat) que poden reutilitzar-se o reciclar-se, minimitzant la necessitat de nous recursos i reduint la càrrega ambiental associada a noves extraccions i produccions. La demolició selectiva es basa en una planificació prèvia que identifica i separa els diferents materials i elements constructius segons la seva composició, estat i potencial de valorització. Aquest procés facilita la reutilització directa d'elements estructurals i de tancament, i incrementa l'eficiència del reciclatge en fluxos com el formigó, la fusta o el metall. A més, redueix la presència d'impropis i contaminants en els residus generats.

Cal tenir en compte que les instal·lacions de gestió de residus són infraestructures que han d'estar dissenyades i gestionades per a minimitzar el seu impacte, de manera que la seva existència, necessària per a la gestió correcta dels fluxos residuals, impliqui menys impacte que el fet de no fer-les servir”.

Els reptes circulars en el desenvolupament i gestió d'infraestructures

Les dades mostren clarament que la construcció i l'enderroc segueixen generant importants volums de residus a la UE, per la qual cosa la transició cap a un model circular esdevé imprescindible. Per això, aquest apartat es centra en les principals iniciatives que sorgeixen per avançar cap a infraestructures més sostenibles, resilients i eficients.

La circularitat en el disseny

L'ecodisseny en les infraestructures és aquell disseny que considera accions orientades a la millora ambiental de la infraestructura en totes les etapes del seu cicle de vida, des de la seva creació en l'etapa conceptual, fins al seu tractament com a residu. En aquest sentit, la fase del disseny és crítica. En aquesta fase es defineix el cicle de vida que tindrà un producte, la seva duració, el consum de materials i energia, la capacitat per un procés de recuperació, entre d'altres aspectes. Per tant, aquesta etapa és decisiva ja que les decisions que es prenguin aquí tindran efecte sobre la resta d'etapes posteriors.

La digitalització i la integració del concepte de circularitat des de les fases inicials de disseny són essencials per assolir una gestió eficient i sostenible dels recursos al llarg de tot el cicle de vida de les infraestructures. Per traduir aquesta visió en accions concretes, cal aplicar criteris de disseny circular des de l'inici del projecte. Un disseny circular anteposa la sostenibilitat des de la fase de concepció i inclou l'ús de materials durables, reciclables o reutilitzables. Per garantir la futura recuperació dels elements,

s'hi afegeixen tecnologies digitals avançades, com el BIM, que permeten descriure en detall cada component i crear "passaports digitals". Aquests passaports documenten la composició i la localització exacta de cada part, cosa que facilita enormement la traçabilitat, la planificació de manteniments predictius i la reutilització. A més, BIM permet fer una comprovació automatitzada del compliment dels requisits de sostenibilitat durant la fase de disseny, incloent-hi la qualitat dels materials, el seu impacte ambiental i les instruccions de desmuntatge.

Així mateix, cal destacar que els bessons digitals i els sensors *IoT* permeten monitoritzar en temps real les condicions de cada infraestructura, fent un seguiment del desgast, les vibracions o l'estrès dels materials. Mitjançant algorismes predictius, els equips de manteniment poden intervenir abans que sorgeixin problemes greus, allargant la vida dels actius i promovent l'estalvi de recursos. Un exemple destacat és la integració d'aquestes tecnologies en ponts o autopistes, on els sensors ajuden a garantir la seguretat i sostenibilitat a llarg termini.

A més, la combinació de *BIM* amb dades SIG (Sistemes d'Informació Geogràfica) i *IoT* permet crear una visió integral del comportament de les infraestructures. Aquesta sinergia possibilita simular escenaris d'ús, planificar remodelacions i dissenyar des del principi amb criteris de circularitat. Per exemple, es pot identificar quins trams d'una carretera es podrien beneficiar de paviments modulars reciclables, garantint des del disseny una gestió òptima del cicle de vida.

Per altra banda, un dels pilars fonamentals del disseny circular és la seva adaptabilitat. Les

infraestructures modulars i flexibles poden respondre a canvis futurs en l'ús, la tecnologia o les necessitats socials, evitant demolicions prematures. Per exemple, edificis públics i privats o estacions de transport poden ser dissenyats per permetre la seva reconfiguració funcional.

Adicionalment, la implementació de fonts d'energia renovables i sistemes intel·ligents en el disseny també té un paper destacat, ja que la incorporació primerenca de panells solars, geotèrmia o energia eòlica redueix l'impacte ambiental de l'explotació.

Diversos projectes europeus ja posen en pràctica aquests principis. El projecte CIRCUIT (Horizon Europe), enfocat a infraestructures de transport sostenibles, ha desenvolupat una plataforma digital interoperable que integra *BIM* i altres eines tradicionals per incorporar innovacions circulars des de la fase de disseny, avaluant-ne els impactes positius durant tot el cicle de vida.

L'ús de materials reciclats i de menor impacte

Els materials constitueixen el cor de qualsevol infraestructura, i la seva selecció condiciona tant l'impacte ambiental immediat (energia i emissions en la producció) com les possibilitats de reutilització futura. A més, molts d'aquests materials provenen s'han d'importar, fet que genera una forta dependència per al seu desenvolupament. Un cas paradigmàtic és el de l'acer: el 32,5% del consum intern a Espanya l'any 2023 es va cobrir amb importacions provinents de països tercers fora de la Unió Europea (UNESID, 2024). Reduir aquesta dependència mitjançant l'ús de materials reciclats i de proximitat és un objectiu estratègic clau, no

només en termes ambientals, sinó també per garantir la resiliència del sector davant tensions del mercat global.

Cal tenir en compte que promoure la circularitat implica també substituir materials verges per materials reciclats, reutilitzats o de baix impacte ambiental sempre que sigui possible, assegurant alhora la qualitat i resistència requerides. Una de les línies d'actuació més destacades en aquest sentit és la valorització dels residus de construcció i demolició (RCD), mitjançant la seva transformació en àrids reciclats per a ús estructural. Aquesta pràctica permet reduir la demanda d'àrids naturals, limitar l'extracció de recursos verges i evitar l'acumulació massiva de residus. A més, el seu ús està regulat pel Codi Estructural, que estableix característiques clau com una absorció d'aigua màxima del 7% i un desgast Los Angeles⁴ inferior al 40%, així com les condicions de composició i reactivitat, mentre que el Codi Tècnic de l'Edificació (CTE) avala la seva aplicació en elements no pretensats sempre que es garanteixin els requisits tècnics de resistència i durabilitat.

A nivell català, l'Ordre ACC/9/2023 estableix l'obligatorietat d'incloure un mínim del 5% d'àrids reciclats en pes en tota obra pública o privada a Catalunya, i classifica els diferents tipus d'àrids segons la seva composició per tal d'adequar-ne l'ús a cada aplicació constructiva. En aquesta línia, models com el *Cradle to Cradle* també posen l'accent en el tractament òptim dels materials, ja siguin tècnics o biològics, per tal que puguin reintegrar-se en nous cicles sense malmetre el medi.. A Catalunya, iniciatives com la xarxa de plantes autoritzades

⁴ Paràmetre normalitzat que mesura la resistència dels àrids al desgast per fricció i impacte.

per a la valorització dels RCD i campanyes de sensibilització del sector busquen incrementar aquestes taxes i normalitzar-ne l'ús en projectes constructius.

Entre els materials sostenibles de baix impacte ambiental destaquen els formigons ecològics, que fan ús de substitutius com les cendres volants o escòries granulades, aconseguint reduir fins a un 30% les emissions de CO₂ equivalent en comparació amb el formigó tradicional. Tanmateix, presenten limitacions importants pel que fa a la seva composició. Segons el CTE la quantitat d'àrid gruixut reciclat que es pot utilitzar en elements estructurals està limitada al 20% en pes del total d'àrid gruixut, a causa de les possibles afectacions a la resistència, la durabilitat i el control de qualitat del formigó. Superar aquest límit no és automàticament admissible: per fer-ho, cal aportar estudis específics, experimentació complementària i comptar amb l'aprovació expressa de la direcció facultativa del projecte. Tot plegat suposa un repte tècnic i normatiu rellevant per al sector de la construcció sostenible.

La fusta certificada també és clau, ja que garanteix una procedència sostenible, ajuda a preservar la biodiversitat i frena la desforestació. Així mateix, els aïllants reciclats, elaborats a partir de fibres tèxtils recuperades, cel·lulosa reciclada o ampolles PET, proporcionen una solució eficaç per millorar l'eficiència energètica dels edificis i redueixen el volum de residus enviats als abocadors o incineradores.

En el camp específic de les infraestructures, hi ha múltiples exemples concrets de materials reciclats i circulars:

- Formigons reciclats fabricats amb runa triturada, utilitzats en carreteres, ponts i ports. Un exemple destacat és el Port de Barcelona (Catalunya) on la construcció del dic nou (Sud) s'ha dut a terme emprant material reciclat, concretament, materials sobrants de la construcció de la nova L9 del metro. Un altre exemple, es troba al Port de Bilbao (País Basc), on s'ha completat l'ampliació del Moll AZ-0 amb 4.000 blocs de formigó d'acer d'alta densitat (provinents de la reutilització d'escòries siderúrgiques), amb un estalvi de 3.000 m³ de formigó, una reducció del 17% en la petjada de carboni i la substitució de 20.000 tones de matèria primera natural.
- Plàstics reciclats incorporats a asfalt i paviments, reduint temperatures de fabricació i consum energètic sense comprometre prestacions. També destaca el reciclatge de pneumàtics en superfícies segures per a parcs infantils.
- Metalls reciclats, especialment l'acer, reutilitzat en noves estructures (bigues, armadures), així com fusta estructural recuperada i elements modulars com contenidors marítims reutilitzats en edificacions sostenibles.

Tot i les iniciatives portades a terme al sector de les infraestructures, encara persisteixen reptes, com assegurar un abastiment regular de materials reciclats en quantitats suficients i qualitat consistent, així com superar les reticències respecte les seves prestacions tècniques. Segons dades de l'Observatori de l'Economia Circular a la Indústria del Ciment, entre 2004 i 2022 s'han consumit 53 milions de tones de matèries primeres reciclades a Espanya, i només

l'any 2022 es van incorporar 2,1 milions de tones, equivalents al 7,7 % del consum total de matèries primeres del sector. La innovació continua en nous materials sostenibles (ciments amb menys clíner, asfalt fred amb escòries o bioplàstics compostables) i el desenvolupament de mercats digitals específics són fonamentals per consolidar l'ús de materials circulars com a alternativa habitual en la indústria de les infraestructures.

La reducció del consum energètic

La reducció del consum energètic és una prioritat estratègica al sector de les infraestructures. Aquest enfocament es concreta en tres fases principals: construcció, ús i operació, i manteniment. Cadascuna d'elles ofereix oportunitats específiques per optimitzar l'eficiència energètica, reduir les emissions i avançar cap a un model més sostenible i circular. A continuació, s'analitzen les estratègies i tecnologies aplicables a cadascuna d'aquestes fases.

Fase de construcció

En aquesta etapa, la introducció de maquinària eficient o accionada per energies renovables (excavadores, grues, camions) esdevé fonamental per reduir consums energètics innecessaris i minimitzar l'impacte ambiental associat a la fase d'execució de l'obra. A més, l'optimització dels processos constructius esclau per evitar consums innecessaris.

Un dels punts clau és la prefabricació i la construcció industrialitzada que permeten controlar millor el consum, reduint desplaçaments de personal i maquinària així com el temps d'execució a peu d'obra.

Pel que fa a la innovació tecnològica, cal destacar l'ús

de nous processos de fabricació com l'asfalt temperat o en fred, que, mitjançant l'ús d'additius com polímers o plàstics reciclats, permetent reduir les temperatures de fabricació i aplicació, aconseguint estalvis d'energia del 20 al 40% respecte a l'asfalt convencional en calent.

A més, cada cop és més habitual l'ús de fonts d'energia renovables a l'obra, com ara generadors solars o híbrids, que cobreixen part de les necessitats energètiques, especialment en obres d'edificació o infraestructures ubicades en zones aïllades.

Fase d'ús i operació

Aquesta fase representa el potencial més gran d'estalvi energètic, tenint en compte el cicle de vida complet de les infraestructures, atès que aquestes poden romandre en servei durant dècades. L'aplicació de l'estàndard d'edificis d'alta eficiència energètica, conjuntament amb principis de disseny com el passivhaus⁵, inclou sistemes passius, aïllaments tèrmics avançats i solucions de climatització eficient.

Un element clau en aquest procés és la certificació energètica d'edificis, establerta a Espanya mitjançant el Reial decret 47/2007, que va transposar la Directiva 2002/91/CE del Parlament Europeu i del Consell, que classifica les construccions segons la seva eficiència en l'ús d'energia, de la lletra A (més eficient) a la G (menys eficient).

En aquest context, l'aïllament tèrmic juga un paper fonamental. L'ús de materials d'alta qualitat amb baixa conductivitat tèrmica com la llana mineral, el

⁵ Estàndard de construcció ultraeficient que permet mantenir confort tèrmic amb un consum d'energia gairebé nul. Es basa en un gran aïllament, hermeticitat, ventilació mecànica amb recuperació de calor i eliminació de ponts tèrmics.

poliestirè extruït o les fibres naturals, permet reduir les pèrdues de calor a l'hivern i el guany tèrmic a l'estiu, millorant el confort interior i reduint la necessitat de climatització artificial.

A més, l'ús de fonts renovables (fotovoltaica, geotèrmia o híbrides) i d'il·luminació LED intel·ligent i adaptativa permet reduccions de consum superiors al 50% en moltes ciutats europees, disminuint també la contaminació lumínica.

En infraestructures de transport, destaquen tecnologies com l'electrificació ferroviària avançada amb recuperació d'energia procedent del frenat regeneratiu, la ventilació optimitzada i la il·luminació intel·ligent adaptativa en túnels, i l'ús de sistemes ITS (transport intel·ligent) per millorar la fluïdesa del trànsit. Paral·lelament, la incorporació d'energies renovables en infraestructures aïllades disminueix la dependència de la xarxa convencional.

En l'àmbit de l'aigua, la digitalització i l'ús de bessons digitals han permès optimitzar els sistemes de bombeig i tractament, aconseguint estalvis notables d'energia. Aquesta transformació digital també facilita la detecció precoç d'avaries mitjançant sistemes predictius, la millora en el control de qualitat de l'aigua amb sensors en temps real, i la rehabilitació de xarxes amb tecnologies sense rasa. A més, la implementació de plataformes basades en intel·ligència artificial permet optimitzar el funcionament energètic de les instal·lacions, com ara les estacions depuradores, millorant l'eficiència operativa i reduint el consum elèctric.

Fase de manteniment

El manteniment predictiu i intel·ligent contribueix

significativament a l'eficiència energètica. Sensors IoT monitoritzen les condicions estructurals i energètiques, permetent reparacions oportunes i evitant consums innecessaris (per exemple, detecció de fuites d'aigua o ajustos en climatització). En il·luminació pública, sensors de presència ajusten la intensitat lumínica en temps real, mantenint la seguretat però evitant malbarataments.

El reaprofitament de materials de la construcció al final de la seva vida útil

Un dels pilars de l'economia circular és assegurar que, quan una infraestructura arriba al final de la seva vida útil o necessita una renovació, els seus materials i components es reintegrin al cicle productiu en lloc de convertir-se en residus. En el sector de la construcció tradicional, sovint es practiquen demolicions expeditives que tracten els residus com un problema a eliminar en comptes de veure'ls com a recursos aprofitables. Aquesta mentalitat està canviant gràcies a l'aplicació de la Llei 7/2022, i a la promoció de la demolició selectiva, que consisteix a enderrocar gradualment i de manera coordinada per maximitzar la reutilització i el reciclatge dels materials, minimitzant la fracció que acaba a l'abocador.

En aquest sentit, per a un màxim aprofitament dels recursos de les infraestructures, caldria considerar cada edifici o infraestructura al final de la seva vida en un "jaciment urbà" d'on s'extreuen recursos valuosos (acer de les armadures, fusta de bigues, maons sencers, instal·lacions metàl·liques, etc.), que es poden reintegrar a la cadena productiva bé mitjançant la reutilització directa o bé a través del reciclatge.

Un exemple d'això seria el concepte **d'edifici com a banc de materials** o BAMB (sigles en anglès de Buildings As Material Banks), que lliga la idea de no pensar en els materials que componen un edifici com a residus quan han arribat al final de la seva vida útil, sinó com a recursos que poden ser recuperats i reutilitzats a futurs cicles constructius, mantenint-ne el valor en el temps. Així, els edificis passen a ser dipòsits temporals de materials que, després de complir la seva funció, es poden reincorporar al sistema productiu sense perdre qualitat ni propietats. Ara bé, per garantir que aquests materials compleixen especificacions tècniques i ambientals adequades, és essencial separar-los en origen. Com menys barreja hi hagi, més fàcil resulta recuperar fraccions pures de qualitat suficient per ser reutilitzades.

En aquest context, una de les eines clau és planificar el desmuntatge des de la fase de disseny, elaborant un pla de deconstrucció (un “llibre de l'edifici” viu) on s'estableixen procediments i estratègies per recuperar materials quan arribi el moment de la renovació o l'enderroc. **Aquest principi s'alinea amb la norma UNE-ISO 20887:2023, que defineix els criteris per al desmuntatge i l'adaptabilitat en edificacions i obres d'enginyeria civil.** Això inclou inventaris o passaports de materials que identifiquin què hi ha i on, i facilita la logística de recuperació. La seva importància ha crescut encara més amb l'aplicació plena, des de l'1 de gener de 2024, d'algunes obligacions específiques derivades de la Llei 7/2022, de residus i sòls contaminats per a una economia circular, que estableixen de manera obligatòria la separació en origen dels residus de construcció i demolició (RCD) en, com a mínim, sis fraccions: fusta, metalls, guix, formigó i runes (fracció mineral), vidre i plàstic. Això ha transformat completament la

gestió dels residus a peu d'obra, obligant a modificar protocols i processos per evitar la seva barreja i garantir la traçabilitat i valorització de cada fracció.

Pel que fa a l'aprofitament de recursos al final de la seva vida útil, cal destacar també les iniciatives de takeback. Algunes empreses fabricants de materials de construcció recuperen els seus productes al final de la vida útil per reintegrar-los a la cadena productiva.

Un exemple és el programa ReEntry® de la firma Interface, que recull rajoles de moqueta usades, les neteja i les ven com a paviment reutilitzat. Altres fabricants de paviments vinílics, sistemes de façana o finestres ja ofereixen opcions de devolució dels productes, ja sigui per reciclar materials (PVC, alumini, vidre, fibres, etc.) o reacondicionar-los i tornar-los a vendre. Altres fabricants han desenvolupat sistemes similars. **Tarkett**, per exemple, disposa del programa **ReStart®**, que permet la recollida i reciclatge de **paviments vinílics, linòleum i moqueta**, tant en obres noves com en reformes. El material recuperat es transforma en matèria primera per a nous productes.

En l'àmbit dels **tancaments i façanes**, marques com **VELUX** han posat en marxa iniciatives per facilitar la **recollida de finestres velles**, especialment per al reciclatge de **vidre i alumini**. De manera similar, fabricants com **Technal** treballen en la recuperació de **perfils d'alumini** per fondre'ls i reutilitzar-los amb menor petjada de carboni associada.

També destaquen iniciatives de fabricants com **Sto o Rockpanel**, que comencen a implementar sistemes pilot per a la **recuperació de panells de façana i**

altres components compostos, amb l'objectiu de reciclar-ne les **fibres o els elements minerals**.

Pel que fa a la reutilització in situ, les tecnologies de reciclatge mòbil permeten reaprofitar àrids i materials minerals directament allà on s'han generat els residus, així es redueix l'impacte ambiental del transport i es maximitza l'eficiència en l'ús de recursos. Paral·lelament, han sorgit plataformes digitals de compravenda i intercanvi de materials recuperats, com la Plataforma de Simbiosi Industrial de Catalunya, que posa en contacte oferta i demanda d'aquest tipus de materials, oferint beneficis ambientals i econòmics.

Finalment, cal destacar la rehabilitació i la reconversió d'infraestructures existents com a estratègia vinculada a l'economia circular. Més que enderrocar, pot ser preferible adaptar o modernitzar edificis obsolets, estalviant grans quantitats de materials. Segons els Manuals d'Ecogestió de la Generalitat de Catalunya, reformar un edifici existent té un impacte ambiental significativament menor que construir-ne un de nou. En lloc de generar tones de runa i consumir nous materials com formigó o acer, rehabilitar permet reaprofitar l'estructura existent, reduint emissions de CO₂ equivalent i minimitzant l'impacte ambiental. A més, acostuma a ser una solució més econòmica i eficient, amb una inversió sovint inferior a la de construir des de zero, i amb resultats que poden ser igualment transformadors.

Un cas emblemàtic és el de Bordeus, on els arquitectes Lacaton & Vassal van rehabilitar blocs d'habitatges socials el 2015, afegint balcons i hivernacles amb estructures metàl·liques lleugeres, transformant la qualitat de vida dels residents sense

generar gairebé runa. Aquest projecte, reconegut amb el Premi Pritzker 2021, simbolitza el valor de reutilitzar i millorar allò ja construït abans de començar de zero.

La servitització de les infraestructures

Una dimensió innovadora de l'economia circular és la transformació dels models de negoci cap a la servitització, és a dir, deixar de vendre productes per oferir-los com a serveis (Product as a Service). Aplicat a infraestructures, això significa contractar la funcionalitat en comptes d'adquirir directament els equipaments o instal·lacions. Aquest enfocament alinea els incentius econòmics amb la durabilitat, la reparabilitat i la recuperació de materials, ja que el proveïdor manté la propietat de l'actiu, interessat en allargar-ne la vida útil i recuperar-lo per reutilitzar-lo o reciclar-lo.

Un exemple emblemàtic és la il·luminació com a servei (*Lighting as a Service, LaaS*). En aquest model, el client no compra fanals o lluminàries, sinó que paga únicament per la il·luminació subministrada (per exemple, euros per lux o punt de llum). El proveïdor s'encarrega d'instal·lar, operar i mantenir els sistemes d'enllumenat, garantint nivells de servei òptims en il·luminació, disponibilitat i eficiència energètica pactats contractualment. Això aporta múltiples beneficis circulars, ja que els equips es dissenyen pensant en la seva durabilitat, reparabilitat i reciclabilitat per reduir els costos de manteniment i facilitar la recuperació de components.

Aquest model s'ha estès a altres àmbits d'infraestructures i equipaments:

Infraestructures com a servei

Plantes de tractament d'aigua o instal·lacions energètiques construïdes per empreses que ofereixen serveis a clients com ajuntaments, cobrant només per l'aigua tractada o energia subministrada. Això elimina inversions inicials per part del client i obliga el proveïdor a optimitzar el cicle de vida dels actius, dissenyant-los de manera modular per facilitar actualitzacions i renovacions contínues. Aquest model, basat en el rendiment, incentiva l'eficiència operativa i la innovació tecnològica, ja que el proveïdor només obté ingressos si el sistema funciona correctament i de forma sostinguda. A més, permet a les administracions públiques accedir a tecnologies punteres sense endeutar-se ni assumir riscos tècnics, i garanteix que les instal·lacions estiguin sempre actualitzades, monitorades i mantingudes sota criteris de màxima eficiència.

Maquinària i equipament com a servei

En construcció, el leasing avançat o lloguer de maquinària pesada es complementa amb serveis integrals i tecnologies IoT permetent als fabricants recuperar els equips al final de la vida útil per remanufacturar-los i reutilitzar-los. Diverses empreses ja practiquen aquests models, garantint que el client sempre disposi d'equips en condicions òptimes mentre es maximitza la reutilització de peces i materials.

Mobilitat com a Servei (MaaS)

Aquest concepte consisteix a integrar diferents mitjans de transport urbà (com el transport públic, bicicletes compartides, patinets elèctrics,

o cotxes de lloguer per minuts) en una única aplicació o plataforma digital. L'objectiu és facilitar que la ciutadania pugui planificar, reservar i pagar els seus desplaçaments combinant diversos modes de transport, sense necessitat de vehicle privat. D'aquesta manera, es redueix la dependència del cotxe particular i s'optimitza l'ús de les infraestructures existents. Barcelona ja està desenvolupant sistemes MaaS amb l'objectiu de minimitzar la petjada material de la mobilitat urbana i fomentar l'ús de vehicles compartits, reutilitzables i fàcilment reciclables.

En tots aquests models, la tecnologia IoT (Internet de les Coses) és essencial per monitorar en temps real l'estat dels vehicles i infraestructures, garantir els nivells de servei, mesurar l'ús real dels actius i detectar incidències de manera immediata. Això permet que els proveïdors adaptin l'oferta a la demanda real, millorant l'eficiència i la qualitat dels serveis de mobilitat.

Des del punt de vista de l'economia circular, la servitització redueix considerablement el consum de recursos materials i evita la generació de residus, en incentivar que els proveïdors assumeixin la responsabilitat completa dels actius durant tota la seva vida útil. Això també promou la innovació contínua i una economia menys intensiva en materials. No obstant això, implementar aquests models requereix canvis culturals, tècnics i contractuals importants. Administracions públiques i empreses han d'adaptar plecs i contractes, capacitar-se per gestionar serveis integrals a llarg termini i finançar inicialment els actius.

Annexos gràfics

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

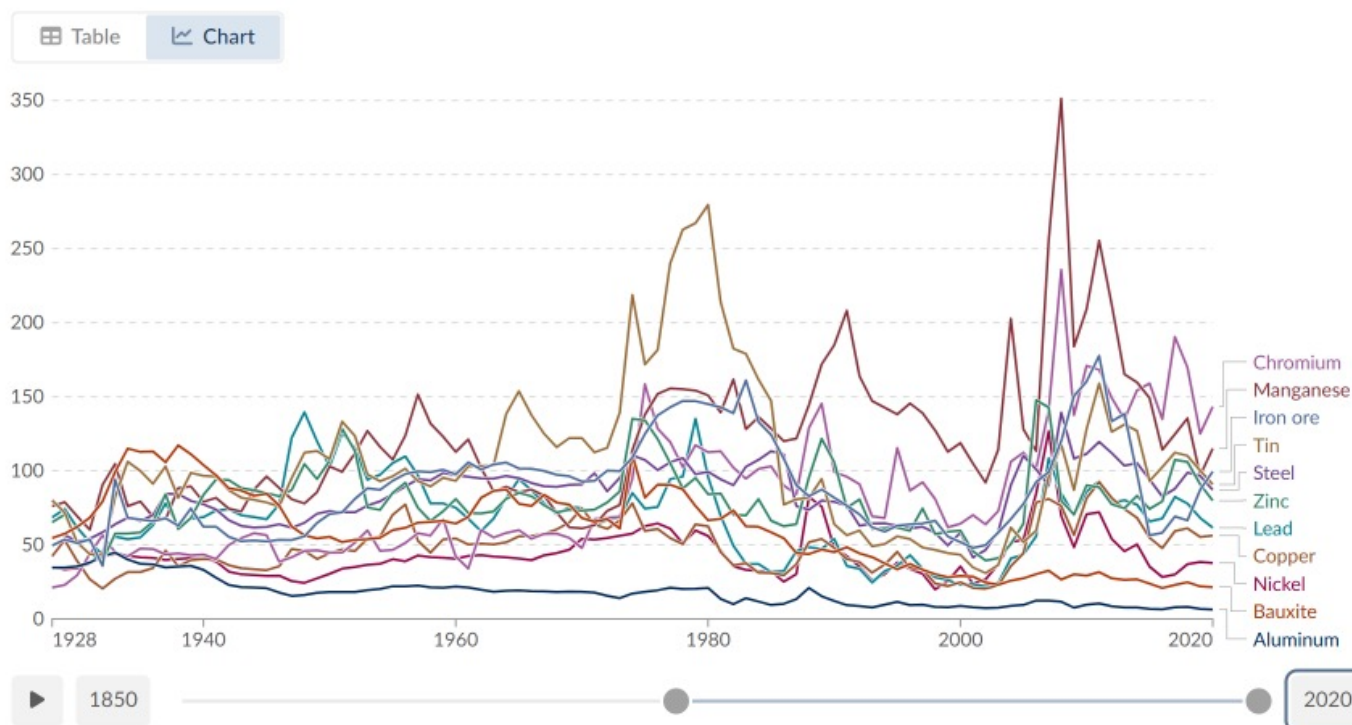


Figura 1. Índex de preus reals de les matèries primeres metàl·liques (1928–2020). Font: Our World in Data, 2020

Population, 1950 to 2023

Our World
in Data

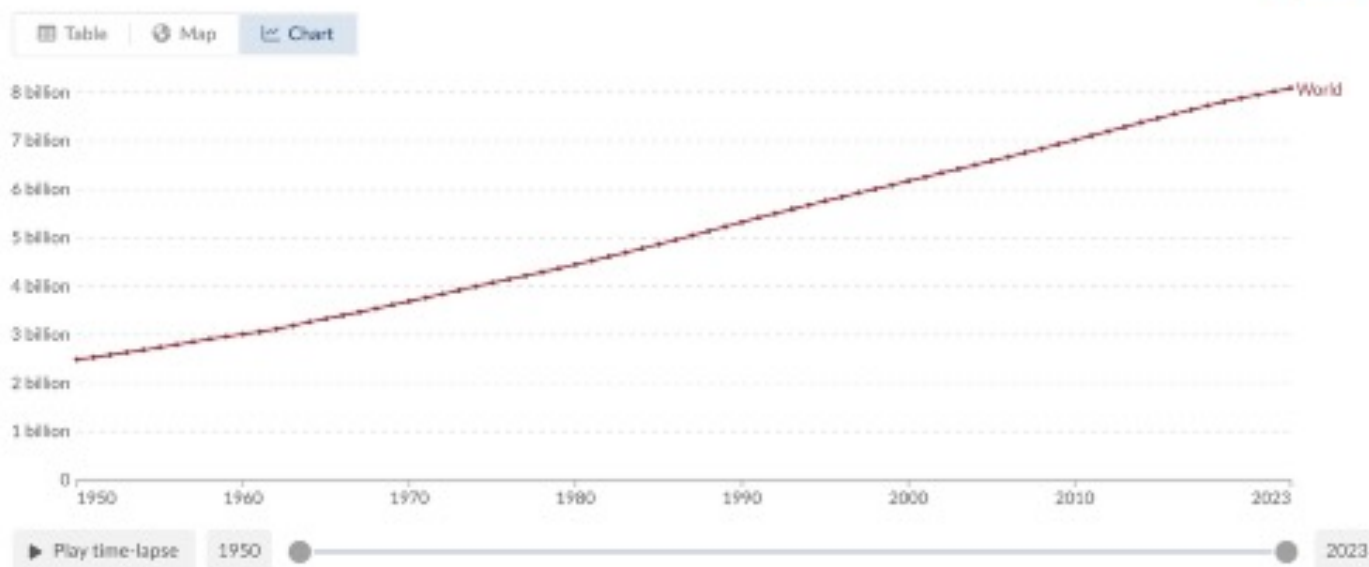


Figura 2. Evolució de la població mundial, 1950–2023 Font: Our World In Data, 2024.

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'OEPE 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	-0.7	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. Factors d'incidència sobre els preus durant el segle XX en funció del recurs. Font: McKinsey, 2011.

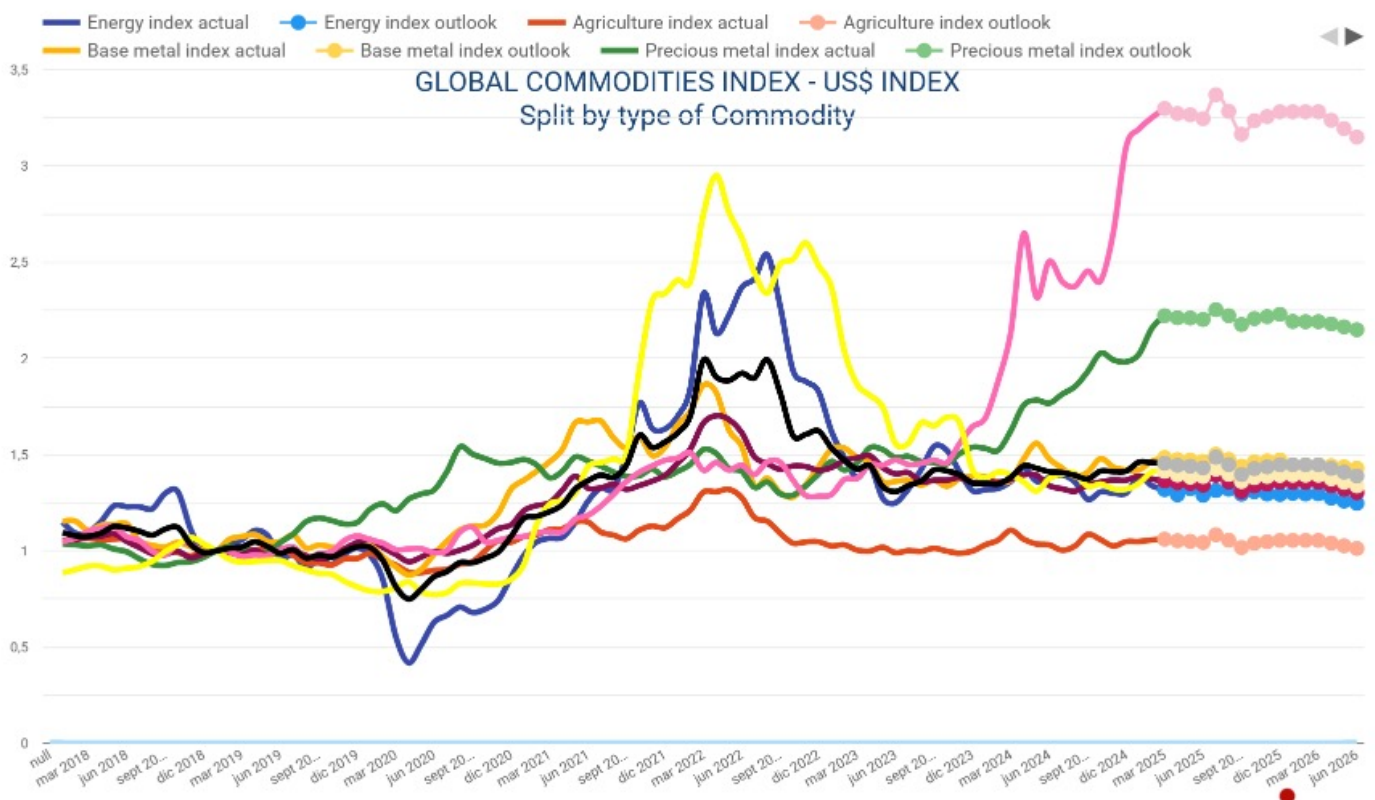


Figura 4. Evolució dels preus de matèries primeres dels últims anys Font: Business AnalytIQ, 2025.



Figura 5. Balanç de matèries. Font: Cadic (Xavier Elias), 2023.

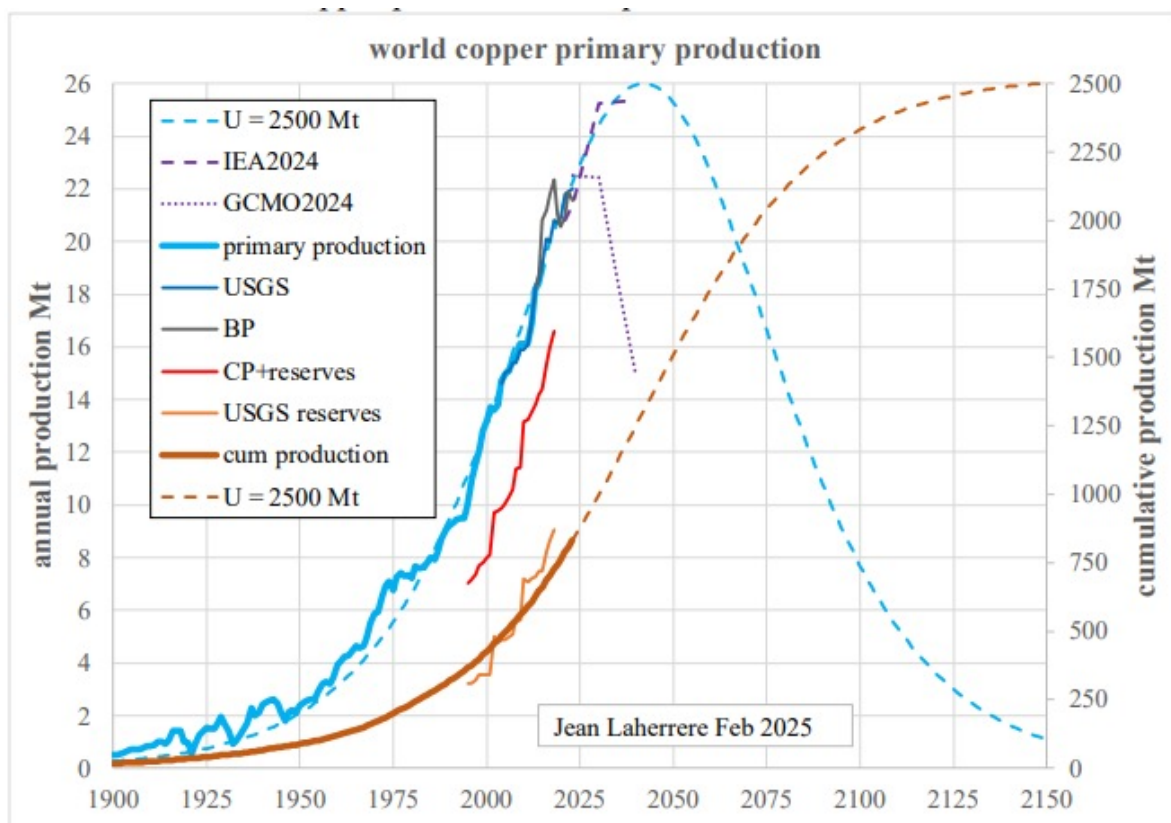


Figura 6. Producció primària mundial de coure. Font: Jean Laherrere, 2025.

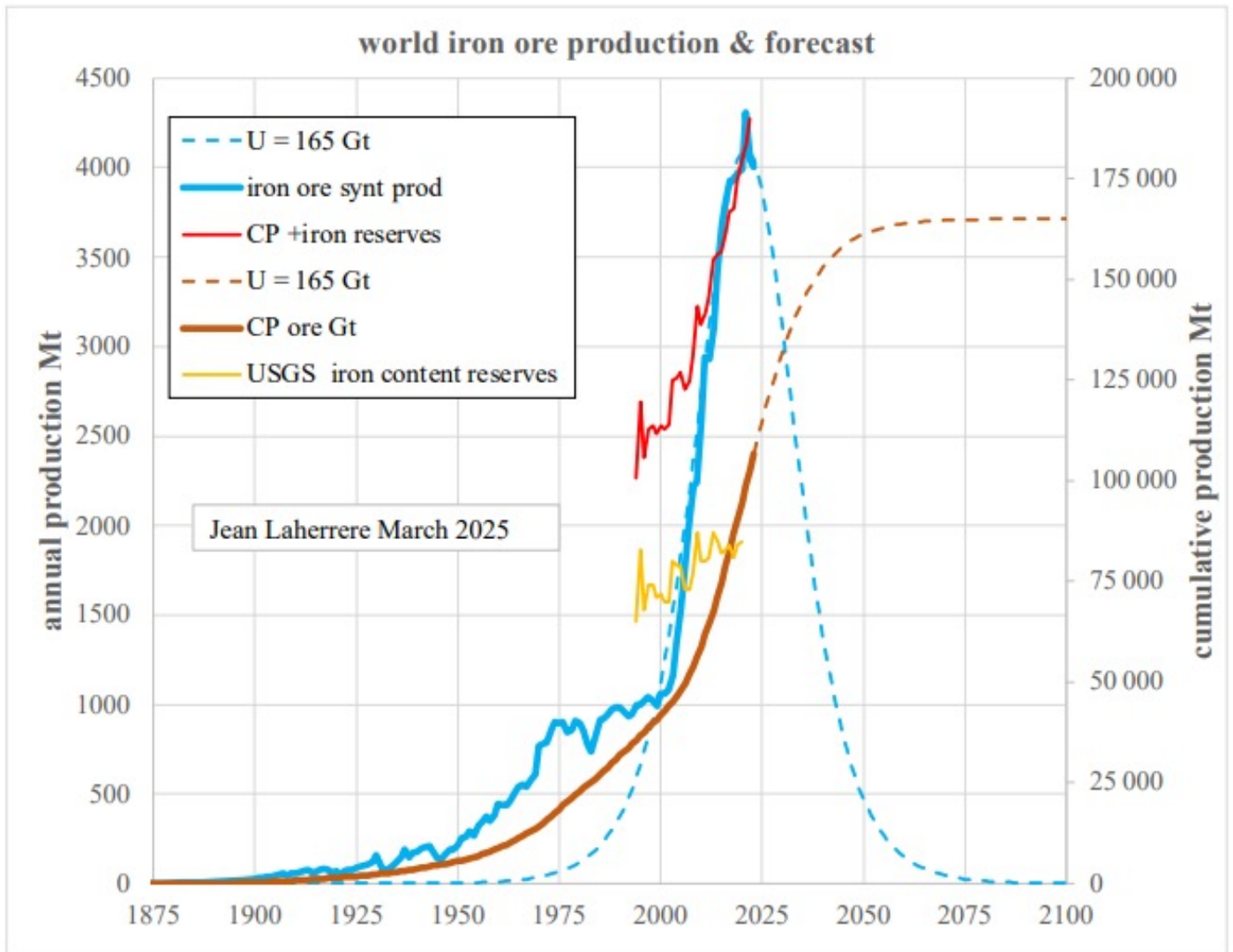


Figura 7. Producció i pronòstic mundial de mineral de ferro. Font: Jean Laherrere, 2025.

President d'honor: Francisco Gutiérrez Ferrándiz

President d'honor: Joaquim Llansó

President	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
Secretari	Salvador Guillermo Viñeta
Secretari Adjunt	Ignasi Puig Abós

Components del grup de treball:

Ponent David Martínez Ramírez (Fundació Privada Institut Cerdà)

Vocals 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

