



Impactes de la construcció industrialitzada des d'una triple perspectiva: econòmica, mediambiental i social

Cas d'estudi d'un edifici residencial

Càtedra d'habitatge digne i sostenible

Abril 2025

Amb la col·laboració de:



Continguts

Presentació	5
Resum executiu	6
1. Introducció	10
2. La construcció tradicional vista des d'una perspectiva econòmica, medioambiental i social	12
3. Nous sistemes constructius: Construcció industrialitzada	18
4. Impactes de la construcció industrialitzada des d'una triple perspectiva: econòmica, mediambiental i social	25
5. Resultats de les entrevistes amb experts	28
6. Resultats de l'anàlisi del cas d'estudi	31
7. Conclusions i recomanacions	39
8. Bibliografia	43
9. Annexos	44

Llistat de figures

Figura 1. Estructura de costos d'un projecte de construcció	13
Figura 2. Estimació de despeses de promoció	13
Figura 3. Quadre comparatiu de costos de construcció	14
Figura 4. Síntesi dels factors clau per al sector immobiliari	15
Figura 5. Diferències entre la construcció tradicional i industrialitzada	21
Figura 6. Dades oferta econòmica edifici residencial	31
Figura 7. Principals capítols pressupost execució material	32
Figura 8. Principals impactes en el capítol d'estructura	32
Figura 9. Principals impactes en el capítol d'arquitectura	33
Figura 10. Principals impactes en les despeses generals	33
Figura 11. Taula resum dels principals estalvis derivats de l'aplicació de la construcció industrialitzada.	34
Figura 12. Impacte econòmic dels diferents factors d'impacte	34
Figura 13. Comparació dels pressupostos PEM i PEC segons supòsit de construcció tradicional o industrialització	34
Figura 14. Cost del finançament per l'empresa promotora	34
Figura 15. Estalvi en el consum d'aigua durant el procés constructiu	35
Figura 16. Generació de residus d'obra amb sistema de construcció tradicional	35
Figura 17. Generació de residus d'obra amb sistema de construcció industrialitzat	36
Figura 18. Llista d'indicadors dels factors clau de sostenibilitat	41

Presentació

Aquest estudi és el cinquè treball de recerca aplicada de la Càtedra d'Habitatge Digne i Sostenible de la UPF Barcelona School of Management, un espai de reflexió que neix de la col·laboració amb la Fundació Metropolitan House, amb l'objectiu d'analitzar el sector immobiliari des d'una perspectiva social, mediambiental i econòmica. Específicament, la càtedra es planteja:

- Generar i desenvolupar el coneixement sobre les polítiques de l'hàbitatge des d'una visió econòmica, fiscal i financera, social i de gestió, orientada a la millor qualitat de vida dels ciutadans, a preservar el medi ambient, l'eficiència i la sostenibilitat del sector immobiliari.
- Desenvolupar activitats de transferència de coneixement i divulgació del coneixement generat, a partir de l'organització de jornades i conferències, publicació d'articles divulgatius, elaboració de casos d'estudi, entre altres.
- Desenvolupem activitats relacionades amb la formació i capacitat dels professionals del sector immobiliari, a partir de la creació de programes de formació, pràctiques en empreses immobiliàries, etc.
- Aquests estudis es comprometen a fi de realitzar recerques d'impacte per a transferir el coneixement a la societat. A més, aquest treball de recerca es marca en l'Agenda 2030, aprovat el setembre de 2015 per a les Nacions Unides, incident directe en els següents Objectius de Desenvolupament Sostenible (ODS):



Sobre la coautoria:

Ramon Bastida Vialcanet

Doctor en Administració i Direcció d'Empreses. És professor titular (Associate Professor) del departament de finances i control en la UPF Barcelona School of Management. És el director del International MBA i de la Càtedra d'Habitatge Digne i Sostenible de la UPF-BSM. També és professor associat de la Facultat d'Economia i Empresa de la Universitat Pompeu Fabra.

Ferran Piqué Anguera

Economista. Graduat en Ciències Empresarials - Management per la Universitat Pompeu Fabra, i posteriorment postgrau en Innovació i Design Thinking per la UPF Barcelona School of Management. En l'actualitat es dedica a la consultoria estratègica, col·labora amb mitjans de comunicació en l'àmbit econòmic i empresarial, i participa entre altres en la Comissió d'Economia Industrial i la Comissió d'Economia i Sostenibilitat del Col·legi d'Economistes de Catalunya.

Volem agrair la col·laboració a María Martín, professora de la UPF Barcelona School of Management, i a totes les persones que han participat en les entrevistes realitzades durant el treball de camp d'aquest estudi:

Álvaro Nogueira San Román (Grupo Avintia)
Andres Rituerto Gil (Culmia)
Anna Guanter Feixas (Culmia)
Francisco Diéguez Lorenzo (ITEC)
Jerónimo Junquera González-Bueno (Junquera Arquitectos)
Juan José Rodríguez (Metropolitan House)
Juan Manuel Borrás González (Culmia)
Miguel Ángel Angulo (Metropolitan House)
Miguel Morte Morales (CompactHabit)

Resum executiu

El sector de la construcció representa el 4,5 del PIB de Catalunya, i el 5,4% en el conjunt d'Espanya. És un sector molt important en el desenvolupament econòmic i en la creació de llocs del treball. Però a la vegada, aquest sector també és responsable d'un 35% de la generació de residus, i d'entre el 5 i el 12% de les emissions de CO₂ totals a nivell europeu. Tot i que, si tenim en compte tant les emissions de construcció com les d'ús dels edificis, aquestes representen gairebé un 40% de les emissions de CO₂ globals¹.

Els esforços d'innovació en el procés de construcció han portat al desenvolupament nous sistemes constructius. Un d'aquests nous sistemes constructius és la construcció industrialitzada. Aquest sistema consisteix en l'ús d'elements d'una obra prefabricats en una fàbrica, i que posteriorment, s'assemblen a l'obra. Existeixen diversos sistemes de construcció industrialitzada, com els mòduls estructurals en 2 i 3 dimensions, els components prefabricats estructurals i no estructurals, o els productes i processos substitutius tradicionals, entre d'altres.

Existeix un consens important entre els experts que la construcció industrialitzada presenta avantatges importants respecte a la construcció tradicional. Alguns d'aquests avantatges més destacats són:

- **La reducció del temps d'execució de l'obra:** La possibilitat de produir components simultàniament en fàbrica, i d'avançar en tasques de preparació a l'obra, permet reduir el termini d'entrega. La reducció del temps de l'obra implica una reducció en alguns costos relacionats amb l'execució de l'obra, la possibilitat de disposar abans dels habitatges, i la disminució de les molèsties als residents propers a l'obra, entre d'altres.
- **La millora de la qualitat i precisió dels components:** La producció en entorns controlats de fàbrica permet una alta precisió i consistència en la qualitat dels components, minimitzant errors i variabilitat en el producte final. La millora de la qualitat i la precisió dels components també té un impacte positiu en el consum i l'eficiència energètica dels habitatges, o en els costos de post-venta i manteniment de l'empresa constructora.
- **La millora de les condicions de treball i la seguretat laboral.** La major part del procés es fa en fàbriques, la



¹ 2022 Global Status Report for Buildings and Construction: Towards a Zero-emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector, Adapted from "Tracking Clean Energy Progress" (IEA 2022)

qual cosa redueix l'exposició dels treballadors a riscos laborals comuns en obres, com treballs en altura i ús d'equipament pesat. A més, l'ús de la tecnologia i equips automatitzats permet realitzar els processos d'una manera més eficient, reduint el consum de materials i la generació de residus, i augmentant el nivell de productivitat dels treballadors.

Hi ha altres aspectes de la construcció industrialitzada en els que no existeix tan consens entre els experts, i que possiblement representen una barrera perquè augmenti l'ús d'aquest sistema constructiu. Algunes d'aquestes barreres més destacades són:

- **La rigidesa i la flexibilitat en el disseny dels edificis.** La construcció industrialitzada necessita un disseny detallat des de l'inici, la qual cosa limita la capacitat de fer canvis durant el projecte i pot ser un inconvenient davant d'imprevistos. Tot i això, hi ha experts que consideren que tot i que la construcció industrialitzada requereix l'estandardització dels components prefabricats, això no empitjora el disseny dels edificis industrialitzats respecte als edificis construïts mètodes tradicionals.
- **La gestió de la cadena de subministrament.** La construcció industrialitzada requereix proveïdors més especialitzats capaços de proveir les solucions a mida. Això genera una dependència que amb la construcció tradicional és menor fruit ja que els materials poden ser més *commodity*. A més, actualment els proveïdors de solucions per a la industrialització són pocs i per tant, hi ha poca competència.
- **El finançament dels edificis industrialitzats.** La concessió de finançament als promotors immobiliaris està basat en les certificacions d'obra, que s'obtenen un cop s'executen les diverses fases de l'obra. Actualment, aquest sistema de finançament no contempla que hi ha processos de l'obra que es realitzen en una fàbrica, i no permet el seu finançament fins que aquest elements prefabricats no es munten a l'obra.

Aquest estudi té com a objectiu l'anàlisi dels impactes, des de la perspectiva econòmica, mediambiental i social, de l'aplicació de solucions de construcció industrialitzada a un projecte d'edificació residencial. Es tracta d'un edifici de 70 habitatges i aproximadament 12.000 m² de superfície construïda, situat a l'àrea metropolitana de Barcelona. L'anàlisi de la perspectiva econòmica s'ha focalitzat en identificar i quantificar els principals impactes en l'estructura de costos de construcció de l'edifici. En aquest sentit, s'han analitzat les diferents partides de costos directes i indirectes incloses en el pressupost d'execució material (PEM), les partides de despeses generals

previstes en el pressupost d'execució de contracte (PEC), i altres costos a càrrec de l'empresa promotora, com per exemple, el finançament del projecte.

Els principals resultats de l'anàlisi de l'estructura de costos de l'edifici són:

- L'aplicació de solucions de construcció industrialitzada genera un estalvi de costos del 2,68% respecte al PEC de l'edifici previst en base a l'aplicació de sistemes de construcció tradicional. En valor absolut es genera un estalvi de 313.877 Eur sobre un pressupost total de 11.702.018 Eur.
- Les despeses generals representen gairebé el 70% dels costos estalviats utilitzant aquests nous sistemes constructius. La reducció de la durada de l'obra suposa una reducció de despeses relacionades amb el personal de direcció, personal d'obra, i estructures d'obra, que inclouen els lloguers de la grua i les casetes d'obra, o diversos tipus de maquinària, entre d'altres.
- Els estalvis en els costos directes i indirectes d'execució d'obra es limiten als capítols relacionats l'estructura i l'arquitectura del PEC, i es produeixen degut a la reducció del termini d'execució de l'obra i dels residus generats.
- La reducció del termini d'entrega de l'obra pot suposar una disminució de fins a un 30% del cost del finançament derivat de préstec promotor. Aquest potencial estalvi financer dependrà de variables com l'import del préstec o del tipus d'interès, entre d'altres.

L'anàlisi de la perspectiva de la sostenibilitat s'ha centrat en identificar els factors mediambientals i socials que es veurien afectats per l'ús de solucions de construcció industrialitzada. En el cas d'aquesta perspectiva, ha estat complicat quantificar els impactes generats degut a la falta d'informació i dades de la majoria factors rellevants, com per exemple, les emissions de CO₂, el consum i reciclatge de materials, les condicions laborals, etc.

Els principals resultats de l'anàlisi dels factors de sostenibilitat són:

- La construcció industrialitzada permetria reduir la generació de residus total en 15.422,94 m³ (-50%), i el cost de la seva gestió en 23.851,74 Eur (-65%). La reducció de la generació de residus d'obra també permetria reduir el transport de la runa des de l'obra fins als abocadors.
- La industrialització permetria reduir 347,28 m³ de consum de recursos hídrics. Aquesta xifra representa un 30% d'estalvi en el consum d'aigua respecte a la

construcció tradicional. De manera que el consum d'aigua per m² passaria de 0,095 m³ a 0,066 m³ per cada metre quadrat construït.

- L'ús de sistemes de construcció industrialitzada permetria contribuir d'una forma important a la reducció de les emissions d'efecte hivernacle, segons els experts consultats. En primer lloc, per la possibilitat d'utilitzar materials innovadors amb menys emissions incorporades. I en segon lloc, degut a la millora de l'eficiència energètica dels edificis derivada de l'ús de solucions innovadores d'aïllament tèrmic i ventilació eficient. Tot i això, no hem pogut quantificar la reducció d'emissions d'efecte hivernacle degut a la manca d'informació i dades pel projecte constructiu analitzat.

Per tal d'ajudar a completar la recollida d'informació i dades per quantificar els aspectes de sostenibilitat, sobretot en l'àmbit social, es proposa una llista d'indicadors que s'inclouen en la taula següent:

Àmbits	Indicadors
Generació i reciclatge de residus	- % de residus recuperats sobre el total de residus generats
Emissions de gasos d'efecte hivernacle	- Tones mètriques equivalents de CO ₂ generades durant el procés de construcció. - Tones de CO ₂ eq emeses per cada € d'ingressos nets o m ² construït.
Consum i gestió d'energia	- Consum d'energia total (MWh d'energia consumida) - Consum d'energia de fonts renovables (MWh d'energia consumida)
Salut i seguretat	- Nombre d'incidents associats amb accidents o malalties laborals (mensuals, anuals, etc.). - Temps perdut per lesions relacionades amb la feina, malalties, etc. (Percentatge de temps perdut sobre temps total de treball).
Diversitat, igualtat d'oportunitats i formació	- Nombre de persones treballadores (segmentats per gènere i edat). - Diferència salarial entre treballadors homes i dones. - Nombre d'hores de formació per empleat (segmentats per categoria i gènere).
Contaminació acústica, qualitat de l'aire, i altres impactes a l'entorn de l'obra	- Nivell de contaminació acústica al voltant de l'obra. - Concentració de partícules contaminants al voltant de l'obra. - Nombre de moviments de vehicles vinculats a l'obra.

En base als resultats obtinguts i als principals reptes de l'aplicació dels sistemes de construcció industrialitzada en la construcció d'edificis d'habitatges, es proposen diverses recomanacions que podrien servir per augmentar l'ús d'aquest tipus de sistemes de construcció innovadors:

a. Adaptació dels sistemes de finançament per a projectes de construcció industrialitzats.

És necessari adaptar aquest sistema de finançament a la naturalesa de la construcció industrialitzada, en la

que una gran part del procés es realitza en una fàbrica abans de la seva col·locació a l'obra, la qual cosa complica la validació dels avançaments per part de les entitats financeres i organismes d'acreditació.

b. Simplificació dels processos administratius per aplicar sistemes de construcció industrialitzada a l'obra.

Per tal de facilitar l'aplicació de sistemes de construcció industrialitzada és necessari millorar els sistemes de certificació dels components prefabricats, i simplificar els processos administratius perquè les empreses de promoció tinguin més incentius per utilitzar aquest tipus de solucions. Un possible incentiu seria la reducció de les taxes derivades de les llicències d'obra en projectes constructius a partir d'un determinat grau d'industrialització.

c. Introduir una puntuació addicional a les empreses promotores que apliquin solucions de construcció industrialitzada en concursos d'habitatge assequible promogut pel sector públic.

Els resultats obtinguts demostren que la construcció industrialitzada permet reduir considerablement els terminis de construcció i entrega de projectes de construcció d'habitatges. Aquest és un avantatge molt important si tenim en compte que existeix una necessitat d'oferta de nous habitatges a preus assequibles, i que les administracions públiques estan fent un esforç molt important per construir nous habitatges per col·lectius desfavorits en règim de lloguer assequible. Per aquests motius, seria necessari que les administracions públiques afegeixin clàusules en les licitacions d'obres que obliguin, o incentivin, a les empreses promotores a aplicar sistemes de solucions de construcció industrialitzada.

d. Millorar els sistemes de recollida d'informació i dades relacionades amb els àmbits mediambiental i social.

Un desafiament molt important amb el que es troba el sector constructor consisteix en mesurar els aspectes crítics dels projectes d'edificació vinculats a la sostenibilitat. En aquest sentit, creiem que seria necessari establir una llista reduïda d'indicadors que s'haguessin d'incloure a la memòria tècnica del projecte d'edificació, i que fessin referència als aspectes crítics en matèria de sostenibilitat. Aquests indicadors es podrien extreure de la taula que hem inclòs en l'apartat de conclusions, i d'altres marcs de referència inclosos a l'estudi "Quadre de Comandament Integral Sostenible pel sector immobiliari", realitzat per Bastida i Verdugo (2023).

e. Millorar l'estandardització dels edificis per incrementar la repetibilitat en el disseny i fabricació dels mòduls i altres components de l'edifici.

Diversos experts entrevistats, coincideixen en què un factor clau perquè les empreses de construcció industrialitzada inverteixin en noves tecnologies, per aconseguir que aquests tipus de sistemes de construcció sigui menys costosos i més eficients, consisteix en augmentar el volum de comandes de cadascun dels components prefabricats. Per aconseguir-ho és important que les empreses de promoció i els despatxos d'arquitectes disposin de programes de software i d'inventaris de components prefabricats que poden utilitzar en els seus projectes de construcció d'edificis.

- f.** Introduir incentius fiscals per projectes constructius que utilitzin sistemes de construcció industrialitzada. La introducció d'incentius fiscals per als projectes que utilitzin sistemes de construcció industrialitzada és clau per accelerar la transició cap a un sector més eficient i sostenible. Aquests incentius, aplicats a taxes i impostos,

com les taxes de llicències d'obra o l'AJD, poden fomentar la inversió en tecnologies innovadores, reduir costos per als promotors i incentivar pràctiques constructives amb menor impacte ambiental. A més, contribuirien a millorar la productivitat, reduir els terminis d'execució i potenciar la industrialització com a eina per abordar el dèficit d'habitatge de manera més ràpida i eficient.

- g.** Creació de HUBs especialitzats en construcció industrialitzada. L'optimització del sistema de construcció industrialitzada s'aconseguirà, amb el temps, mitjançant HUBs d'industrialització pròxims als grans centres de producció d'habitatges, on existeixi una demanda prou contínua. Possiblement, prop de les grans ciutats. Això permetrà una substancial reducció de costos, en disposar d'un número important dels proveïdors industrials, de manera pròxima. Això, com en altres sectors (automòbil, farmacèutic, etc.), permetrà optimitzar l'eficiència econòmica i mediambiental (logística, coordinació, estocs, etc.).



1. Introducció

1.1. Context i reptes del sector de la construcció

El sector de la construcció es troba actualment immers en un procés de transformació. La industrialització de tota la cadena de valor, la digitalització de processos i la sostenibilitat són les principals tendències protagonistes d'aquesta transformació, que afecta els models de negoci vigents fins ara i implica un canvi de paradigma del sector.

Aquest nou paradigma cap on evoluciona el sector ve induït per diversos factors: l'escassetat de mà d'obra suficient per cobrir els llocs de treball, la introducció de criteris de sostenibilitat, les innovacions tecnològiques disponibles, o la necessitat de millorar la productivitat per mantenir la viabilitat del sector i satisfer la demanda de construcció.

El sector de la construcció representa el 4,5% del PIB de Catalunya (el 5,4% del PIB en el cas d'Espanya)² tot i que el seu impacte transcendeix el pes del sector en l'estructura macroeconòmica, ja que té un important impacte social com a encarregat de satisfer un bé essencial per al desenvolupament social i econòmic, així com per tenir un impacte mediambiental rellevant. Segons dades de la Comissió Europea, el sector de la construcció és responsable del 35% de generació de residus de la UE i d'entre el 5-12% de l'emissió de gasos d'efecte hivernacle.

El comportament cíclic del sector de la construcció ha anat ajornant les transformacions que han tingut lloc en la resta de sectors. La indústria de la construcció només ha registrat un increment de la productivitat del 10% en dues dècades (2000-2022), a diferència de la millora en un 50% de la productivitat de l'economia en general i del 90% del sector manufacturer en particular en el mateix període (McKinsey & Company, 2024).

Aquesta evolució del sector de la construcció, juntament amb la convergència de diversos factors, ha fet inajornable una transformació que ja ha començat que té la industrialització de la construcció com a principal exponent.

La industrialització de la construcció es refereix a un model organitzatiu basat principalment en la construcció en fàbriques en processos de caràcter industrial i el posterior

muntatge dels elements a l'obra (Sotorrió Ortega, G. et al., 2023). Sovint també s'utilitza el concepte de *prefabricació* o *construcció offsite* amb el mateix propòsit.

Aquesta transformació suposa un canvi de paradigma en el sector, entre d'altres:

- adopta els principis de l'organització industrial,
- transforma els llocs de treball predominantment artesanals fins ara,
- millora les condicions de treball del sector (salut, seguretat, etc.) i afavoreix la incorporació de dones,
- afavoreix el control i l'estandardització del nivell de qualitat,
- solapa diferents activitats del procés de construcció i en redueix la durada,
- promou la introducció de productes amb menor impacte ambiental,
- redueix els residus que genera la construcció, i
- el procés de construcció té lloc majoritàriament en una fàbrica i no a l'obra,

Aquest canvi de paradigma està produint una evolució de la cadena de valor fruit del rol central que tenen les noves plantes industrials que fabriquen els elements de l'edificació i que aporten una part important del valor afegit de la cadena.

Totes aquestes transformacions productives del sector es materialitzen necessàriament en canvis en:

- L'estructura de costos dels projectes d'edificis construïts amb mètodes de construcció industrialitzada respecte d'aquells basats en la construcció tradicional.
- Els impactes que generen els projectes de construcció industrialitzats en el medi ambient i en la societat.

L'anàlisi comparativa de costos i impactes és estratègic per dotar de coneixement el sector en l'evolució cap a la industrialització. Es tracta d'un camp poc explorat fins ara que actua de fre en l'adopció de la innovació per part de les empreses del sector, especialment perquè manca una anàlisi comparativa capaç d'integrar tots els elements i valoritzar econòmicament tots els aspectes.

² Dades Departament d'Economia i Finances. Estructura del PIB (2022).

1.2. Objectius de l'estudi

L'objectiu de l'estudi és dur a terme una comparativa rigorosa integral dels efectes econòmics i en la sostenibilitat, de realitzar un projecte d'edificació introduint diferents graus d'industrialització, en relació a la realització mitjançant l'ús dels sistemes de construcció convencional / tradicional.

L'anàlisi de la dimensió econòmica consisteix en la quantificació dels avantatges que aporta l'ús de construcció industrialitzada. Cal tenir en compte que ja hi ha empreses que han pressupostat una mateixa obra amb un sistema tradicional i amb un sistema industrialitzat, però s'observa que típicament la comparativa se centra en els costos directes sense valoritzar correctament els avantatges i la repercussió en els costos indirectes.

L'estudi de la dimensió de la sostenibilitat es centra en analitzar els efectes de l'ús de sistemes de construcció industrialitzada en l'àmbit medioambiental i social. Les activitats relacionades amb la construcció d'edificis, i la seva cadena de valor, tenen un impacte significatiu en diversos àmbits relacionats amb el medi ambient, com són les emissions de gasos d'efecte hivernacle, el consum de recursos naturals, o la gestió de residus d'obra, entre d'altres. També tenen un impacte significatiu en diversos àmbits relacionats amb les persones treballadores, o les comunitats on es realitzen les obres, com per exemple, la salut i seguretat de les persones treballadores, la diversitat de gènere i la inclusió, o molèsties que generen les obres en l'entorn més proper, entre d'altres.

Les principals preguntes que planteja l'estudi són:

- Quin estalvi de costos es genera amb la industrialització en termes de mà d'obra, gestió de residus, costos de post-venda, costos de neteja, permisos d'ocupació de la via, etc.?
- Quin impacte té la construcció industrialitzada en les diferents dimensions clau de la sostenibilitat en el sector de la construcció (emissions de CO₂, consum de recursos naturals, generació de residus, salut i benestar dels treballadors, etc.)?
- És possible quantificar aquests impactes sobre les dimensions de la sostenibilitat? I donar-los un valor econòmic?

1.3 Metodologia

Per a la realització de l'estudi, s'han dut a terme les següents accions:

- Revisió bibliogràfica sobre els efectes de la construcció industrialitzada en l'estructura de costos i la sostenibilitat dels edificis.
- Entrevistes semi-estructurades amb empreses de construcció, i altres empreses i professionals de la cadena de valor, amb experiència en l'ús de sistemes industrialitzats.
- Anàlisi dels efectes de la construcció industrialitzada en un cas d'estudi:
 - Anàlisi de l'estructura típica de costos d'una obra.
 - Identificació de projectes d'ús de construcció industrialitzada que serveixin de referència per a la realització de l'anàlisi.
 - Anàlisi dels factors clau de sostenibilitat del sector de la construcció.
 - Anàlisi econòmica de l'ús dels principals sistemes d'industrialització en un projecte.



2. La construcció tradicional vista des d'una perspectiva econòmica, medioambiental i social

L'estructura de costos dels projectes d'edificació que utilitzen mètodes constructius tradicionals estan força estudiats, de manera, que la majoria de projectes segueixen un model de costos estàndard. En canvi, l'estudi dels impactes medioambientals i socials de la construcció d'edificis es troba en una fase molt més incipient, però que s'està desenvolupant molt ràpidament degut a les obligacions de compliment de la nova regulació medioambiental i social, o de la conscienciació d'empreses i particulars, entre d'altres.

A continuació, es descriu l'estructura de costos dels projectes de construcció desenvolupats amb mètodes constructius tradicionals, i els impactes medioambientals i socials derivats d'aquest tipus de projectes.

2.1. Estructura de costos econòmics

2.1.1. El Pressupost d'Execució Material (PEM)

El concepte de pressupost d'execució material (PEM) fa referència a un document on es detallen els costos directes d'un projecte de construcció. Gràcies a aquesta eina s'estableix un estimat dels recursos econòmics que es requeriran per a l'execució d'un projecte.

La naturalesa dels costos directes que formen part del PEM són els següents:

- Materials de construcció: es detallen els materials que es necessiten, les especificacions tècniques i quantitats estimades.
- Mà d'obra: inclou l'estimació dels costos de mà d'obra necessària per a l'execució de l'obra.
- Maquinària i equips: costos relacionats amb l'adquisició o el lloguer de maquinària i equips necessaris per al projecte.

A més d'aquestes partides de costos directes, el PEM també inclou costos indirectes derivats de l'execució de l'obra que no són assignables directament a una unitat d'obra. Alguns exemples d'aquests costos indirectes són: casetes d'obra, magatzems, grues i camions, personal tècnic d'obra (cap d'obra, encarregat, vigilant, etc.), instal·lacions provisionals, o controls de qualitat, entre d'altres.

El PEM d'una edificació es divideix en capítols que agrupen les diferents partides necessàries per a l'execució de l'obra. Tot i que la classificació pot variar lleugerament segons el país, la normativa, o l'estàndard utilitzat (per exemple, CTE a Espanya o codis internacionals com CSI MasterFormat), l'estructura bàsica de capítols en un projecte típic d'edificació inclou:

- Preparació del terreny i moviments de terra: neteja del terreny, demolicions i desmuntatges, excavacions, buidatges, farcits i compactacions, i fonamentacions i estructures.
- Fonamentació superficial (sabates, lloses) o profunda (pilots, micropilots): murs de contenció, estructures de formigó armat, acer, o fusta, forjats i bigues, feines de paleta i tancaments
- Envans i divisions interiors: façanes (maó, panells, etc.), aïllaments tèrmics i acústics
- Cobertes: impermeabilitzacions, aïllaments de coberta, acabats (teules, xapes, grava, etc.).
- Revestiments: enlluïts i arrebossats, enrajolats, falsos sostres.
- Fusteries i serralleries: fusteria exterior (finestres, portes, persianes), fusteria interior (portes, armaris, motlures), serralleria (baranes, reixes, elements metàl·lics).
- Instal·lacions: fontaneria, electricitat, climatització, ventilació, telecomunicacions, ascensors i muntacàrregues.
- Acabats i decoració: pintura, papers pintats, revestiments decoratius, elements decoratius.
- Control de qualitat i Seguretat: assajos de materials, mesures de seguretat (proteccions col·lectives i individuals).

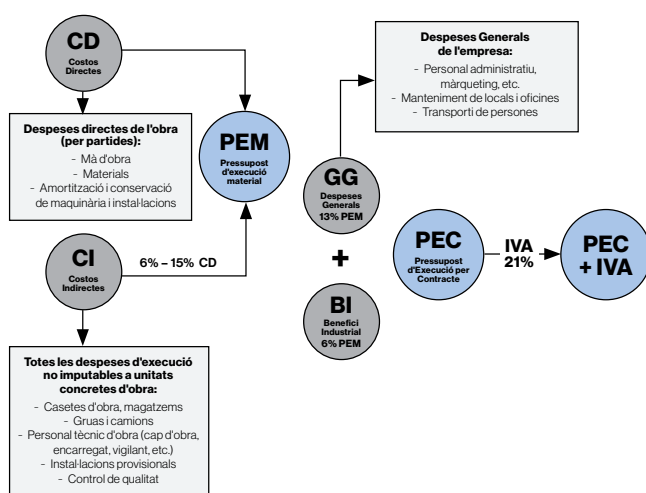
2.1.2. El Pressupost d'Execució per Contracte (PEC) o Cost de construcció

Si al PEM hi afegim les despeses generals i el benefici del contractista (conceptes que configuren el "marge del contractista") s'obté el Pressupost d'Execució per Contracte (PEC) o Cost de construcció.

Les despeses generals inclouen els altres costos indirectes d'estructura del contractista. Entre aquests costos destaquen: el personal administratiu, de màrqueting i de la resta de serveis centrals de l'empresa, el manteniment de locals i oficines de l'empresa, o el transport de persones, entre d'altres.

Les despeses generals i el benefici del contractista representen aproximadament un 20% del PEM.

Figura 1. Estructura de costos d'un projecte de construcció



Font: El preu de l'habitatge, el cost de construcció i el valor del sòl. ITeC (2022).

2.1.3. Cost final de l'edifici

El cost final de l'edifici inclou el PEC o Cost de construcció i les despeses de promoció. Aquest tipus de despeses van a càrrec de l'empresa promotora, i inclouen, les despeses següents:

- Els honoraris dels professionals que intervenen en el projecte (arquitectes, direcció i control de l'obra, aparellador, i altres tècnics),
- les taxes i impostos que graven la construcció (llicència d'obres, impost de construccions, etc.), o
- Els costos de l'estudi de seguretat i salut, entre d'altres.

Figura 2. Estimació de despeses de promoció

Concepte	Vsòl		PEM		Vi	
	% min	% max	% min	% max	% min	% max
Honoraris arquitecte, projecte i direcció			5,40	15,60		
Honoraris aparellador direcció d'obra			1,90	5,50		
Altres honoraris tèc. (telecom, geotècnic...)			1,00	1,50		
Control tècnic d'obres			0,50	1,00		
Taxes (llicència d'obres, tancaments, grues...)			1,00	5,00		
ICIO			2,00	4,00		
Seguretat i salut			1,50	2,00		
Escomeses d'obra			1,00	2,50		
Assegurances			1,00	2,00		
Despeses jurídiques (notari, registre...)	0,03	0,60	0,50	1,50		
Despeses financeres (del 80% Vi habitatge)	depèn		3,00	8,00		
Comercialització					1,00	3,00
	depèn		18,80	48,60	1,00	3,00
Pas de Cc a PEM (dividim PEM per 1,20)			1,20	1,20		
Percentatge sobre Cc			15,67	40,50		

Font: El preu de l'habitatge, el cost de construcció i el valor del sòl. ITeC (2022).

Com es pot observar en la taula anterior, si desglossem els conceptes que conformen les despeses de la promoció, s'observa que la majoria són un percentatge variable sobre el pressupost d'execució material (PEM). És a dir, les despeses de promoció poden oscil·lar aproximadament entre un 18,8% i un 48,6% del PEM. Si els percentatges, dependents del PEM, els referim al cost de construcció (Cc), dividint-los per 1,20, obtenim un ventall que va del 15,67% al 40,5%. Si acotem la banda central dels percentatges obtinguts, podem generalitzar que les despeses de promoció són aproximadament entre un 25 i un 30% del cost de la construcció.

2.1.4. Quadre resum de costos

A continuació, s'inclou un quadre resum dels costos per metre quadrat, en relació al PEM, PEC o cost de construcció, i el cost final. Per cadascun d'ells, s'inclouen tres alternatives de qualitat dels materials de construcció utilitzats (sencilla, normal i alta).

Com es pot observar en la figura anterior, el cost de construcció per metre quadrat en el PEM és d'entre 655 i 916 Euros quans'utilitzen materials de construcció normals. Aquest cost augmenta aproximadament un 20% en el PEC o cost de construcció, i el cost passa a ser

d'entre 786 i 1.099 Euros. I el cost final és d'entre 876 i 1.225 Eur, el qual suposa un augment d'un 11,5% respecte al PEC.

Un altre aspectes que no s'ha tingut en compte en el quadre però que pot fer variar els costos de construcció és la ubicació de l'obra.

Figura 3. Quadre comparatiu de costos de construcció

Fuente	Pres. ejecución material			Coste construcción			Coste final		
	Sencilla	Normal	Alta	Sencilla	Normal	Alta	Sencilla	Normal	Alta
Constru (3)	642,89	713,18	805,48	771,47	855,82	966,58	860,19	954,23	1.077,73
B.E.C.	-	-	-	889,28 909,66	1183,96	1.684,68	991,55 1.014,27	1.320,12	1.878,42
Emedos 75m ²	626,39	655,33	784,83	751,67	786,40	941,80	838,11	876,83	1.050,10
Emedos 105m ²	663,62	799,41	864,32	796,34	959,29	1.037,18	887,92	1.069,61	1.156,46
Emedos 210m ²	-	916,05	1.014,71	-	1.099,26	1.217,65	-	1.225,67	1.357,68
COAC	654,08	817,60	981,12	784,90	981,12	1.177,34	875,16	1.093,95	1.312,74
ITeC	-	719,04	-	-	855,65	-	-	954,05	-
Catastro Norma 20 MBC-1	-	-	-	490,00 350,00	805,00 700,00 630,00	1.120,00 945,00	490,00 350,00	805,00 700,00 630,00	1.120,00 945,00
Catastro Norma 20 MBC-2	-	-	-	455,00 325,00	747,50 650,00 585,00	1.040,00 877,50	455,00 325,00	747,50 650,00 585,00	1.040,00 877,50

Font: El precio de la vivienda, el coste de construcción y el valor del suelo. ITeC (2022).



2.2 Impactes mediambientals i socials derivats dels projectes de construcció tradicional

En l'actualitat, existeix un nombre important d'estudis que analitzen els impactes dels projectes de construcció d'edificis sobre el medi ambient i la societat. A l'estudi sobre el quadre de comandament integral sostenible pel sector immobiliari, Bastida i Verdugo (2023) descriuen els factors clau de sostenibilitat per les empreses de construcció, en base als estàndards internacionals d'informació de sostenibilitat (GRI i SASB), i a les certificacions internacionals de sostenibilitat d'edificis (BREEAM, LEED i DGNB).

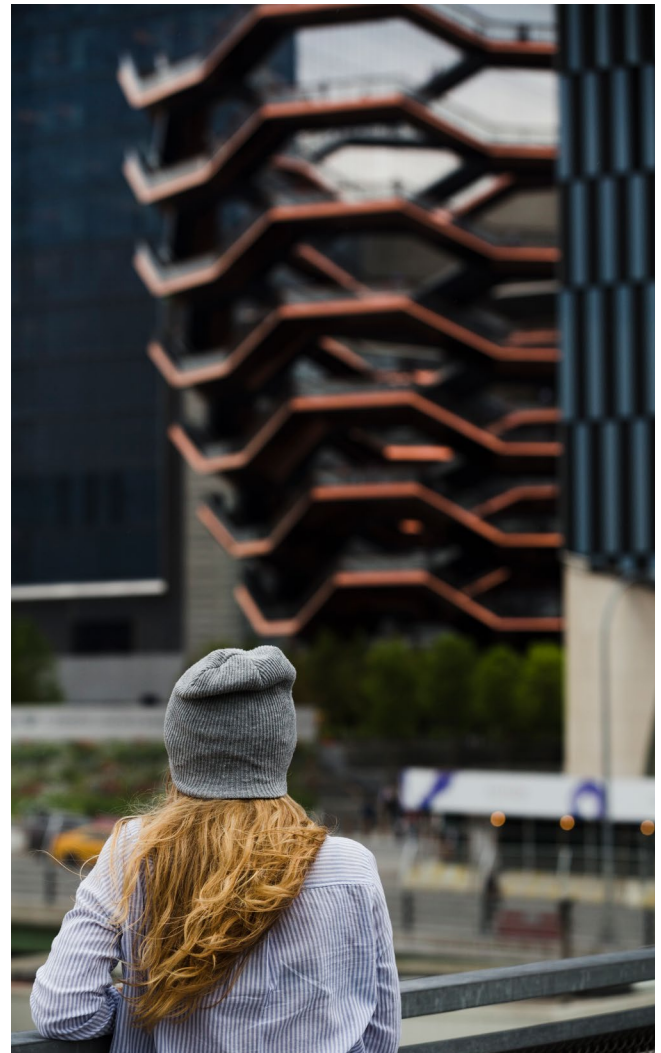
A continuació, s'inclouen dos quadres que sintetitzen els factors de sostenibilitat materials per a les empreses del sector immobiliari:

Figura 4. Síntesi dels factors clau per al sector immobiliari

Dimensions	Factors	GRI G4	SASB
Mediambiental	Materials utilitzats i reciclats	✓	✓
	Consum i gestió energètica	✓	✓
	Consum i gestió d'aigua	✓	✓
	Degradació del sòl i impactes a la biodiversitat	✓	✓
	Emissions de gasos d'efecte d'hivernacle	✓	✓
	Gestió d'efluents i residus	✓	✓
	Mitigació d'impactes mediambientals mitjançant productes i serveis	✓	X
	Impactes derivats del transport	✓	X
Social	Adaptació al canvi climàtic	X	✓
	Condicions laborals	✓	X
	Salut i seguretat laboral	✓	✓
	Formació	✓	X
	Diversitat i igualtat d'oportunitats	✓	X
	Bretxa salarial de gènere	✓	X
	Drets humans (no discriminació, treballs forçats, etc.)	✓	X
	Col·laboració i impactes a les comunitats locals	✓	✓
	Impactes del producte als clients i usuaris	✓	X
	Governança	Informació transparent i gestió de conflictes d'interès	X

Dimensions	Factors	BREEAM	LED	DGNB
Mediambiental	Consum d'energia eficient	✓	✓	✓
	Reducció del consum d'aigua	✓	✓	✓
	Gestió i reciclatge de residus	✓	✓	✓
	Ús de materials eficients	✓	✓	✓
	Ús del sòl i impacte a la biodiversitat	✓	✓	✓
	Reducció de la contaminació	✓	✓	✓
	Connexions de transport i mobilitat sostenible	✓	✓	✓
Social	Condicions laborals	✓	✓	✓
Governança	Informació transparent i gestió de conflictes d'interès	✓	X	✓
	Innovació (disseny i operacions)	✓	✓	X

Font: Quadre de Comandament Integral Sostenible pel sector immobiliari (Bastida i Verdugo, 2023)



En línia amb aquests factors clau de sostenibilitat anteriors, l'article "*A framework for assessing sustainability of construction projects*", de Salah, Elmasry i Amer (2023), defineix un marc per analitzar la sostenibilitat en els projectes de construcció. L'informe "*Methodology for quantifying the benefits of offsite construction*", elaborat per la Cambridge University (2020), també identifica les principals àrees d'impacte de la construcció industrialitzada.

En els apartats següents, es descriuen aquests factors clau de sostenibilitat identificats a la literatura, que conformen la base teòrica per a l'anàlisi de l'impacte medioambiental i social dels projectes de construcció.

2.2.1. Factors medioambientals

En l'àmbit medioambiental, s'han identificat els següents factors clau:

a. Consum d'energia i emissions de gasos d'efecte hivernacle

El sector de la construcció és un dels principals consumidors d'energia i generadors d'emissions de gasos d'efecte hivernacle a nivell global, a causa de l'ús intensiu de materials i maquinària durant les fases de construcció, així com del consum energètic dels edificis al llarg del seu cicle de vida.

La producció de materials com a ciment i acer és altament intensiva en energia, emetent grans volums de diòxid de carboni. Un dels majors reptes de la indústria de la construcció és l'extracció, la fabricació i el transport de materials com el formigó i les pràctiques d'acer molt lligades als combustibles fòssils, cosa que dificulta molt l'assoliment de l'objectiu de la UE de reducció de CO₂e (De Wolf et al., 2017).

b. Gestió i reciclatge de residus

La generació de residus durant les fases de construcció, renovació i demolició representa un repte crític per al sector. Una gestió adequada que prioritzi la reducció, reutilització i reciclatge de materials pot disminuir l'impacte ambiental i afavorir un ús més eficient dels recursos disponibles, alineant-se amb els principis de l'economia circular.

Els residus de construcció i demolició constitueixen un dels majors fluxos de residus a nivell mundial. A pesar del seu alt potencial de reciclatge, una proporció significativa acaba a les escombreries, augmentant la pressió ambiental.

c. Consum i gestió dels recursos hídrics

La construcció consumeix grans volums d'aigua

tant durant el procés de construcció com en l'ús i manteniment dels edificis. A més, el consum intensiu d'aigua en la fabricació de materials com el formigó pot incrementar encara més la petjada hídrica en aquest sector.

És fonamental optimitzar l'ús d'aquest recurs mitjançant tecnologies d'estalvi d'aigua, gestió de les aigües residuals i pràctiques de construcció adaptades a l'escassetat hídrica, especialment en regions vulnerables.

A més, les activitats de construcció poden alliberar sediments, olis i productes químics a l'aigua, alterant la seva qualitat i afectant la vida aquàtica.

d. Ús i reciclatge de materials

La construcció consumeix grans quantitats de materials com arena, grava, metalls i fusta. La seva extracció afecta els ecosistemes, esgota recursos no renovables i contribueix a la pèrdua de biodiversitat en àrees mineres i forestals.

La selecció de materials té un impacte directe en la sostenibilitat del sector de la construcció. Prioritzar materials reciclats, locals i amb una petjada ambiental reduïda, així com fomentar la innovació en materials ecològics, ajuda a disminuir l'impacte ambiental i a promoure un model constructiu més sostenible.

e. Ús eficient i protecció del sòl i la biodiversitat

L'expansió del sector de la construcció sovint implica la degradació del sòl i la pèrdua d'hàbitats naturals. L'adopció de pràctiques que preservin el territori, minimitzin l'ocupació de sòl i fomentin la reutilització d'espais existents contribueix a un desenvolupament sostenible i harmoniós amb l'entorn.

El sector de la construcció pot tenir un efecte profund en els ecosistemes i la biodiversitat, des de la destrucció d'hàbitats fins a la fragmentació del territori. Integrar la gestió de la biodiversitat en els projectes, mitjançant plans de restauració ecològica i mesures de protecció dels ecosistemes locals, és clau per garantir un equilibri entre el desenvolupament i la conservació del medi natural.

f. Polítiques de gestió mediambiental

La implementació de polítiques mediambientals rigoroses en el sector de la construcció permet reduir l'impacte ambiental de les activitats constructives. Això inclou el compliment de normatives, la incorporació de pràctiques sostenibles i la promoció d'estratègies de construcció ecològica que protegeixin l'entorn natural i millorin la qualitat de vida.

2.2.2. Factors socials

En l'àmbit social, s'han identificat els següents factors clau:

a. Salut i seguretat laboral

Els treballadors de la construcció estan exposats a diversos riscos físics, com caigudes des d'altures, accidents amb maquinària pesada, lesions derivades de protocols de seguretat insuficients, o una climatologia adversa, entre d'altres. A més, l'exposició prolongada a substàncies perilloses com el pols de sílice o les partícules de ciment pot provocar malalties cròniques. Alhora, la naturalesa exigent del treball, amb terminis ajustats i alta intensitat física, pot generar estrès, ansietat i desgast emocional.

b. Creació de llocs de treball i condicions laborals

El sector de la construcció és un motor significatiu de creació d'ocupació, especialment en projectes d'infraestructura i habitatge. Garantir condicions de treball estables i la promoció d'ocupacions qualificades contribueix al desenvolupament econòmic i al benestar de les comunitats on opera el sector.

El procés de construcció sovint posa de manifest desigualtats en la participació laboral i manca de mà d'obra. Les dones, les minories i altres grups marginats acostumen a estar infrarepresentats en el sector, perpetuant les desigualtats socials. A més, existeix una manifesta manca de mà d'obra especialitzada i no especialitzada per treballar en el sector de la construcció. Quan es prioritza la contractació de mà d'obra local i la creació d'un entorn inclusiu, es poden generar beneficis econòmics significatius per a les comunitats. També es contribueix a evitar les mancances de mà d'obra disposada a treballar en obres tradicionals. Al contrari, la manca d'inclusió pot aprofundir les divisions socials i limitar els impactes positius dels projectes.

c. Formació dels treballadors

La formació contínua dels treballadors és clau per garantir la qualitat i seguretat de les operacions en el sector de la construcció. Desenvolupar habilitats tècniques, coneixements sobre normatives i competències en noves tecnologies afavoreix l'eficiència i la sostenibilitat, alhora que millora les oportunitats professionals.

d. Protecció dels drets humans

La protecció dels drets humans en la construcció implica garantir condicions laborals dignes, la no discriminació i el respecte per la diversitat. Les empreses han d'assegurar el compliment de les normes

internacionals per evitar l'explotació laboral i promoure una cultura corporativa ètica i justa.

e. Construcció lliure de barreres

Promoure una construcció lliure de barreres significa dissenyar edificis i infraestructures accessibles per a totes les persones, incloent-hi aquelles amb discapacitat. Aquest enfocament fomenta la inclusió social i garanteix el dret a una mobilitat universal, complint amb les normatives d'accessibilitat.

f. Contaminació acústica

Les activitats constructives sovint generen nivells elevats de soroll, amb un impacte negatiu sobre la salut i el benestar de les persones, especialment en entorns urbans densament poblats. Durant la construcció, l'ús de maquinària pesant genera nivells alts de soroll que afecten les comunitats properes.

Adoptar mesures per reduir la contaminació acústica, com l'ús d'equipament més silenciós i la planificació adequada dels horaris de treball, és essencial per mitigar aquest problema.

g. Comunicació i transparència amb els usuaris i les comunitats afectades

La comunicació clara i proactiva amb les comunitats afectades és fonamental per a l'èxit d'un projecte de construcció. La manca de transparència sobre els horaris, les interrupcions o les compensacions per danys pot erosionar la confiança i generar resistència o protestes. Quan les activitats de construcció perjudiquen propietats properes o alteren la vida quotidiana, és crucial oferir respostes ràpides i solucions adequades per mantenir bones relacions amb els veïns.

3. Nous sistemes constructius: Construcció industrialitzada

3.1. Definició i conceptes claus

La construcció industrialitzada es pot definir com un model organitzatiu que utilitza una sèrie d'innovacions, la majoria d'elles basades en tecnologies de construcció en fàbriques que permeten construir edificis de manera més ràpida, econòmica i eficient (Sotorrio Ortega, G. et altri, 2023).

Aquest model contempla la separació de l'obra en 2 fases: la producció dels elements que integren una obra en una fàbrica, i la fase de trasllat al lloc de construcció on es duu a terme l'assemblatge i muntatge.

Els principis en què es fonamenta la construcció industrialitzada són:

- l'ús de components prefabricats amb un alt grau de definició que després s'assemblen a l'obra,
- l'estandardització de components,
- l'optimització del procés constructiu, i
- l'ús de tecnologies com el BIM (*Building Information Modelling*) que permeten la maquetació digital del projecte integrant tota la informació necessària per a la seva construcció.

Es tracta d'un model que es contraposa amb el model de construcció tradicional, basat en l'execució de la majoria d'activitats a l'obra de manera seqüencial, i majoritàriament amb un alt grau d'artesania en processos intensius en mà d'obra.

Aquest model de construcció pot rebre diverses denominacions, les més comunes són: construcció industrialitzada, prefabricació, *offsite construction*, entre d'altres. Tot i això, sovint s'empra el concepte "industrialització de la construcció" com a procés que es duu a terme de manera gradual, i que suposa anar introduint en el sector de la construcció conceptes propis de l'organització industrial. Aquesta gradualitat implica l'aplicació de la industrialització de manera parcial només en algunes fases del procés, com per exemple l'estructura, la façana, o els lavabos.

La construcció industrialitzada suposa l'aplicació de nous sistemes constructius entre les diferents solucions tecnològiques existents, com poden ser per exemples les solucions basades en prefabricats de formigó, panells de fusta, acer, o híbrides, quant a les solucions constructives per a l'estructura.

L'aplicació de la construcció industrialitzada com a nou sistema constructiu no es limita al mer trasllat d'activitats fins aleshores dutes a terme a l'obra cap a un entorn de fàbrica, sinó que suposa un canvi de paradigma del conjunt del sector i de la concepció de les obres des de la fase inicial de disseny.

L'evolució cap a mètodes moderns de construcció comporta impactes en diferents àmbits rellevants del sector, com la reducció de la mà d'obra necessària fruit de l'automatització, la millora de la productivitat a partir de l'optimització de processos, la reducció de l'impacte ambiental a través de la reducció de residus i del consum de materials, la millora de les condicions laborals com a conseqüència del trasllat d'activitats cap a entorns de fàbrica, entre d'altres que s'analitzen en profunditat en els següents apartats del present estudi.

3.2. Sistemes o solucions de construcció industrialitzada

La construcció industrialitzada es fonamenta en la fabricació dels components d'una obra en una fàbrica. Com s'ha dit anteriorment, una obra pot tenir diversos graus d'industrialització segons els components que es prefabricuin i aquells que se segueixin fent en obra. Hi ha diversos sistemes i tecnologies per a la construcció industrialitzada. Aquests sistemes s'anomenen mètodes moderns de construcció. Aquests mètodes es poden agrupar en les següents categories segons la funcionalitat dels components i el sistema de construcció industrialitzada (Ministry of Housing, Communities & Local Government of the UK Government, 2019) (OCH - Asociación Española de Construcción Industrializada, 2023):

- **Mòduls estructurals 3D:** Es refereix a aquells sistemes basats en la fabricació d'unitats volumètriques tridimensionals. Es coneixen també com a construcció modular. Aquests mòduls poden incloure des d'estructures bàsiques fins a mòduls complets, llestos per ser instal·lats directament a l'obra.
- **Components estructurals 2D:** Es refereix a elements plans, com murs, sostres o façanes, que es fabriquen fora del lloc d'obra i es transporten per ser muntats.

Aquests components tenen capacitat estructural i el seu assemblatge a l'obra genera estructures tridimensionals. Els panells 2D poden tenir una elevada definició i incloure aïllaments, tancaments, i acabats interiors o exteriors.

- **Prefabricació de components primaris estructurals:** Inclou components lineals individuals com bigues, columnes, i altres elements estructurals que no formen un sistema complet, però que es complementen amb altres elements estructurals al lloc d'obra.
- **Components prefabricats no estructurals:** Components que no formen part de l'estructura principal de l'edifici. Poden ser components volumètrics 3D com lavabos, cuines i equipaments d'instal·lacions; o components en panells 2D com façanes, cobertes, components de distribució d'equipaments, components de compartimentació, conjunt de portes, etc.
- **Productes substitutius tradicionals:** Materials i components de construcció que, tot i no formar part d'un sistema prefabricat integral, han estat dissenyats per simplificar i agilitzar el procés de construcció en comparació amb els materials tradicionals (ex. panells de guix laminat – *pladur*).
- **Processos substitutius tradicionals:** Es tracta de mètodes innovadors aplicats directament en obra, com l'ús de realitat augmentada, tecnologia BIM o maquinària autònoma per millorar l'eficiència i precisió dels processos in situ.

3.3. Principals diferències de la construcció industrialitzada respecte a la tradicional

El model de construcció tradicional es caracteritza per la realització *in situ* de les totes les tasques del procés de construcció. Aquestes tasques es duen a terme de manera artesanal per treballadors poc especialitzats en un procés que majoritàriament és seqüencial. Això comporta que hi ha poc solapament d'activitats i també certes tasques que es duen a terme de manera redundat sense aportar valor afegit a la construcció. S'estima que les activitats redundants poden arribar a suposar el 5% del cost de construcció i que els treballadors addicionals que requereix una obra fruit de la manca d'optimització del procés suposen un 16% del cost de mà d'obra. A més, la realització in situ de les obres requereix una inspecció periòdica de l'evolució del projecte que pot arribar a ser l'1% del cost de construcció i té associats uns costos en matèria de seguretat i salut laboral fruit de la complexitat de treballar en una obra com el treball en alçada que

s'estima que poden arribar a ser el 6% del cost de construcció (Faghirejadfard, A. et altri, 2016).

La forma de construcció tradicional majoritàriament manual té un impacte negatiu en variables clau com: la qualitat de la construcció i la precisió amb els consegüents treballs de rectificació que poden suposar un 5% del cost de construcció, la generació de residus i la despesa en materials sobrers que pot suposar un 2,5% del cost de construcció, o el compliment dels períodes d'execució i els possibles recàrrecs per retards injustificats en el lliurament.

La construcció tradicional comporta una elevada quantitat de desplaçaments tant de treballadors a l'obra durant els mesos d'execució d'aquesta com de camions de transport de materials, amb els corresponents impactes ambientals, sonors i de mobilitats que tenen associats.

La construcció industrialitzada suposa un canvi de paradigma que no es limita exclusivament a una forma de construcció diferent o a la introducció d'elements prefabricats que fins al moment es produïen artesanalment in situ, sinó que suposa una aproximació diferent al procés constructiu per tal d'optimitzar-lo. Això implica un disseny diferent del projecte, definint el projecte a partir de la solució constructiva industrialitzada que s'aplicarà, així com definint tots els detalls del projecte en la fase de disseny d'aquest sense que pugui quedar res per definir en fases posteriors ja a l'obra. El disseny d'un projecte industrialitzat és concepció des de l'estratègia de *disseny per a la fabricació i muntatge*, que suposa fer el projecte arquitectònic pensant en la seva construcció.

L'anàlisi de les diferències entre el model de construcció tradicional i el de la construcció industrialitzada requereix una comprensió sobre quines són les fases en què generalment s'estructura una obra, que són les següents:

1. **Fase de projecte i planificació:** contempla l'estudi de viabilitat i l'obtenció de permisos, l'elaboració del projecte per part dels arquitectes i enginyers encarregats, i la contractació d'una empresa constructora.
2. **Fase de preparació del terreny:** en aquesta fase es du a terme el desbrossament i neteja del terreny, l'excavació que inclou les tasques per preparar els fonaments, i les instal·lacions provisionals com aigua, electricitat i seguretat per a la fase de construcció.
3. **Fase de fonamentació:** es construeixen els fonaments de l'edifici i l'estructura de base.
4. **Fase d'estructura:** es construeix l'estructura vertical

com els murs, pilars i les plantes de l'edifici; l'estructura horitzontal com les lloses i els sostres que separen les plantes de l'edifici; i s'instal·la la coberta (teulada, estructura metàl·lica, etc.), que pot variar segons el disseny arquitectònic.

- 5. Fase d'instal·lacions i acabats:** es realitzen les instal·lacions d'aigua, ventilació, energia, telecomunicacions, etc.; així les tasques d'aïllament tèrmic i acústic i de protecció contra la humitat; i els acabats interiors com la col·locació de terres, la instal·lació de fusteria (portes i finestres), banys, etc.
- 6. Fase d'exteriors i urbanització:** es duen a terme els acabats exteriors com la façana i les obres d'urbanització de l'entorn (pavimentació de camins, jardineria, il·luminació...).
- 7. Fase de finalització i lliurament:** es revisa el compliment dels requisits del projecte, l'adequació a la normativa i els estàndards de qualitat; i es duen a terme les obres de finalització que permeten el lliurament final de l'obra.
- 8. Fase de manteniment i garanties:** durant els primers anys del cicle de vida útil de l'edifici, es corregeixen defectes en el marc de les garanties que contempla el marc legal.

Els principals canvis en la fase de projecte i planificació d'una construcció industrialitzada respecte la construcció tradicional són la introducció d'eines com el BIM (*building information modelling*), que és un sistema que actua de repositori comú del projecte i on hi ha tota la informació detallada necessària que requereixen tots els agents de la cadena de valor que intervenen en la construcció del projecte.

L'altre canvi en la fase de projecte i planificació que també va associat a la construcció industrialitzada és una evolució en l'esquema de contractació. Com s'ha vist anteriorment, normalment la contractació de la constructora és un procés posterior al disseny per part de l'equip d'arquitectura i enginyeria. Això implica que l'empresa constructora rep un disseny del qual no n'ha estat partícip, fet que suposa que es generin ineficiències en el procés constructiu i desviacions en els costos pressupostats vers els costos reals de l'execució. La construcció industrialitzada implica l'evolució cap al model de projecte integrat (*integrated project delivery*), caracteritzat per ser un model de contractació col·laborativa que integra totes les parts implicades en un projecte des de la fase de disseny per optimitzar els resultats, millorar la comunicació i reduir riscos i costos.



Això suposa un canvi radical de l'esquema vigent de contractació i relació entre els agents de la cadena de valor implicats en una obra.

El requeriment de detall que requereix la construcció industrialitzada i la dedicació de temps en definir un procés constructiu optimitzat suposa un allargament de la fase de projecte i planificació respecte de la construcció tradicional.

El procés constructiu de la construcció industrialitzada es caracteritza per la realització de la majoria de tasques en fàbriques, on a partir del projecte es produeixen amb les mesures indicades de forma automatitzada. Quan els components de l'obra estan fabricats es traslladen a l'obra on se'n fa l'assemblatge. Aquest muntatge pot requerir una maquinària diferent, fruit de la major precisió

necessària, i també una mà d'obra diferent de la d'una obra tradicional especialitzada en el muntatge. Això permet una optimització del procés constructiu a través del solapament de diverses fases: com la realització de la fase de preparació del terreny i la fase fonamentació en paral·lel amb la fase d'estructura per mitjà de la fabricació dels components.

En conclusió, l'evolució cap a la construcció industrialitzada suposa nombrosos canvis respecte la construcció tradicional en un ampli ventall d'aspectes com la qualitat, la precisió, el temps, costos, els residus, la mà d'obra, la definició del projecte, etc.

Les principals diferències comparatives es mostren en la taula resum, juntament amb indicadors de mesura:

Figura 5. Diferències entre la construcció tradicional i industrialitzada

Àmbit	Construcció Tradicional	Construcció Industrialitzada	Principals fases afectades	Impacte estimat
Procés constructiu i localització	Majoritàriament al lloc d'obra, fet que suposa una exposició a la meteorologia i altres factors de difícil control, i requeriment d'infraestructures temporals com bastides.	Producció en fàbrica (offsite), amb major control de condicions i menor dependència d'infraestructura temporal.	4. Fase d'estructura. 5. Fase d'instal·lacions i acabats.	40% del valor total del projecte és valor afegit onsite.
Precisió i control de qualitat	Qualitat variable depenent de la mà d'obra i condicions ambientals. La precisió és limitada i sovint requereix correccions.	Alta precisió i consistència de qualitat gràcies a la producció en fàbrica, amb un major control de processos.	4. Fase d'estructura. 5. Fase d'instal·lacions i acabats.	Reducció d'errors fins al 75.
Temps d'execució	Seqüencial, amb retards per factors climàtics i logístics. Procés generalment més lent.	Reducció significativa en temps gràcies a la producció simultània en fàbrica i obra.	4. Fase d'estructura. 5. Fase d'instal·lacions i acabats.	Reducció d'entre un 20%-50% de temps d'execució.
Estructura de costos i pressupost	Costos inicials més baixos però amb gran risc de desviacions per factors imprevistos i complexitat en gestió de recursos.	Cost inicial més alt, però menor dependència de l'impacte de la inflació en costos de materials i menys desviacions pressupostàries.	1. Fase de projecte i planificació.	n.d.
Necessitats de mà d'obra	Necessitat elevada de mà d'obra in situ, amb més riscos d'accidents i menys control en seguretat laboral.	Menor mà d'obra en obra, amb més seguretat en entorns controlats de fàbrica.	4. Fase d'estructura. 5. Fase d'instal·lacions i acabats.	n.d.
Generació de residus	Generació elevada de residus per falta d'optimització i control de materials.	Reducció significativa de residus gràcies a l'optimització i reciclatge de components.	4. Fase d'estructura. 5. Fase d'instal·lacions i acabats.	Reducció dels residus en un 50% - 90%. Reducció del 10-15% del total dels materials desaprovechats a només el 5%.
Consum de recursos	Ús intensiu de recursos amb impacte ambiental elevat. Petjada de carboni significativa.	Eficiència de recursos i materials sostenibles amb una petjada de carboni menor.	4. Fase d'estructura. 5. Fase d'instal·lacions i acabats.	Reducció del consum de recursos en un 35%.
Necessitats de manteniment	Necessitat més elevada de manteniment degut a la variabilitat en qualitat i execució in situ.	Menor cost de manteniment gràcies a la consistència en qualitat de components prefabricats.	8. Fase de manteniment i garanties.	n.d.

Àmbit	Construcció Tradicional	Construcció Industrialitzada	Principals fases afectades	Impacte estimat
Eficiència i logística	Complexitat logística per requerir espai d'emmagatzematge i subministraments continus.	Logística optimitzada amb transport planificat i components acabats.	4. Fase d'estructura 5. Fase d'instal·lacions i acabats	Reducció del 60% de desplaçaments de camions a l'obra
Flexibilitat de disseny	Alta flexibilitat per fer canvis durant la construcció, però sovint amb costos addicionals.	Planificació rigorosa amb menys capacitat per canvis, però millora en qualitat final.	1. Fase de projecte i planificació	n.d.
Estandardització i replicabilitat	Dificultat per replicar qualitat consistent en projectes repetitius a causa de variabilitat.	Facilitat per replicar projectes amb qualitat consistent gràcies a estandardització.	1. Fase de projecte i planificació	n.d.
Impacte als veïns	Generació de pols, soroll, congestió de trànsit de camions i afectació viària.	Baix impacte en la generació de molèsties a veïns i afectació en la salut pública.	4. Fase d'estructura 5. Fase d'instal·lacions i acabats	n.d.

Font: Pròpia (dades a partir de fonts citades a la bibliografia).

3.4. Anàlisi DAFO de la construcció industrialitzada

Si apliquem l'esquema de DAFO per analitzar la construcció industrialitzada com a nou paradigma del sector, identifiquem les següents debilitats, amenaces, fortaleses i oportunitats (Rocha, P. F. et al., 2023; Rahman, M. M., 2014)

Debilitats:

- **Alta inversió inicial:** La construcció industrialitzada requereix inversions en les tecnologies necessària per a evolucionar cap a aquest esquema d'organització del sector. Això pot suposar una barrera per a empreses petites i mitjanes. Aquestes inversions es poden veure compensades amb ràtios de rendibilitat financera elevades fruit de l'augment de productivitat.
- **Rigidesa en el disseny i la flexibilitat:** La construcció industrialitzada necessita un disseny detallat des de l'inici, la qual cosa limita la capacitat de fer canvis durant el projecte i pot ser un inconvenient davant d'imprevistos.
- **Costos d'aprenentatge i formació:** La transició cap a mètodes industrialitzats requereix treballadors amb habilitats tècniques específiques, cosa que implica costos addicionals de formació.
- **Gestió de la cadena de subministrament:** La construcció industrialitzada requereix proveïdors més especialitzats capaços de proveir les solucions a mida. Això genera una dependència que amb la construcció tradicional és menor fruit ja que els materials poden ser més *commodity*. A més, actualment els proveïdors de solucions per a la industrialització són pocs i per tant, hi ha poca competència.

- **Fluxos de caixa:** La producció fora del lloc d'obra pot dificultar el finançament i els fluxos de caixa, ja que l'avanç físic no sempre es veu reflectit en les certificacions d'obra in situ.
- **Nous perfils professionals:** El canvi de model requereix la cerca de nous perfils professionals qualificats que pot ser difícil de trobar, especialment aquells amb habilitats digitals.
- **Limitacions urbanístiques i reguladores:** Les normes que regulen l'edificació tant urbanístiques com el codi tècnic d'edificació estan concebuts per a l'esquema de construcció tradicional.
- **Dimensió mínima de projectes:** La construcció industrialitzada es basa en els avantatges de la generació d'economies d'escala, i per tant pot no ser un mètode adequat per a projectes que no tinguin una dimensió mínima.
- **Encariment en cas d'aprovisionament en llargues distàncies:** La manca de proveïdors en proximitat a les obres i la necessitat de transports especials per a algunes de les solucions pot ser un factor que augmenti el cost.
- **Major cost inicial del projecte:** La construcció industrialitzada té un cost inicial més alt respecte la construcció tradicional. Aquest cost ha de poder-se compensar amb estalvis al llarg del procés de construcció.

Amenaces:

- **Resistència al canvi cultural:** Com ha succeït en altres sectors, el sector de la construcció sovint està dominat per mètodes tradicionals, i el canvi cap a la construcció

industrialitzada pot trobar resistència entre treballadors, empreses i clients acostumats als processos tradicionals.

- **Manca de proveïdors especialitzats:** Dificultat de trobar proveïdors especialistes en la fabricació de solucions de construcció industrialitzada a cost competitiu.
- **Escalabilitat i massa crítica:** La construcció industrialitzada requereix un cert volum per a aconseguir costos competitiu gràcies a economies d'escala i amb especial rellevància en entorns de mercats poc madurs. Això pot dificultar la introducció de la construcció industrialitzada en projectes que no assoleixen un llindar d'escala mínima.

Fortaleses:

- **Alta qualitat i precisió en la producció:** La producció en entorns controlats de fàbrica permet una alta precisió i consistència en la qualitat dels components, minimitzant errors i variabilitat en el producte final.
- **Reducció de residus:** La construcció industrialitzada optimitza l'ús de materials, reduint els residus generats en comparació amb la construcció tradicional.
- **Eficiència energètica durant el cicle de vida:** Els edificis industrialitzats tenen una millor qualitat d'aïllament i estanqueïtat, fet que redueix el consum energètic a llarg termini i millora l'eficiència energètica.
- **Reducció de costos de manteniment:** La qualitat i precisió de components fabricats industrialment redueixen la necessitat de manteniment, generant un estalvi a llarg termini per als propietaris dels edificis.
- **Millora de la seguretat laboral:** La major part del procés es fa en fàbriques, la qual cosa redueix l'exposició dels treballadors a riscos laborals comuns en obres, com treballs en altura i ús d'equipament pesat.
- **Ampliació del mercat laboral i incorporació de la dona.** La millora de les condicions laborals derivades de la industrialització, facilita l'atracció de talent i la incorporació de la dona en el sector de la construcció.
- **Reducció del temps d'execució:** La possibilitat de produir components simultàniament en fàbrica i d'avançar en tasques de preparació a l'obra permet reduir el temps de construcció.
- **Millor control de costos:** L'estandardització i la producció en entorns controlats permeten preveure

amb més precisió els costos del projecte i minimitzar desviacions pressupostàries, millorant la gestió financera.

- **Impacte ambiental reduït:** La reducció d'emissions de CO₂, l'optimització del consum d'aigua i l'ús de materials sostenibles contribueixen a un menor impacte ambiental de la construcció industrialitzada.
- **Possibilitat de reutilització i economia circular:** Els components modulars es poden desmuntar i reutilitzar, cosa que afavoreix l'economia circular i redueix l'impacte ambiental al final de la vida útil de l'edifici.
- **Adaptabilitat als estàndards de sostenibilitat:** La construcció industrialitzada facilita el compliment d'estàndards ambientals, cosa que pot incrementar el valor immobiliari i afavorir l'accés a finançament sostenible.
- **Automatització i innovació tecnològica:** L'ús de tecnologies avançades com BIM, robòtica i IoT augmenta l'eficiència, la precisió i la capacitat de monitorització en temps real, facilitant el control de qualitat.
- **Escalabilitat i producció en sèrie:** La capacitat d'estandarditzar i produir en sèrie permet una economia d'escala, reduint el cost per unitat i fent que la construcció industrialitzada sigui molt rendible en projectes de gran escala.
- **Reducció de l'impacte a les zones urbanes:** La construcció industrialitzada redueix el trànsit, el soroll i la pols en zones urbanes, millorant la qualitat de vida de les comunitats properes al projecte.
- **Alta predicibilitat en els terminis d'entrega:** La planificació rigorosa i la producció controlada permeten complir amb els terminis de lliurament de manera fiable, cosa que redueix els riscos de sancions contractuals i augmenta la satisfacció del client.
- **Escalabilitat i producció massiva:** La construcció industrialitzada pot servir per donar resposta a la crisi d'habitatge, fruit de la major rapidesa amb què es poden construir habitatges i posar-los a disposició de la societat.
- **Augment de la productivitat:** L'aplicació de mètodes d'organització industrial al sector de la construcció pot afavorir en un augment de la productivitat del sector.
- **Disminució dels costos laborals i de la necessitat de mà d'obra a l'obra:** La construcció industrialitzada permet reduir la mà d'obra necessària al lloc i generar estalvis dels costos de mà d'obra.

Oportunitats:

Generació de PIB industrial: La construcció industrialitzada afavoreix la generació de PIB industrial en línia amb les estratègies d'industrialització d'Europa.

Oportunitats d'ocupació especialitzada: La necessitat de treballadors tècnics per a operacions en fàbrica i en tecnologia digital fomenta la creació de llocs de treball qualificats, millorant el nivell educatiu i tècnic del sector.

Creixent demanda d'habitatges sostenibles i assequibles: L'escassetat d'habitatges en moltes ciutats i la creixent preocupació per la sostenibilitat impulsen la demanda de construcció industrialitzada, que pot oferir solucions més ràpides, assequibles i sostenibles.

Accés a finançament verd i incentius: Amb l'augment de les inversions sostenibles, els projectes de construcció industrialitzada poden accedir a finançament verd.

Expansió en mercats internacionals: La modularitat i estandardització de la construcció industrialitzada faciliten l'exportació de components a altres països i regions, permetent l'expansió cap a nous mercats amb demanda de solucions constructives ràpides i eficients.



4. Impactes de la construcció industrialitzada des d'una triple perspectiva: econòmica, mediambiental i social

A partir de les principals diferències entre la construcció tradicional i la construcció industrialitzada, es poden definir els impactes que tenen en diferents àmbits des d'una triple perspectiva (econòmica, mediambiental, social).

4.1. Perspectiva econòmica

En l'àmbit econòmic i financer, l'aplicació de la construcció industrialitzada té un impacte en els següents aspectes:

4.1.1. Impactes en el Pressupost d'Execució Material (PEM)

- **Cost dels materials.** L'impacte en el cost dels materials en la construcció industrialitzada i la construcció convencional depèn de les solucions que s'emprin per a industrialitzar, atès que el diferencial de cost és diferent segons si es tracta de solucions basades en fusta o en formigó ja que el cost de les matèries primeres d'aquestes solucions és diferent. Tot i això, cal preveure que la partida de materials en una construcció industrialitzada es diferencia respecte de la construcció tradicional en els següents aspectes:
 - La matèria primera de la solució prefabricada – les més habituals són les basades en formigó, la fusta o acer.
 - El valor afegit de la solució prefabricada en comparativa amb el dels materials habituals que integra la construcció convencional com els maons (ceràmica) i el formigó.
 - L'aprofitament dels materials. En la construcció

convencional es desaprofita una part dels materials fruit de la manca d'optimització del procés constructiu.

- **Cost de mà d'obra directa.** La construcció industrialitzada és intensiva en tecnologia, a diferència de la construcció tradicional que és intensiva en mà d'obra. Alguns dels impactes de la construcció industrialitzada en la mà d'obra són: reducció de la mà d'obra fruit de l'automatització de processos, necessitat de personal més especialitzat (planificació de processos de fabricació, assemblatge de components en l'obra...), reducció del temps d'execució de l'obra, optimització de les tasques a dur a terme (l'eliminació de tasques redundants...).
- **Cost de maquinària i infraestructures:** La reducció dels terminis de construcció pot implicar un menor període de requeriment de la maquinària com les bastides o les grues torres, i per tant del cost de lloguer o amortització d'aquestes.
- **Costos de desplaçaments a l'obra:** La reducció del treball a l'obra suposa una reducció del cost dels desplaçaments dels treballadors cap a l'obra, que també pot comportar despeses en dietes i allotjaments.
- **Costos logístics:** El transport a l'obra de solucions amb major valor afegit en detriment del transport de tots els materials directament a l'obra permet reduir el número de camions que han de desplaçar-se fins a l'obra. Tot i això, el transport de solucions prefabricades pot requerir transports especials fruit de les seves dimensions, que puguin suposar una logística més cara.
- **Gestió de residus:** Les obres tenen costos vinculats a la gestió dels residus que es generen al lloc de l'obra. La reducció de la manipulació de materials a l'obra comporta una reducció de la generació de residus i el consegüent menor cost en la gestió d'aquests.
- **Seguretat i assegurances:** Reducció dels costos d'assegurança i seguretat, ja que la construcció en fàbrica té un menor risc d'accidents laborals en comparació amb la construcció a l'obra.
- **Consum energètic:** Reducció del consum energètic en el procés constructiu.
- **Llicències d'ocupació de la via:** Les obres comporten habitualment l'ocupació de la via pública per a poder executar la construcció. El cost de les llicències acostuma a tenir en compte els m²/dia. La reducció dels terminis de construcció té un impacte en aquest cost.

- **Costos de postvenda:** Reducció dels costos de postvenda fruit de la menor variabilitat en les qualitats de l'obra. S'estima que la reducció dels defectes pot situar-se en el 75% (Rahman, M. M., 2014).

4.1.2. Impactes en el Pressupost d'Execució per Contracte (PEC) i en el Cost Final de l'Edifici

- **Despeses d'amortització:** La introducció de tecnologia requereix inversions que s'han d'amortitzar, a diferència de la mà d'obra a qui substitueix. És a dir, les despeses operatives de mà d'obra (opex) es substitueixen per inversions (capex) amb la consegüent amortització.
- **Costos de supervisió:** Els costos de supervisió es redueixen ja que la producció en plantes facilita l'estandardització de la qualitat i el temps de dedicació en supervisió d'una obra in situ.
- **Costos indirectes:** Menor imputació de costos indirectes per obra fruit de la millora de la productivitat.
- **Cost de finançament:** El procés de construcció d'una obra suposa temps en el qual el promotor de l'obra té un actiu immobilitzat (sòl) en què hi està duent a terme una inversió (obres) per a la posterior explotació o venda d'aquest. La reducció del termini d'execució de les obres comporta una reducció del període de finançament amb el consegüent estalvi en interessos (Ofori-Kuragu & Osei-Kyei, 2021). Alhora, la reducció del termini de construcció incrementa la rotació d'actius. La construcció industrialitzada, en promoure la sostenibilitat (reducció de residus i impacte ambiental), s'alinea amb criteris d'inversió ESG (ambientals, socials i de governança), la qual cosa facilita l'accés a finançament amb millors condicions.
- **Cost de manteniment:** Menor necessitat de manteniment gràcies a la qualitat i precisió en la fabricació de components. Això redueix els costos a llarg termini i augmenta la vida útil dels edificis.
- **Eficiència energètica durant el cycle de vida de l'actiu:** La construcció industrialitzada aplica estàndards de qualitat més elevats que afavoreixen millors aïllaments, estanqueïtat,...i una menor demanda energètica durant el cycle de vida de l'edifici.
- **Reutilització i reciclatge de materials:** La modularitat de la construcció industrialitzada facilita el desmuntatge i la reutilització de components, així com el reciclatge dels materials un cop finalitzada la vida útil de l'edifici. Això afavoreix l'economia circular en el sector constructiu.

4.2. Perspectiva mediambiental

En l'àmbit mediambiental, els principals efectes que genera la construcció industrialitzada en les dimensions clau, per a les empreses del sector de la construcció, són:

a. Consum d'energia i emissions de gasos d'efecte hivernacle:

- **Optimització del consum energètic:** El procés industrialitzat permet una major eficiència energètica en la producció d'elements, ja que es fa en entorns optimitzats per a estalviar energia.
- **Disminució d'emissions de CO₂:** La prefabricació en fàbrica i el muntatge onsite poden arribar a disminuir les emissions de CO₂ respecte a la construcció tradicional per l'eficiència del procés. S'estima que la reducció pot ser del 60% (Ofori-Kuragu & Osei-Kyei, 2021).

b. Polítiques de gestió mediambiental

- **Control d'impacte ambiental:** L'ús de tecnologies digitals que requereix la industrialització afavoreix un millor control de l'impacte ambiental de l'obra i facilita el coneixement del càlcul de la petjada de carboni des de la construcció fins a la vida útil de l'edifici.
- **Manteniments preventius:** Les tecnologies digitals que requereix la industrialització la monitorització de l'edifici durant tota la seva vida útil i la programació de manteniments preventius, que acaben revertint en una major durabilitat dels components de l'edifici i menor renovació d'aquests.

c. Gestió de residus

- **Reducció de residus:** Optimització en l'ús de materials en fàbrica, que redueix la generació de residus en comparació amb la construcció tradicional.

d. Consum i gestió dels recursos hídrics

- **Estalvi de recursos naturals:** A causa de l'ús racionalitzat dels materials i els processos estandarditzats, es redueix el consum de recursos naturals. A més, s'estima que els 90% dels recursos utilitzats poden ser posteriorment reciclats al final del cycle de vida útil (Aedas Homes, 2021).
- **Menor petjada hídrica:** Els processos estandarditzats de construcció industrialitzada optimitzen l'ús d'aigua, reduint el consum d'aigua

(20% menys en el procés constructiu i 17% menys de consum durant la vida útil) (Aedas Homes, 2021).

e. Altres

- **Impacte urbà de les obres:** En minimitzar la generació de pols, soroll i altres contaminants, la construcció industrialitzada redueix la interferència en les zones urbanes i millora la qualitat de vida en comunitats properes a projectes constructius
- **Augment de la vida útil de l'edifici:** Es calcula que la millora de la qualitat constructiva permet millorar entre un 70% i un 100% la vida útil de l'edifici (Aedas Homes, 2021).

En aquest sentit, cal tenir en compte que actualment hi ha pendent d'aprovació l'avantprojecte de modificació de l'ordre ministerial que regula la valoració d'immobles i el crèdit promotor³. L'avantprojecte incorpora com a modificació el principi de sostenibilitat que estableix que els mètodes de càlcul del valor de l'immoble han de tenir en comptes indicadors de l'efecte que tenen els factors de caràcter mediambiental i socioeconòmic sobre el valor d'aquests. A més, també introdueix criteris mediambientals en el principi de prudència que estableix que s'hauran de tenir en compte en la valoració de l'immoble els riscos ambientals i climàtics pels quals es pot veure afectat.

Aquests canvis de criteris que introdueixen la sostenibilitat com a aspecte a tenir en compte en la valoració d'immobles són de rellevant interès atès que una de les aportacions de la industrialització és vinculada a la sostenibilitat.

4.3. Perspectiva social

En l'àmbit social, s'identifiquen diversos àmbits on la construcció industrialitzada genera efectes:

a. Salut i seguretat laboral

- **Condicions laborals:** La construcció en entorns controlats de fàbrica ofereix als treballadors un espai més segur i protegit, amb menys exposició a condicions climàtiques extremes i amb tasques més estructurades. A més, la construcció en fàbriques garanteix una major estabilitat en un lloc de treball que no requereix la permanència en períodes prolongats en obres que poden ser lluny de l'entorn del treballador.

- **Seguretat laboral:** La concentració del procés de producció en fàbriques minimitza l'exposició dels treballadors a riscos laborals propis de la construcció tradicional, com caigudes, ús d'eines pesades i treballs en altura, i millora les condicions de seguretat general onsite.

b. Creació de llocs de treball i condicions laborals

- **Millora de la qualitat dels llocs de treball:** La industrialització del sector genera nous llocs de treball, típicament amb un major grau d'especialització propis de la indústria fet que pot revertir en llocs de feina millor remunerats (Rahman, M. M., 2014).
- **Incorporació de talent femení:** La transformació dels llocs de treball de la construcció cap a feines amb menors requeriments físics, facilita la incorporació de talent femení al sector. Es calcula que la construcció industrialitzada duplica la presència de dones en llocs de treball en comparació amb la construcció tradicional (Aedas Homes, 2021).
- **Reducció de llocs de treball de baix nivell:** Es calcula que es redueix en un 60% la mà d'obra no especialitzada (Aedas Homes, 2021).

c. Altres

- **Accés a l'habitatge:** La construcció industrialitzada permet una producció més ràpida i eficient d'habitatges, la qual cosa pot contribuir a abaratir els costos de producció i, per tant, facilitar l'accés a habitatges assequibles per a la població.
- **Qualitat dels habitatges:** La millora de la qualitat de la construcció genera un impacte social per la millora dels espais on habita la ciutadania.

3 ORDRE ECO/805/2003, DE 27 DE MARÇ, sobre normes de valoració de béns immobles i de determinats drets per a certes finalitats financeres

5. Resultats de les entrevistes amb experts

La industrialització de la construcció ha estat objecte d'anàlisi a les entrevistes realitzades a diverses empreses i experts del sector. La selecció d'empreses que s'han entrevistat ha permès cobrir les diferents fases de la cadena de valor del procés d'edificació. En particular, s'han entrevistat a les empreses següents:

- Empreses de serveis: Junquera Arquitectes i ITEC
- Empreses de construcció industrialitzada: Grupo Avintia i CompactHabit
- Empreses promotores immobiliàries: Culmia i Metropolitan House

Aquestes empreses han compartit la seva visió sobre els efectes, els avantatges i els desafiaments de la construcció industrialitzada. A partir d'aquestes converses, s'han identificat aspectes clau que permeten comprendre millor l'impacte de la industrialització en el procés constructiu.

5.1. Sistemes de construcció industrialitzada més comuns

Al sector de la construcció, la industrialització es materialitza a través de diverses tècniques que permeten la prefabricació d'elements a fàbrica i el seu assemblatge a obra. Entre els mètodes més utilitzats destaquen l'ús de mòduls prefabricats, que permeten reduir els temps d'execució. Un exemple és el sistema constructiu panelitzat offsite Wallex, desenvolupat per Grupo Avintia en col·laboració amb CEMEX Ventures. Wallex, integrat al sistema ÀVIT-A, permet la producció de panells autoportants que conformen l'estructura i façana dels edificis.

Junquera Arquitectes esmenta que la combinació d'elements prefabricats amb tècniques tradicionals resulta en una major eficiència sense perdre flexibilitat en el disseny.

***“Wallex destaca per la seva creativitat en el disseny, ja que permet acoblar panells complets de façana amb finestres i altres acabats ja incorporats, eliminant la necessitat de bastides i reduint els temps de muntatge.*”**

S'han explorat solucions com els banys i cuines prefabricades, encara que la seva implementació encara enfronta desafiaments al mercat espanyol”.

Una de les experiències més destacades en l'aplicació de la construcció industrialitzada és el Plan Vive, on diverses empreses han participat en la construcció de milers d'habitatges mitjançant tècniques industrialitzades. El Grupo Avintia ha lliurat més de 1.700 habitatges en un temps rècord dins aquest programa, demostrant l'eficàcia del model constructiu industrialitzat davant de l'obra tradicional. En aquest projecte, s'han industrialitzat elements clau com l'estructura i la façana amb el sistema Wallex (incloent-hi murs de càrrega prefabricats de formigó amb aïllament, finestres preinstal·lades i acabats exteriors i interiors), terrasses prefabricades, xemeneies, escales i baranes metàl·liques, així com sistemes industrialitzats en la ventilació de garatges.

Junquera Arquitectes i Culmia també han participat en projectes del Plan Vive, destacant l'optimització del temps i la reducció de costos indirectes com alguns dels seus principals avantatges. Segons Grupo Avintia i Culmia, la industrialització ha representat entre el 40% i el 42% del pressupost d'execució material, reflectint-ne l'impacte en la construcció d'aquests habitatges. Aquests tipus d'iniciatives evidencien l'impacte positiu de la industrialització en projectes de gran escala. A més, la col·laboració amb proveïdors i la feina conjunta amb els equips d'arquitectura han permès ajustaments i millores en el procés de disseny, evitant ineficiències i optimitzant la planificació de cada promoció.

5.2. Beneficis de l'ús de sistemes de construcció industrialitzada

En general, els beneficis de la construcció industrialitzada en termes d'estalvi en costos se centren en la reducció del temps de lliurament, l'optimització de recursos i la millora en la qualitat dels elements fabricats. Segons els entrevistats, les partides que poden experimentar una reducció de costos inclouen els costos indirectes associats a l'obra, com ara el lloguer de maquinària, la seguretat en obra i l'ús de bastides, ja que molts elements arriben a punt per instal·lar-los. A més, es poden reduir costos de personal en disminuir la necessitat de mà d'obra en obra, atès que gran part del treball es realitza a fàbrica, i també la producció a fàbrica garanteix una major precisió en els acabats, cosa que redueix errors en obra i minimitza la necessitat de realitzar correccions o ajustaments durant la construcció i post-venta. Tot i això, els entrevistats

coincideixen que, actualment, els costos directes de materials poden no ser més barats que en la construcció tradicional, però l'estalvi es genera amb la reducció del termini d'execució.

Precisament, el menor temps de lliurament permet als promotors obtenir ingressos més ràpidament en projectes d'habitatge de lloguer i reduir els interessos financers associats al finançament de l'obra. Grupo Avintia esmenta que:

“Aquest model permet escurçar els temps en un 30%, com va passar al Plan Vive, on vàrem aconseguir lliurar 1.763 vivendes en un temps rècord”.

CompactHabit assegura que la reducció pot ser encara més gran, arribant a un 50%, i citen exemples com la construcció d'un hospital COVID de 4.000 m² en només 4 mesos i mig, o una escola acabada en aproximadament 6 mesos. Per la seva banda, Junquera Arquitectes i Culmia coincideixen que la industrialització pot suposar un estalvi de 4 a 5 mesos en una obra típica, cosa que en projectes de 24 mesos podria reduir l'execució a 18-19 mesos.

“El menor temps de lliurament s'aconsegueix sense sacrificar-ne la qualitat: al contrari, la producció a fàbrica millora la precisió en traslladar gran part del procés a entorns controlats”.

CompactHabit destaca que la fabricació a fàbrica permet optimitzar la producció i minimitzar errors, arribant fins i tot a instal·lar electrodomèstics per evitar danys a l'obra, com va passar en una residència d'estudiants a França. Grupo Avintia subratlla l'ús de models 3D col·laboratius, que permeten planificar amb precisió les instal·lacions i estructures, reduint imprevistos al muntatge. Tot i això, Junquera Arquitectes adverteix que el sistema Wallex requereix una execució molt precisa, ja que els panells arriben acabats i qualsevol error de disseny podria afectar la instal·lació.

Un altre aspecte molt rellevant de la construcció industrialitzada és el seu impacte ambiental positiu. Grupo Avintia destaca que aquest model ha permès una disminució del 75% en residus, un 35% menys de consum d'aigua i una reducció del 40% en emissions de CO₂, mentre que Junquera Arquitectes i Culmia estimen estalvis en residus de 25-44% i consum d'energia i aigua de fins a 45%. En termes d'eficiència energètica, els edificis del Plan Vive han aconseguit certificacions BREEAM Excellent o Very Good, i un 32% d'estalvi en costos energètics. Tot i això, Culmia assenyala que, encara que han reduït les emissions de CO₂ en un 8%, l'ús de formigó continua sent

un desafiament. Finalment, la industrialització també ajuda a mitigar l'impacte a l'entorn urbà, estimant Grupo Avintia que el soroll a l'obra es redueix en un 50%, disminuint molèsties per als veïns.

La industrialització també afecta l'estructura laboral del sector i ofereix condicions de treball més segures i estables en comparació amb l'obra tradicional, on els riscos derivats del clima i el treball en alçada són més freqüents. Grupo Avintia assenyala que:

“Cada vegada hi ha menys persones disposades a treballar en obra, i que molts d'aquests llocs de treball acabaran traslladant-se a entorns industrialitzats.”

Aquesta transició també requereix noves habilitats i formació especialitzada, per la qual cosa Culmia i Junquera Arquitectes destaquen la necessitat de programes de capacitació per adaptar-se als nous processos productius. A més, a diferència de la construcció tradicional, on els treballadors han de canviar d'ubicació amb freqüència, la industrialització permet llocs de treball més estables a fàbriques, com en el cas de la fàbrica que Grupo Avintia té a Aranda de Duero, on produeix els panells Wallex. CompactHabit ressalta que aquest model de producció ha diversificat el perfil del treballador, tot fomentant la inclusió de dones en un sector històricament dominat per homes i promovent la polivalència dins dels equips de treball.

Finalment, és fonamental considerar la flexibilitat, permetent adaptacions sense comprometre la identitat arquitectònica. Culmia assenyala que, tot i treballar amb una biblioteca d'elements estandarditzats, els edificis poden tenir dissenys completament diferents, mantenint versatilitat sense perdre eficiència. CompactHabit emfatitza que la industrialització no implica uniformitat, sinó que possibilita la creació de mòduls estructurals amb acabats personalitzats segons el projecte, especialment útil en sectors com residències i hotels, on la repetibilitat millora l'eficiència sense restringir el disseny.

5.3. Reptes de l'ús de sistemes de construcció industrialitzada

La importància de l'optimització del procés productiu és un factor clau en la industrialització de la construcció. CompactHabit destaca que la planificació detallada i la coordinació entre fàbrica i obra són essencials per evitar ineficiències i garantir l'èxit del projecte. Per part seva, Grupo Avintia subratlla que la logística i el transport dels elements prefabricats s'han de gestionar amb precisió per evitar retards i sobre costos innecessaris.

“La repetibilitat en el disseny de mòduls és vital en l'optimització del procés productiu, que en construcció industrialitzada no és el mateix que la producció a gran escala”.

CompactHabit assenyalava que la repetició de mòduls estructurals en diferents projectes millora l'eficiència sense fer que els edificis siguin idèntics, ja que els acabats poden variar segons el disseny de l'arquitecte. Això és especialment rellevant en sectors com residències i hotels, on la uniformitat de certs espais facilita la producció a fàbrica.

Junquera Arquitectes també esmenta que la industrialització implica treballar amb components predefinits, similars a "fitxes de LEGO", cosa que requereix adaptar els dissenys a sistemes constructius repetibles, sense perdre flexibilitat. Així mateix, Culmia recalca que l'existència d'una biblioteca d'elements industrialitzats permet mantenir un procés eficient sense comprometre la diversitat dels projectes. En aquest sentit, la repetibilitat és més important que la producció massiva, ja que permet assolir economies d'escala sense limitar la creativitat ni l'adaptabilitat dels edificis.

Un dels reptes principals de la construcció industrialitzada és el finançament i l'adaptació dels mecanismes tradicionals a aquest nou model d'edificació. Grupo Avintia assenyalava que el sistema financer continua centrat en la construcció tradicional, on els pagaments depenen de certificacions d'obra, cosa que genera dificultats per a la industrialització ja que molts elements es fabriquen fora del lloc. Culmia destaca que els bancs només financen components que ja estan a l'obra, obligant els promotors a avançar pagaments amb fons propis i augmentant la tensió de liquiditat. Per mitigar aquest problema, s'estan explorant reformes que permetin finançar elements abans de la instal·lació, com passa en altres sectors industrials. Culmia afegeix que a això s'hi afegeix la creixent exigència de certificacions ambientals com BREEAM, necessàries

per accedir a certes línies de crèdit i inversions institucionals.

A més del desafiament financer, la normativa i els procediments administratius tampoc no estan completament adaptats a la construcció industrialitzada, cosa que pot generar retards i sobre costos burocràtics. CompactHabit assenyalava que, encara que molts ajuntaments valoren la rapidesa d'aquest model, els tràmits continuen sent lents i no estan dissenyats per a projectes amb components prefabricats, cosa que ha provocat retards en algunes obres. També destaquen que les administracions no estan acostumades a que part de l'edifici es construeixi fora del solar, cosa que complica la certificació d'obra i els pagaments, ja que els processos actuals assumeixen que tot l'avenç ha de passar físicament al lloc de construcció. Grupo Avintia afegeix que:

“La legislació vigent està desactualitzada i no contempla les particularitats de la industrialització, creant barreres que alenteixen la seva adopció. Per impulsar aquest model, consideren fonamental actualitzar la normativa i adaptar-la a les noves maneres de construir.”

Per acabar, les empreses entrevistades ressalten la importància de l'evolució tecnològica en la construcció industrialitzada. Grupo Avintia destaca l'ús de robots encofradors a la fàbrica d'Aranda, que col·loquen els motlles de formigó amb precisió mil·limètrica, eliminant la variabilitat de la mà d'obra i millorant la qualitat dels elements fabricats. A més, la implementació de models col·laboratius en 3D ha permès integrar estructura, instal·lacions i arquitectura en una única plataforma digital, facilitant l'assemblatge a l'obra i reduint imprevistos. Culmia destaca el paper clau de BIM (Building Information Modeling) en la gestió de projectes industrialitzats, permetent la creació d'una biblioteca única d'elements per a tots els arquitectes, i un entorn de dades comú que va facilitar la coordinació i va minimitzar errors als projectes del Plan Vive. Aquests avenços tecnològics no només milloren la qualitat dels edificis, sinó que també fan que la construcció sigui més predictable, eficient i sostenible.

6. Resultats de l'anàlisi del cas d'estudi

6.1. Presentació del cas d'estudi

A continuació, hem realitzat una anàlisi dels efectes de l'aplicació de sistemes de construcció industrialitzada en els àmbits econòmic i de la sostenibilitat. Per realitzar aquesta anàlisi, hem tingut accés a la memòria tècnica de construcció completa, al pressupost econòmic de construcció, i al personal a càrrec d'una promoció d'habitatges construïts mitjançant mètodes tradicionals. A partir de la informació obtinguda a la revisió de la literatura i les entrevistes amb experts, hem realitzat una estimació dels efectes que tindria l'aplicació de les tècniques d'industrialització més comunes en aquest projecte d'edificació. Els resultats obtinguts ens han permès identificar i quantificar els efectes econòmics, mediambientals i socials més significatius.

L'anàlisi comparativa es du a terme tenint en consideració metodologies desenvolupades com la de l'informe de la Universitat de Cambridge.

Les principals característiques del projecte són:

- Superfície del solar: 601,29 m².
- 70 habitatges, un local, 70 places d'aparcament de turismes i 25 places de motocicletes.
- Planta Baixa, 14 plantes pis i cinc plantes soterrani.
- Cada planta compta amb 5 habitatges.
- La superfície construïda de cada habitatge són 88 m². La superfície útil total és de 73m² interiors i 12,5 m² de balcó.
- La superfície construïda total són 12.162 m².

6.2. Solucions de construcció industrialitzada aplicades

La industrialització que aplicaran en aquest primer projecte és l'estructura amb murs prefabricats de formigó i la façana. La industrialització d'aquests dos conceptes tindrà impacte en altres fases de l'obra, ja que l'estructura industrialitzada i la façana industrialitzada incorporen elements com aïllaments o preinstal·lacions.

La revisió bibliogràfica duta a terme i les entrevistes amb professionals del sector apunten que la industrialització pot comportar la reducció del temps d'execució entre un 20% i un 50%. Aquesta reducció del termini és un dels factors d'impacte més rellevants de la construcció industrialitzada fruit dels costos que estan vinculats al termini d'una obra (ex. personal d'obra, lloguer de grues, altres costos indirectes, etc.).

Per a dur a terme el cas d'estudi i tenint en compte un criteri de prudència, estimarem una reducció del 30% del termini de construcció gràcies a la industrialització dels elements anteriorment esmentats. En la memòria tècnica indica que la durada prevista del projecte serà de 555 dies (18,5 mesos) però el càlcul del personal d'obra està basat en 17 mesos com a màxim. La diferència d'1,5 mesos restant s'entén que correspon al temps de gestió inicial de la constructora des de la seva contractació. Això implicarà que el termini de construcció serà de 12 mesos, 5 mesos menys que els previstos amb construcció tradicional.

6.3. Informació econòmica del projecte

L'anàlisi dels impactes de la industrialització es basarà en l'estudi del Pressupost d'Execució Material (PEM) i el Pressupost d'Execució per Contracte (PEC) de l'obra objecte del present cas d'estudi.

Les principals dades de l'oferta econòmica que ha presentat la constructora a l'empresa promotora són:

Figura 6. Dades oferta econòmica edifici residencial

	Import
Pressupost Execució Material (PEM)	9.833.628,97 €
Despeses generals (13%)	1.278.371,77 €
Benefici industrial (6%)	590.017,74 €
Pressupost Execució per Contracte (PEC)	11.702.018,48 €

Font: Pressupost

El PEM correspon als costos directes de construcció, principalment inclou aquelles partides que es poden assignar a la unitat d'obra (ex. m² construïts, habitatges construïts, etc.) o a una fase concreta de l'obra.

El PEM actual és el següent:

Figura 7. Principals capítols pressupost execució material

Capítol	Import	Distribució (%)
Moviment de terres + Fonamentació	1.369.344,54 €	13,93
Estructura	1.638.379,63 €	16,66
Arquitectura	4.747.674,63 €	48,28
Instal·lacions	2.078.230,17 €	21,13
Total	9.833.628,97 €	100

Font: Pressupost

Per altra banda, el PEC correspon a la suma del PEM amb les despeses generals i el benefici industrial. Les despeses generals fan referència a aquells costos indirectes que l'empresa constructora imputa a l'obra, que es poden estructurar en:

- Costos indirectes d'empresa
- Costos indirectes de direcció
- Costos indirectes de personal d'obra
- Costos indirectes d'estructura d'obra

6.4. Anàlisi de l'impacte de la industrialització en l'estructura de costos

Per tal de dur a terme la comparativa, primer de tot identificarem les partides de cada capítol del PEM que considerem que estan afectades per la industrialització que proposem en aquest projecte.

En aquestes partides identificades com a afectades hi analitzarem quins són els factors de la construcció industrialitzada que hi tenen impacte i hi aplicarem un coeficient de correcció. L'aplicació del coeficient de correcció es farà tenint en compte un criteri de prudència i a partir dels coeficients de la revisió de literatura i les entrevistes amb experts.

6.4.1. Impactes en els costos directes

Capítol d'Estructura:

Figura 8. Principals impactes en el capítol d'estructura

Capítol d'estructura (partides afectades)	Cost	Factor d'impacte	% de reducció	Estimació potencial estalvi
Vigilància d'obra	13.921,30 €	temps	30%	4.176,39 €
Grua	10.326,38 €	temps	30%	3.097,91 €
Runa	5.946,42 €	sostenibilitat	75%	4.459,81 €
Materials i execució d'estructura	1.563.401,55 €	temps	30%	0 €
Total	1.593.595,65 €			11.734,11 €

Font: Pròpia

*Materials i execució d'estructura:

L'execució de l'estructura és un dels elements centrals que s'industrialitzen en el present cas d'estudi. Per realitzar l'anàlisi dels costos i el càlcul de l'impacte de la industrialització cal tenir en compte la naturalesa dels costos a partir de la qual es descompon aquesta partida. A partir de la informació extreta amb els responsables del projecte, considerarem que la partida *Materials i execució d'estructura* està formada per:

- Costos directes: 97%
 - Mà d'obra directa: 20%
 - Materials i maquinària utilitzada: 77%
- Cost indirecte: 3%
 - Mà d'obra de supervisió: 3%

Pel càlcul de l'impacte de la industrialització en aquesta partida i en base a la revisió bibliogràfica duta a terme, considerarem que els costos de la partida *Mà d'obra directa i de supervisió*, es redueixen en un 30% degut a la reducció en el temps d'entrega. L'impacte derivat de l'estalvi en mà d'obra és de 107.875€.

El càlcul de l'impacte en el cost de *Materials i maquinària utilitzada* depèn en bona mesura del proveïdor i la solució industrialitzada que s'utilitzi. Per aquest motiu, no som capaços de calcular directament el previsible augment de cost de la solució prefabricada en relació el cost dels materials per a la seva execució en obra.

Tot i això, els càlculs fets ens indiquen que per a increments de cost de la solució prefabricada inferiors al 9% respecte el cost dels materials en construcció tradicionals, l'estalvi generat en la reducció de la mà d'obra compensarà el cost

més car dels materials, i en conjunt es podrà reduir el cost de la partida de *Materials i execució d'estructura*.

Per al present cas d'estudi, tindrem en compte el supòsit que el diferencial del cost dels materials és del 9%, i per tant, la industrialització té un impacte neutre en la partida de *Materials i execució d'estructura* del capítol d'*Estructura*.

Capítol d'Arquitectura:

Figura 9. Principals impactes en el capítol d'arquitectura

Capítol d'Arquitectura (partides afectades)	Cost	Factor d'impacte	% de reducció	Estimació potencial estalvi
Grua	42.478,85 €	temps	30%	12.743,66 €
Mitjans auxiliars d'obra	22.619,76 €	temps	30%	6.785,93 €
Runa	24.522,56 €	sostenibilitat	75%	18.931,92 €
Vigilància d'obra	57.266,98 €	temps	30%	17.180,09 €
Neteja professional de l'obra	29.608,69 €	temps	30%	8.882,61 €
Arrebossats	88.119,57 €	temps	30% (sobre 23% de cost de mà d'obra directa i de supervisió)	6.080,20 €
Acabats de façana	174.470,95 €	temps	idem	12.038,50 €
Protecció i aïllaments	86.228,91 €	temps	idem	5.949,80 €
Total	525.316,27 €			88.592,71 €

Font: Pròpia



6.4.2. Impactes en els costos indirectes

A continuació, analitzarem l'impacte sobre les despeses generals, que majoritàriament es tracta de costos indirectes.

Figura 10. Principals impactes en les despeses generals

Despeses generals (partides afectades)	Cost	Factor d'impacte	% de reducció	Estimació potencial estalvi
Personal de direcció				
Cap d'Obra (Obra civil)	128.165,04 €	temps	30%	38.449,51 €
Cap de Producció	63.977,81 €	temps	30%	19.193,34 €
Personal d'obra				
Gruista	113.086,80 €	temps	30%	33.926,04 €
Encarregat d'obra	65.967,30 €	temps	30%	19.790,19 €
Oficial	59.684,70 €	temps	30%	17.905,41 €
Peó	94.239,00 €	temps	30%	28.271,70 €
Estructures d'obra				
Magatzem	1.727,72 €	temps	30%	518,31 €
Vestuari i menjador del personal	6.282,60 €	temps	30%	1.884,78 €
Sanitaris químics	8.167,38 €	temps	30%	2.450,21 €
Neteja de casetes d'obra i oficines	3.298,37 €	temps	30%	989,51 €
Lloguer de casetes d'obra	3.769,56 €	temps	30%	1.130,87 €
Lloguer de grua	56.543,40 €	temps	30%	16.963,02 €
Maquinària diversa (plataformes, etc.)	12.565,20 €	temps	30%	3.769,56 €
Petita eina	1.570,65 €	temps	30%	471,20 €
Consum aigua	4.500,00 €	sostenibilitat	30%	1.350 €
Postventa				
Provisió postvenda obra*	35.316,59 €	qualitat	75%	26.487,44 €
Total	658.862,11 €			213.551,1 €

Font: Pròpia

* Provisió postvenda obra:

A les despeses generals s'inclou una provisió que la constructora fa per a la gestió de la postvenda, cal tenir en compte que la revisió de la bibliografia i les entrevistes amb els experts ens indiquen que es tracta d'una partida que es pot veure fortament impactada per la construcció industrialitzada, ja que permet una estandardització de la qualitat que repercuteix en una reducció dels costos de postvenda.

A la figura 11 podem observar que l'estalvi més important prové de la reducció dels costos indirectes de l'obra o despeses generals. Aquests representen el 68% de l'estalvi de costos.

Els càlculs ens indiquen que el potencial impacte de la construcció industrialitzada en el PEC pel present cas d'estudi és **313.877,92 €**, que suposa un estalvi del **2,68%** respecte el PEC de la construcció tradicional.

Figura 11. Taula resum dels principals estalvis derivats de l'aplicació de la construcció industrialitzada.

Capítol	Import	Distribució de l'estalvi (%)
Costos directes - Estructura	11.734,11 €	3,73%
Costos directes - Arquitectura	88.592,71 €	28,22%
Costos indirectes - Despeses generals	213.551,1 €	68,05%
Total	313.877,92 €	100,00%

Font: Pròpia

Els principals factors d'impacte en la generació d'estalvi que s'han tingut en compte són: temps, sostenibilitat i qualitat. El potencial estalvi estimat per cadascun d'aquests factors per al present cas d'estudi és:

Figura 12. Impacte econòmic dels diferents factors d'impacte

Factor d'impacte	Import estalvi	Distribució de l'estalvi (%)
Temps	262.648,74 €	83,7%
Qualitat	26.487,44 €	8,4%
Sostenibilitat	24.741,73 €	7,9%
Total	313.877,92 €	100 %

Font: Pròpia

Les despeses generals s'havien estimat en el pressupost inicial afegint al pressupost de l'obra un 13% del PEM en concepte de despeses generals o costos indirectes de la constructora imputats a l'obra. El cas d'estudi i la reducció d'aquestes despeses generals s'estima que se situen en l'11% del PEM calculat per al supòsit d'aplicació de la industrialització.

Figura 13. Comparació dels pressupostos PEM i PEC segons supòsit de construcció tradicional o industrialització

	Cas sense aplicació industrialització	Estimació imports aplicació industrialització
Pressupost Execució Material (PEM)	9.833.628,97 €	9.733.302,15 €
Despeses generals	1.278.371,77 €	1.064.820,67 €
Benefici industrial (6%)	590.017,74 €	583.998,13 €
Pressupost Execució per Contracte (PEC)	11.702.018,48 €	11.382.120,95 €

Font: Pròpia

6.4.3. Impactes en els costos de promoció

A continuació, s'estudia quin impacte té aquesta reducció dels terminis en els seus costos de finançament habitual. L'empresa promotora es planteja sol·licitar un préstec promotor pel 80% del PEC del projecte a un tipus d'interès nominal del 3%. El préstec es disposarà en 4 fases: en la primera el 15%, en la segona el 35%, en la tercera el 30% i finalment el 20% en la 4a fase.

Per tal de poder fer la comparació, en primer lloc, es fa una estimació del cost de finançament que tindria inicialment duent a terme l'obra en 17 mesos, i a partir del pressupost inicial que no contemplava la industrialització (cas A).

En segon lloc, calcula el cost de finançament per al 80% del PEC que contempla introduir tècniques d'industrialització i dur a terme l'obra en 12 mesos (cas B).

Figura 14. Cost del finançament per l'empresa promotora

Cas	A	B	Diferència
Interessos acumulats al final de la vida del préstec (cost financer)	244.572,19 €	170.773,08 €	73.799,11€

Font: Pròpia

El potencial d'estalvi financer que s'identifica és de gairebé 73.800 €, que suposa un 30% menys de cost financer.

6.5. Anàlisi dels impactes de la construcció industrialitzada en la sostenibilitat

L'objectiu d'aquest apartat consisteix en determinar i quantificar els efectes de l'aplicació de sistemes de construcció industrialitzada en un projectes de construcció d'habitatges.

Tant en la revisió de la literatura com en les entrevistes realitzades amb experts, s'ha posat de manifest que l'aplicació de sistemes de construcció industrialitzada en l'edificació d'habitatges presenta efectes positius en les dimensions mediambientals i socials.

Un repte molt important al que hem hagut de fer front per realitzar aquesta anàlisi, és la manca de dades relacionades amb els factors mediambientals i socials del projecte. Aquest repte no és exclusiu d'aquest projecte, sinó que és un problema comú amb la majoria de projectes de construcció. En l'actualitat, les empreses de construcció disposen d'informació econòmica molt detallada, que permet realitzar una anàlisi en profunditat dels costos d'edificació, però en canvi, disposen de molt poca informació sobre els aspectes com el consum d'energia i d'aigua durant el procés de construcció, la generació i gestió de residus d'obra, o l'accidentabilitat, entre d'altres.

En els propers apartats es descriuen els efectes potencials de l'aplicació de sistemes de construcció industrialitzada en el projecte d'edificació d'habitatges estudiat. Per cadascun dels factors mediambientals i socials que considerem que podrien estar afectats per la industrialització, hem intentat quantificar els impactes que podrien produir-se, en base a les dades disponibles del projecte. En cas de no disposar de dades, hem inclòs els indicadors que s'haurien de tenir per poder quantificar els impactes generats.

6.5.1. Principals impactes en la dimensió mediambiental

En la dimensió mediambiental, l'aplicació de sistemes de construcció industrialitzada pot generar impactes favorables en els següents aspectes:

Consum i gestió de recursos hídrics

La memòria tècnica i el pressupost del projecte incorporen les següents dades relacionades amb el consum i la gestió de recursos hídrics durant la fase de construcció de l'edifici:

- Provisional d'obra d'aigua. Aquesta partida correspon a la instal·lació del sistema provisional d'infraestructures perquè pugui arribar l'aigua a l'obra. No es preveu que estigui afectada per la industrialització, donat que es tracta d'una instal·lació necessària.

- Consum d'aigua. Aquesta partida correspon als consums d'aigua necessaris per a la fase de construcció de l'edifici. Segons la informació recollida, l'aplicació de sistemes d'industrialització pot contribuir a la reducció d'entre el 20 i el 45% del consum d'aigua durant la fase de construcció. En la taula següent, hem aplicat una reducció del 30%.

La industrialització permetria reduir 347,28 m³ de consum de recursos hídrics, i un estalvi de 1.350 Eur. A més de la reducció del consum total de m³ d'aigua, també es podria calcular el consum d'aigua per m² d'edificació. En aquest cas, passariem de 0,095 m³ a 0,066 m³ per cada metre quadrat construït.

Generació i reciclatge de residus

La revisió de la literatura i els resultats de les entrevistes amb experts posen de manifest que l'aplicació de sistemes de construcció industrialitzada permet reduir la generació de residus d'obra. En aquest sentit, l'anàlisi de la memòria tècnica i el pressupost del projecte constructiu ha permès identificar una partida relacionada amb la generació de "runa", que correspon als residus generats durant el procés de construcció. A continuació, es presenten les dades incloses en el pressupost de l'obra:

Figura 15. Estalvi en el consum d'aigua durant el procés constructiu

Factor	Consum (m ³) ⁴	Import (Eur)
Consum d'aigua construcció tradicional	1.157,58	4.500
Consum d'aigua construcció industrialitzada	810,30	3.150
Estalvi de consum d'aigua total	347,28	1.350

Font: Pròpia

Figura 16. Generació de residus d'obra amb sistema de construcció tradicional

Fase d'obra	Volum (m ³) ⁵	Import (Eur)
Moviments de terres + fonamentació	10.281,96	4.986,77
Estructura	10.281,96	5.946,42
Arquitectura	10.281,96	24.522,56
Total	30.845,88	36.455,75

Font: Pròpia

Seguint amb el criteris aplicats en l'anàlisi dels efectes de la construcció industrialitzada en l'estructura de costos, s'ha considerat que les fases d'obra afectades per l'aplicació d'aquest tipus de sistemes de construcció són la

4 Per calcular el número de m³ consumits, hem aplicat un cost m³ de 3,8874.

d'estructura i arquitectura. Per tant, s'ha deixat fora la fase de moviments de terres i fonamentació.

Segons l'estudi realitzat per Ofori-Kuragu & Osei Kyei (2021), es considera que la generació de residus d'obra pot reduir-se entre un 50 i un 90% si s'apliquen sistemes de construcció industrialitzada. Els experts consultats també coincideixen en que l'ús de sistemes de construcció industrialitzada pot reduir la generació de residus fins a un 75% respecte a la construcció convencional. A continuació, hem recalculat la generació de residus aplicant un 75% de reducció sobre les dades incloses en la taula anterior:

Figura 17. Generació de residus d'obra amb sistema de construcció industrialitzat

Fase d'obra	Volum (m ³)	Import (Eur)
Moviments de terres + fonamentació	10.281,96	4.986,77
Estructura	2.570,49	1.486,60
Arquitectura	2.570,49	6.130,64
Total	15.422,94	12.604,01

Font: Pròpia

En aquest projecte, la construcció industrialitzada permetria reduir la generació de residus en 15.422,94 m³ (-50%), i el cost de la seva gestió en 23.851,74 Eur (-65%). La reducció de la generació de residus d'obra també permetria reduir el transport de la runa des de l'obra fins als abocadors.

A més de l'indicador del volum total de residus generats, també podria ser interessant disposar d'informació sobre la reciclabilitat dels residus generats. En aquest sentit, es podria utilitzar l'indicador: % de residus recuperats sobre el total de residus generats.

Emissions de gasos d'efecte hivernacle

Les emissions de CO₂ i altres gasos d'efecte hivernacle generats pels edificis representen més d'un 40% de les emissions totals. Aquest tipus d'emissions es produeixen tant en la fase de construcció com en la fase d'ús de l'edifici. En la fase de construcció, les emissions de gasos d'efecte hivernacle es generen a través de l'ús de maquinària pesada i equipaments (camions, grues, excavadores, etc.) que consumeixen combustibles derivats del petroli. També es generen emissions de gasos d'efecte hivernacle per produir la energia elèctrica que es consumeix a l'obra si aquesta no prové de fonts d'energia renovable.

En la fase d'ús dels edificis, les emissions de gasos d'efecte hivernacle es produeixen principalment per l'ús de sistemes de calefacció i aire condicionat per mantenir els habitatges a una temperatura confortable. A més de les emissions de gasos d'efecte hivernacle generades en aquestes dues fases, també s'ha de tenir en compte que els materials que s'utilitzen per a la construcció d'edificis poden portar emissions incorporades (*embodied carbon* en anglès), que es generen en el moment de la seva extracció i/o producció. Actualment, ja existeixen bancs de materials que descriuen les emissions incorporades pels materials utilitzats a l'obra, però aquesta informació no acostuma a estar inclosa en les memòries del projectes d'obra.

Segons els experts consultats, l'ús de sistemes de construcció industrialitzada pot contribuir d'una forma important a la reducció de les emissions d'emissions d'efecte hivernacle. En primer lloc, per la possibilitat d'utilitzar materials innovadors amb menys emissions incorporades. I en segon lloc, degut a la millora de l'eficiència energètica dels edificis derivada de l'ús de solucions innovadores d'aïllament tèrmic i ventilació eficient.

En aquest projecte constructiu, no hem pogut quantificar les emissions del procés constructiu per no disposar de dades al respecte. Tot i això, proposem alguns indicadors que podrien utilitzar-se per mesurar aquesta dimensió:

- Tones mètriques equivalents de CO₂ generades durant el procés de construcció.
- Tones de CO₂eq emeses per cada € d'ingressos nets o m² construït.

Consum i reciclatge dels materials (Economia circular)

Diversos estudis coincideixen en destacar que l'aplicació de sistemes de construcció industrialitzada contribueix a millorar l'eficiència en l'ús de materials, i millora la seva reciclabilitat al final de la seva vida útil.

A dia d'avui, és difícil poder quantificar la reducció del consum de materials derivat del procés de construcció industrialitzada respecte a la construcció convencional. Per poder realitzar aquesta comparativa, caldria disposar de l'escandall de materials en cadascuna de les modalitats de construcció, per tal de conèixer les quantitats de

5 El pressupost preveu l'ús d'un total de 1.713,66 contenidors de runa de 6 m³

materials consumides, i calcular l'estalvi que suposa l'aplicació de sistema d'industrialització. Amb aquesta informació també es podria analitzar la reciclabilitat dels materials un cop finalitzada la seva vida útil.

No hem pogut disposar d'aquesta informació per aquest projecte.

Consum i gestió d'energia

Aquest projecte incorpora dues partides relacionades amb el consum i la gestió d'energia. Són:

- a. Provisional d'obra d'electricitat. Aquesta partida correspon a la instal·lació del sistema provisional d'infraestructures perquè l'obra pugui disposar d'energia elèctrica. No es preveu que estigui afectada per la industrialització, donat que es tracta d'una instal·lació necessària.
- b. Consum elèctric. Aquesta partida incorpora el consum d'electricitat durant el procés constructiu.

La industrialització d'una part del procés de la construcció tindria un impacte positiu en el consum i gestió d'energia.

En primer lloc, per una possible reducció del consum d'energia a l'obra. Tot i que, possiblement, aquesta reducció es veuria compensada per un increment del consum d'energia en la procés industrial de fabricació dels elements d'obra. En segon lloc, per l'ús de fonts de producció d'energia renovable, que són més fàcils d'implementar en un entorn industrial, que en una obra tradicional.

El pressupost de despeses generals del projecte analitzat inclou una partida de consum elèctric de 7.500 Eur. Els experts consultats coincideixen en apuntar que traslladar una part del procés constructiu a un entorn industrial, contribueix a la millora l'eficiència en el consum energètic, i com a conseqüència, es pot generar un estalvi de fins a un 45% en el consum d'energia a l'obra.

Tot i això, no es disposa de prou informació per poder quantificar l'estalvi net d'energia, donat que no tenim dades del consum d'energia derivat de la fabricació dels elements d'obra prefabricats.

Finalment, es proposen alguns indicadors que podrien utilitzar-se per mesurar aquesta dimensió:

- a. Consum d'energia total (MWh d'energia consumida)
- b. Consum d'energia de fonts renovables ((MWh d'energia consumida)

6.5.2. Principals impactes en la dimensió social

En la dimensió social, l'aplicació de sistemes de construcció industrialitzada pot generar impactes favorables en diferents aspectes, com per exemple, l'atracció de talent, les condicions laborals de les persones treballadores, la seguretat laboral, o la contaminació acústica en l'entorn de l'obra, entre d'altres. Tot i que la literatura revisada i els experts consultats, coincideixen en apuntar aquests impactes favorables, no existeixen dades disponibles del projecte constructiu que permetin quantificar-los. Tampoc no hem pogut trobar informació que permeti estimar les millores que genera l'aplicació de sistemes de construcció industrialitzada en aquests àmbits.

A continuació, analitzarem els principals impactes en la dimensió social projecte estudiat, i plantejarem alguns indicadors que permetrien quantificar els impactes favorables de l'aplicació de sistemes de construcció industrialitzada.

Salut i seguretat

La realització d'una part important del procés de construcció d'un edifici en una fàbrica permet millorar les condicions de salut i seguretat de les persones treballadores. Aquestes persones passen de treballar en un espai a l'aire lliure, amb un ús limitat de maquinària i equipaments, a un espai interior més controlat, en el que poden disposar de maquinària i equipaments que faciliten la seva feina.

Aquest canvi en l'entorn de treball té múltiples impactes en les persones treballadores. Un possible impacte és la millora en la confortabilitat de les condicions de treball, i com a conseqüència, una millora en la salut de les persones treballadores. Un altre possible impacte és la reducció de la perillositat de l'activitat que realitzen, i com a conseqüència, una disminució de l'accidentabilitat en el lloc de treball.

A continuació, es proposen alguns indicadors que permetrien mesurar i quantificar les millores esmentades anteriorment:

- a. Nombre d'incidents associats amb accidents o malalties laborals (mensuals, anuals, etc.).
- b. Temps perdut per lesions relacionades amb la feina, malalties, etc. (Percentatge de temps perdut sobre temps total de treball).

Diversitat, igualtat d'oportunitats i formació

El sector de la construcció es caracteritza per un desequilibri important en el gènere de les persones que hi treballen. Les condicions laborals en l'entorn de treball dificulten que les dones puguin treballar-hi. També es caracteritza per donar feina a treballadors amb un nivell de formació baix, ja que la majoria de feines són de tipus manual.

En aquest sentit, la construcció industrialitzada permet traslladar una part del procés de construcció en un entorn industrial, on les condicions físiques de les persones treballadores no tenen tanta importància, ja que es disposa de maquinària i equipaments que realitzen una bona part de les feines, que s'executen manualment a l'obra. Per tant, la construcció industrialitzada obre la porta a la contractació de dones en el sector de la construcció.

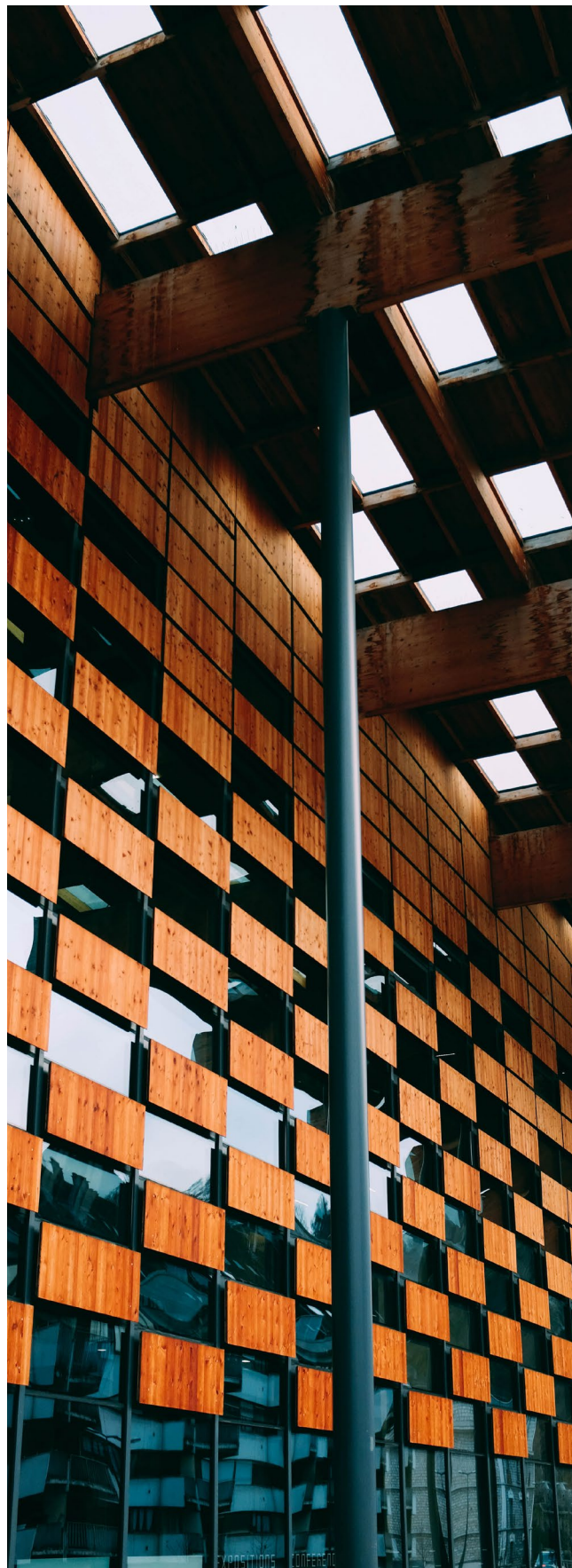
La reducció de les feines manuals a la fàbrica, i l'ús de maquinària i equipaments tecnològicament avançats, promouen la contractació de perfils amb un nivell de formació més elevat.

A continuació, es proposen alguns indicadors que permetrien mesurar i quantificar les millores esmentades anteriorment:

- a. Nombre de persones treballadores (segmentats per gènere i edat).
- b. Diferència salarial entre treballadors homes i dones.
- c. Nombre d'hores de formació per empleat (segmentats per categoria i gènere).

Contaminació acústica, qualitat de l'aire, i altres impactes a l'entorn de l'obra

Els sistemes de construcció convencionals realitzen la totalitat dels processos d'edificació en el lloc on es troba ubicat l'edifici. Això suposa un constant moviment de materials transportats per vehicles, maquinària pesada que realitza treballs a l'obra, o professionals de diferents àrees d'especialització que treballen a l'obra, i s'hi desplacen en vehicles també. Algunes de les conseqüències d'aquest moviment constant a l'entorn de l'obra són l'augment del soroll o contaminació acústica, l'empitjorament de la qualitat de l'aire, o de la mobilitat en l'àrea propera a l'obra. Per tant, la possibilitat de traslladar una part del procés d'edificació a una fàbrica permet reduir el termini d'execució de l'obra, i com a conseqüència, permet reduir el temps que les persones que viuen a prop de l'obra estan exposades a aquest tipus de molèsties.



7. Conclusions i recomanacions

L'aplicació de sistemes de construcció industrialitzada en els projectes d'edificació d'habitatges es troba en plena fase de desenvolupament en el territori espanyol. Existeixen diverses solucions que ja s'estan aplicant en l'actualitat, sobretot centrades en la producció fora de l'obra (*off-site*) de panells o mòduls de l'estructura dels edificis. També s'estan utilitzant altres solucions que permeten produir i instal·lar altres elements de l'edifici com són els balcons, les xemeneies, o els banys, entre d'altres.

Tot i aquestes experiències pràctiques, hi ha molt pocs estudis que permetin quantificar els impactes econòmics, i en l'àmbit de la sostenibilitat, de l'ús de solucions de construcció industrialitzada en la construcció d'edificis d'habitatges. L'objectiu d'aquest estudi ha estat, precisament, la quantificació dels impactes econòmics, ambientals i socials de l'aplicació de sistemes de construcció industrialitzada, per tal de determinar i quantificar els estalvis de costos en l'execució i promoció de l'obra, la reducció dels impactes mediambientals derivats del procés de construcció de l'edifici, i la millora de les condicions dels treballadors i de les persones que formen part de les comunitats afectades pel projecte.

En aquest sentit, hem utilitzat la metodologia del cas d'estudi, per tal d'analitzar els impactes esmentats anteriorment en un projecte real d'edificació de 70 habitatges. A partir de les dades del projecte, la realització d'entrevistes amb experts, i la revisió d'estudis anteriors sobre aquesta temàtica, hem pogut realitzar una anàlisi comparativa entre la realització d'aquest projecte utilitzant sistemes de construcció convencionals i industrialitzats. A continuació, s'expliquen les conclusions principals.

7.1. Conclusions en relació a l'impacte econòmic

El present cas d'estudi senyala les potencialitats de la construcció industrialitzada per millorar l'eficiència econòmica de l'actual procés de construcció. L'objectiu del cas d'estudi ha estat conèixer l'abast econòmic dels impactes que té la construcció industrialitzada respecte la construcció tradicional. El cas planteja la traducció econòmica d'impactes vinculats amb factors com la reducció del termini, la menor necessitat de mà d'obra, la reducció dels residus, o la millora de la qualitat, entre d'altres.

El cas ens exposa que dels diferents factors d'impacte que s'assenyala que té la construcció industrialitzada, el que pot tenir un impacte veritablement determinant a nivell econòmic és la reducció del temps.

El principal impacte de la construcció industrialitzada és en les despeses indirectes, que corresponen a les despeses generals de la constructora. En aquestes despeses, l'impacte d'estalvi potencial estimat és del 32%. Mentre que a les despeses del PEM (costos directes), s'estima que el potencial d'estalvi és del voltant de l'1%. Aquests impactes, en el seu conjunt es calcula que poden suposar un estalvi d'entre 2,6 – 2,7 % del PEC, i per tant, de les despeses constructives que assumeix la promotora.

En el cas de les despeses financeres, s'ha fet una simplificació per al present cas d'estudi sobre l'import a finançar i s'ha considerat que es finançava el 80% de la despesa de contractació de la constructora. Tot i això, s'ha observat l'impacte rellevant que té la reducció de terminis en el cost financer, suposant un estalvi del 30% en interessos.

S'estima que el cost constructiu d'aquest projecte és de 962€/m² amb construcció tradicional, mentre que en construcció industrialitzada pot assolir els 936€/m². Això suposa un diferencial del 2,7%. Tot i això, si tenim en compte el cost global considerant el cost financer la diferència esdevé entre 982€/m² i 950€/m², i per tant d'un diferencial del 3,3%, que és l'estalvi que s'estima que la promotora pot arribar a assolir si considerem els estalvis tant en les despeses de construcció com financeres.

Cal tenir en compte, que en conjunt s'han fet estimacions prudentes per tal de no sobrevalorar els potencials estalvis. El cas d'estudi no té en compte altres aspectes que poden ser rellevants però difícils de calcular, com per exemple:

- La reducció del termini de la inversió de la promotora des de l'adquisició del sòl i la consegüent major rotació d'actius que poden multiplicar la seva capacitat inversora i el número de projectes a desenvolupar,
- Els guanys de productivitat de la constructora que poden fer augmentar la capacitat del nombre de projectes anuals i els consegüents guanys econòmics,
- La reducció del termini de lliurament dels edificis comporta un major rendiment per l'inversor ja que pot posar els habitatges abans en lloguer, i també pel comprador que pot disposar abans de l'habitatge.
- El potencial de tenir préstecs en millors condicions fruit

- de la major facilitat a complir criteris de sostenibilitat, o
- L'impacte de la millora de l'entorn laboral dels projectes constructius que poden afectar l'atracció de mà d'obra i la solució del repte del talent que limita el desenvolupament de projectes constructius.

El potencial estalvi s'ha quantificat al voltant del 3%, tot i això, cal considerar que d'acord amb la situació que viu el sector en relació l'edat mitjana i la previsió de jubilació de professionals, si no es produeix una (improbable) substitució de la mà d'obra que es jubila per relleu generacional, la manca de mà d'obra pot arribar a fer inviable la construcció tradicional i situar la industrialització com a única alternativa viable.

7.2. Conclusions en relació als impactes mediambiental i social

Aquest estudi també tenia com a objectiu identificar i quantificar els principals impactes de la construcció industrialitzada en el medi ambient i la societat. En aquest sentit, existeix una manca important d'informació i dades sobre aspectes mediambientals com les emissions de gasos d'efectes hivernacle fruit del procés de construcció de l'edifici, el consum i reciclatge de materials, o la generació i gestió de residus, entre d'altres. També és complicat disposar d'informació i dades sobre aspectes socials com la salut i seguretat de les persones que treballen a l'obra, o la contaminació acústica generada pels treballs realitzats.

Respecte a l'àmbit mediambiental, hem identificat i quantificat possibles impactes en el consum i gestió de recursos hídrics i en la generació i reciclatge de residus.

En el cas del consum i gestió de recursos hídrics, existeix un clar consens que l'ús de solucions de construcció industrialitzada permet reduir el consum d'aigua a l'obra entre un 20 i 45%. En el cas d'estudi analitzat, suposaria una reducció d'entre 231,5 i 520,9 m³ d'aigua.

La generació de residus d'obra és una externalitat negativa important dels projectes de construcció d'edificis, no només per la generació de residus pròpiament, sinó perquè aquests residus s'han de transportar fins a un abocador de residus. Per tant, l'impacte generat és doblement negatiu. **En el cas d'estudi analitzat, l'aplicació de la construcció industrialitzada permetria reduir la generació de residus total a la meitat, passant de 30.845,88 a 15.422,94 m³. I si tenim en compte només les fases del procés de**

construcció en les que s'apliquen, principalment, les solucions de construcció industrialitzada (estructura i arquitectura), la generació de residus es redueix en un 75%.

Aquesta reducció en la generació de residus també implicaria una reducció en el cost directe de l'obra com s'explica en l'apartat anterior.

A més dels aspectes anteriors, l'aplicació de la construcció industrialitzada també pot tenir un impacte positiu en les emissions de gasos d'efecte hivernacle, en el consum i reciclatge de materials, i en el consum i gestió d'energia.

Respecte a les emissions de CO₂, els experts consideren que la prefabricació dels components off-site poden reduir entre un 40 i 60% les emissions derivades de la construcció dels edificis. Tot i això, també avisen que l'ús de materials altament contaminants com el formigó dificulten la millora de la petjada de carboni.

A dia d'avui, és difícil poder quantificar la reducció del consum de materials derivat del procés de construcció industrialitzada respecte a la construcció convencional. Alguns estudis parlen d'una reducció del consum de materials del voltant del 35% en projectes que han aplicat solucions de construcció industrialitzada. I també apunten que el 90% dels materials consumits en aquest tipus de solucions són reciclables al final de la seva vida útil.

Respecte al consum i gestió de l'energia, considerem que els estalvis més importants es produeixen en la fase posterior a la construcció de l'edifici, i són derivats de la millora en l'eficiència energètica dels mateixos. Per aquest motiu, no s'ha inclòs en els càlculs dels impactes mediambientals en el procés d'edificació.

En l'àmbit social destaquen els impactes de la construcció industrialitzada sobre les persones treballadores i les comunitats entorn de l'obra. **Pel que fa a les persones treballadores, el traspàs d'una part important del procés constructiu a una fàbrica suposa una millora considerable de les condicions de confort i seguretat laboral.** Els experts coincideixen en que aquesta millora en les condicions laborals pot tenir efectes positius en la salut de les persones treballadores, i disminuir els nivells d'accidentabilitat del sector.

La construcció industrialitzada també contribueix a millorar els nivells de diversitat de gènere i d'igualtat d'oportunitats en el sector de la construcció que, històricament, ha estat un sector en el que només

han treballat els homes. A més, també contribueix a la contractació de persones treballadors amb uns nivells de formació i amb un nivell retributiu més elevats.

Finalment, la realització d'una part important dels processos constructius en un entorn fabril, permet reduir el termini de finalització de l'obra, i les activitats que es realitzen *in situ*. Com a conseqüència, els redueixen les molèsties sobre les persones que viuen o treballen a prop de l'obra.

Per tal d'ajudar a completar la recollida d'informació i dades per quantificar els aspectes mediambientals i socials esmentats anteriorment, hem proposat una llista d'indicadors que s'inclouen en la taula següent:

Figura 18. Llista d'indicadors dels factors clau de sostenibilitat

Àmbits	Indicadors
Generació i reciclatge de residus	- % de residus recuperats sobre el total de residus generats
Emissions de gasos d'efecte hivernacle	- Tones mètriques equivalents de CO ₂ generades durant el procés de construcció. - Tones de CO ₂ eq emeses per cada € d'ingressos nets o m ² construït.
Consum i gestió d'energia	- Consum d'energia total (MWh d'energia consumida) - Consum d'energia de fonts renovables ((MWh d'energia consumida)
Salut i seguretat	- Nombre d'incidents associats amb accidents o malalties laborals (mensuals, anuals, etc.). - Temps perdut per lesions relacionades amb la feina, malalties, etc. (Percentatge de temps perdut sobre temps total de treball).
Diversitat, igualtat d'oportunitats i formació	- Nombre de persones treballadores (segmentats per gènere i edat). - Diferència salarial entre treballadors homes i dones. - Nombre d'hores de formació per empleat (segmentats per categoria i gènere).
Contaminació acústica, qualitat de l'aire, i altres impactes a l'entorn de l'obra	- Nivell de contaminació acústica al voltant de l'obra. - Concentració de partícules contaminants al voltant de l'obra. - Nombre de moviments de vehicles vinculats a l'obra.

Font: Pròpia

Possibles recomanacions

En base als resultats obtinguts i als principals reptes de l'aplicació dels sistemes de construcció industrialitzada en la construcció d'edificis d'habitatges, incloem diverses recomanacions que creiem que podrien servir per augmentar l'ús d'aquest tipus de sistemes de construcció innovadors.

a. Adaptació dels sistemes de finançament per a projectes de construcció industrialitzats.

Un dels principals desafiaments de la construcció industrialitzada és l'adaptació dels sistemes de finançament a aquest nou model de construcció. Actualment, la majoria d'entitats financeres i organismes de certificació continuen operant en base als esquemes de construcció tradicional, en els que les disposicions de capital s'acostumen a realitzar conforme avança l'obra, en funció de fites de construcció visibles i verificables *in situ*.

És necessari adaptar aquest sistema de finançament a la naturalesa de la construcció industrialitzada, en la que una gran part del procés es realitza en una fàbrica abans de la seva col·locació a l'obra, la qual cosa complica la validació dels avançaments per part de les entitats financeres i organismes d'acreditació.

b. Simplificació dels processos administratius per aplicar sistemes de construcció industrialitzada a l'obra.

Alguns promotors assenyalen que els procediments administratius per validar elements prefabricats són més complexos que els aplicats a les construccions convencionals, tot i que els processos industrialitzats permeten un millor control de qualitat a fàbrica. Per tal de facilitar l'aplicació de sistemes de construcció industrialitzada és necessari millorar els sistemes de certificació dels components prefabricats, i simplificar els processos administratius perquè les empreses de promoció tinguin més incentius per utilitzar aquest tipus de solucions.

c. "Introduir una puntuació addicional a les empreses promotores, que apliquin solucions de construcció industrialitzada en concursos d'habitatge assequible, promogut pel sector públic".

Els resultats obtinguts demostren que la construcció industrialitzada permet reduir considerablement els terminis de construcció i entrega de projectes de construcció d'habitatges. Aquest és un avantatge molt important si tenim en compte que existeix una necessitat d'oferta de nous habitatges a preus assequibles, i que les administracions públiques estan fent un esforç molt important per construir nous habitatges per col·lectius desfavorits en règim de lloguer assequible.

A més, també existeix un consens generalitzat que l'ús de solucions de construcció industrialitzada genera impactes mediambientals i socials positius, com per exemple, la disminució de la generació de

residus d'obra, la reducció de la petjada de carboni i hídrica en la fase de construcció, o la millora de les condicions laborals i de salut i seguretat de les persones treballadores, entre altres.

Per aquests motius, creiem que seria necessari que les administracions públiques afegeixin clàusules en les licitacions d'obres que obliguin, o incentivin, a les empreses promotores a aplicar sistemes de solucions de construcció industrialitzada.

d. Millorar els sistemes de recollida d'informació i dades relacionades amb els àmbits mediambiental i social.

Un desafiament molt important amb el que es troba el sector constructor consisteix en mesurar els aspectes crítics dels projectes d'edificació vinculats a la sostenibilitat. En l'actualitat, encara resulta molt complicat poder recollir informació mediambiental a nivell de projecte d'edificació, com per exemple, les emissions de CO₂ generades en el procés de construcció, la generació i reciclatge de residus, o el consum d'energia i aigua, entre d'altres valors. També és gairebé inexistent la informació i les dades sobre aspectes socials relacionats amb la salut i seguretat de les persones treballadores, la diversitat, igualtat d'oportunitats i inclusió laboral, o la contaminació acústica i la contaminació de l'aire a l'entorn de l'obra, entre d'altres.

En aquest sentit, creiem que seria necessari establir una llista reduïda d'indicadors que s'haguessin d'incloure a la memòria tècnica del projecte d'edificació, i que fessin referència als aspectes crítics en matèria de sostenibilitat. Aquests indicadors es podrien extreure de la taula que hem inclòs en l'apartat de conclusions, i d'altres marcs de referència inclosos a l'estudi "Quadre de Comandament Integral Sostenible pel sector immobiliari", realitzat per Bastida i Verdugo (2023).

e. Estandardització dels edificis per incrementar la repetibilitat en el disseny i fabricació dels mòduls i altres components de l'edifici.

Diversos experts entrevistats, coincideixen en què un factor clau perquè les empreses de construcció industrialitzada inverteixin en noves tecnologies, per aconseguir que aquests tipus de sistemes de construcció sigui menys costosos i més eficients, consisteix en augmentar el volum de comandes de cadascun dels components prefabricats. Per aconseguir-ho és important que les empreses de promoció i els despatxos d'arquitectes disposin de programes de software i d'inventaris de components

prefabricats que poden utilitzar en els seus projectes de construcció d'edificis.

També permetria la creació de HUB's de construcció, en els territoris on hi hagi demanda suficient, la qual cosa contribuiria encara més a una millora de la productivitat i eficiència en el sector.

f. Introduir incentius fiscals per projectes constructius que utilitzin sistemes de construcció industrialitzada.

La introducció d'incentius fiscals per als projectes que utilitzin sistemes de construcció industrialitzada és clau per accelerar la transició cap a un sector més eficient i sostenible. Aquests incentius, aplicats a taxes i impostos, com les taxes de llicències d'obra o l'AJD, poden fomentar la inversió en tecnologies innovadores, reduir costos per als promotors i incentivar pràctiques constructives amb menor impacte ambiental. A més, contribuirien a millorar la productivitat, reduir els terminis d'execució i potenciar la industrialització com a eina per abordar el dèficit d'habitatge de manera més ràpida i eficient.

g. Creació de HUBs especialitzats en construcció industrialitzada.

L'optimització del sistema de construcció industrialitzada s'aconseguirà, amb el temps, mitjançant HUBs d'industrialització pròxims als grans centres de producció d'habitatges, on existeixi una demanda prou contínua. Possiblement, prop de les grans ciutats. Això permetrà una substancial reducció de costos, en disposar d'un número important dels proveïdors industrials, de manera pròxima. Això, com en altres sectors (automòbil, farmacèutic, etc.), permetrà optimitzar l'eficiència econòmica i mediambiental (logística, coordinació, estocs, etc.).

8. Bibliografia

Aedas Homes (2021), *VIVIENDA INDUSTRIALIZADA SOSTENIBLE*, <https://offsite.aedashomes.com/wp-content/uploads/2021/02/Informe-de-vivienda-industrializada-2020.pdf>

Bastida, R. i Verdugo, P. (2024). *Quadre de Comandament Integral Sostenible pel sector immobiliari*. Càtedra d'Habitatge Digne i Sostenible UPF-BSM, <https://www.bsm.upf.edu/documents/2024-upf-bsm-quadre-comandament-integral-sostenible-sector-immobiliari-ca.pdf>

Bernat, S. i Bernat, J. (2022) El precio de la vivienda, el coste de construcción y el valor del suelo. Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya – ITeC. https://itec.cat/wp-content/uploads/2022/06/ArticleCostosConstruccio_CAST_compressed.pdf

De Wolf C., Pomponi F., Moncaster A. (2017), *Measuring embodied carbon dioxide equivalent of buildings: A review and critique of current industry practice*, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.01.075>

Faghirinejadfard, A., Mahdiyar, A., Marsono, A. K., Mohandes, S. R., Omrany, H., Tabatabaee, S., & Tap, M. M. (2016). Economic comparison of industrialized building system and conventional construction system using building information modeling. *Journal Teknologi*, 78(1).

Jansen van Vuuren, T., & Middleton, C. (2020). *Methodology for quantifying the benefits of offsite construction.*, <https://orcid.org/0000-0002-9672-0680>

McKinsey & Company (2024), *Delivering on construction productivity is no longer optional*, <https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/delivering-on-construction-productivity-is-no-longer-optional>

Ministry of Housing, Communities & Local Government of the UK Government (2019), *Modern Methods of Construction working group: developing a definition framework*, https://www.cast-consultancy.com/wp-content/uploads/2019/03/MMC-I-Pad-base_GOVUK-FINAL_SECURE.pdf

OCH - Asociación Española de Construcción Industrializada (2023). *Guía de la construcción industrializada*, https://www.aeci.info/cms/files/OCH_Guia_Construccion_Industrializada_TOC.pdf

Ofori-Kuragu, J. K., & Osei-Kyei, R. (2021). *Mainstreaming pre-manufactured offsite processes in construction—are we nearly there?* *Construction Innovation*, 21(4), 743–760.

Rahman, M. M. (2014). Barriers of implementing modern methods of construction. *Journal of management in engineering*, , 69-77.

Rocha, P. F., Ferreira, N. O., Pimenta, F., & Pereira, N. B. (2023). *Impacts of prefabrication in the building construction industry*. *Encyclopedia*, 3(1), 28–45. <https://doi.org/10.3390/encyclopedia3010003>

Salah M., Elmasry M, Mashhour I., Amer N. (2023), *A framework for assessing sustainability of construction projects*, <https://doi.org/10.1016/j.clet.2023.100626>

Sotorrió Ortega, G., Cobo Escamilla, A., & Tenorio Ríos, J. A. (2023). *Industrialized construction and sustainability: A comprehensive literature review*. *Buildings*, 13(11), 2861. <https://doi.org/10.3390/buildings13112861>

Wu, Z., Luo, L., Li, H., Wang, Y., Bi, G., & Antwi-Afari, M. F. (2021). *An analysis on promoting prefabrication implementation in construction industry towards sustainability*. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(21), 11493. <https://doi.org/10.3390/ijerph182111493>

9. Annexos

Glossari

Els principals conceptes clau de la construcció industrialitzada són:

Prefabricació offsite

Producció de components de construcció en una fàbrica o taller fora del lloc d'obra, sota condicions controlades, amb transport posterior per al muntatge in situ.

Building Information Modeling (BIM)

El BIM crea una representació digital de l'edifici i permet a tots els equips treballar en un mateix model, des de la fase de disseny fins a l'assemblatge i el manteniment. Això millora la col·laboració, evita errors i facilita el control de qualitat, ja que els components es poden provar en simulacions abans de la fabricació.

Processament Digital i Fabricació Assistida per Computadora (CAD/CAM)

Ús de programari per dissenyar (CAD) i fabricar (CAM) components de construcció de forma precisa i personalitzada.

Estandardització i Control de Qualitat

La construcció industrialitzada es basa en la producció de components estandarditzats que segueixen especificacions rigoroses. Aquesta estandardització permet una major consistència en la qualitat del producte final i redueix la variabilitat, fet que resulta en edificis de qualitat uniforme i amb menor necessitat de reprocessaments. En fabricar en un entorn controlat, els components estan menys exposats a les inclemències del temps i altres factors que poden afectar la qualitat.

Disseny per a la Fabricació i el Muntatge (DfMA)

El DfMA és un enfocament que optimitza els components per a la seva fabricació i muntatge. Aquest procés de disseny busca minimitzar la complexitat dels elements, permetent que siguin fabricats de forma eficient i muntats ràpidament a l'obra. Aquesta estratègia redueix costos de producció, evita problemes estructurals i simplifica la instal·lació.

Automatització i Robòtica

L'ús de maquinària automatitzada i robòtica en la fabricació de components industrialitzats incrementa la precisió i l'eficiència. En eliminar la dependència d'algunes tasques manuals, es redueix el temps d'execució i el risc d'errors, aconseguint un procés més ràpid i amb un menor cost laboral en la producció de components.

Lean Construction

Filosofia de gestió aplicada a la construcció per optimitzar recursos, eliminar residus i millorar l'eficiència en totes les fases del projecte.

Edificis Reversibles i Desmuntables

Concepte d'edificis dissenyats perquè es puguin desmuntar i reutilitzar en el futur, permetent la recuperació de materials i components.

Model de Projecte Integrat (IPD)

Estratègia contractual que promou la col·laboració entre tots els agents del projecte, incloent dissenyadors, fabricants i constructors, per optimitzar els resultats.

Mètodes Moderns de Construcció (MMC)

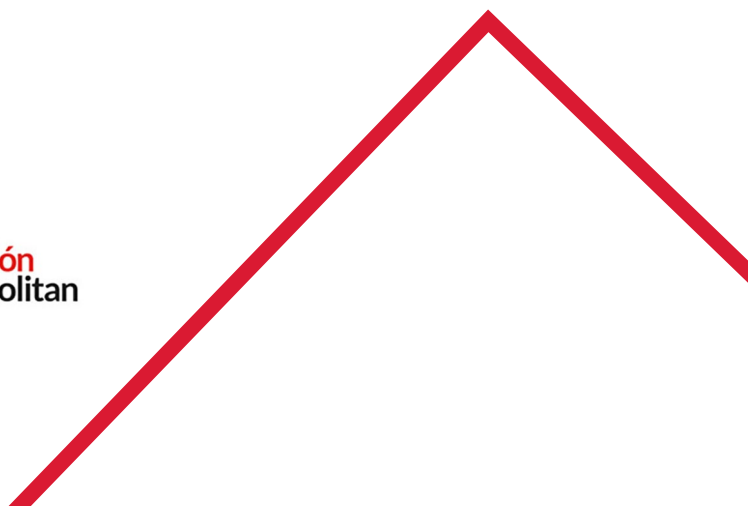
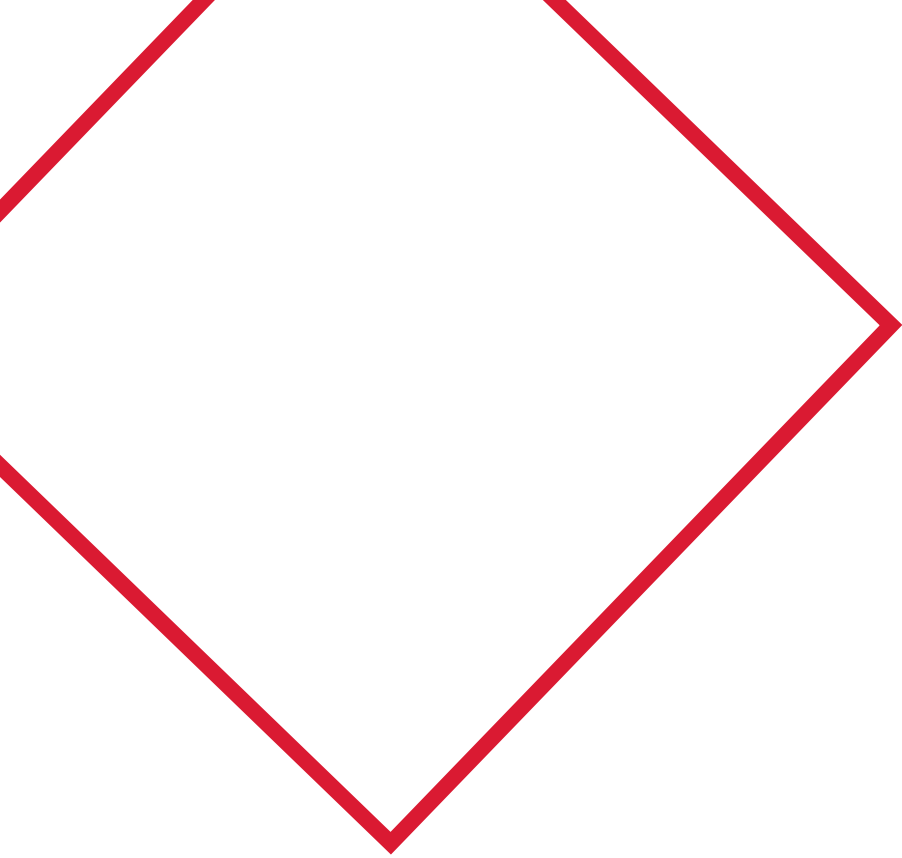
Concepte que abasta els diferents sistemes i tecnologies a partir dels quals s'aplica la construcció industrialitzada en un projecte.

Els mètodes moderns de construcció es poden classificar en diverses categories:

- **Mòduls estructurals 3D:** Es refereix a aquells sistemes basats en la fabricació d'unitats volumètriques tridimensionals. Es coneixen també com a construcció modular. Aquests mòduls poden incloure des d'estructures bàsiques fins a mòduls complets, llestos per ser instal·lats directament a l'obra.
- **Components estructurals 2D:** Es refereix a elements plans, com murs, sostres o façanes, que es fabriquen fora del lloc d'obra i es transporten per ser muntats. Aquests components tenen capacitat estructural i el seu assemblatge a l'obra genera estructures tridimensionals. Els panells 2D poden tenir una elevada definició i incloure aïllaments, tancaments, i acabats interiors o exteriors.
- **Prefabricació de components primaris estructurals:** Inclou components lineals individuals com bigues, columnes, i altres elements estructurals que no formen un sistema complet, però que es complementen amb altres elements estructurals al lloc d'obra.
- **Components prefabricats no estructurals:** Components que no formen part de l'estructura principal de l'edifici. Poden ser components volumètrics 3D com lavabos, cuines i equipaments d'instal·lacions; o components en panells 2D com façanes, cobertes, components de distribució d'equipaments, components de compartimentació, conjunt de portes, etc.

- **Productes substitutius tradicionals:** Materials i components de construcció que, tot i no formar part d'un sistema prefabricat integral, han estat dissenyats per simplificar i agilitzar el procés de construcció en comparació amb els materials tradicionals (ex. panells de guix laminat – *pladur*).
- **Processos substitutius tradicionals:** Es tracta de mètodes innovadors aplicats directament en obra, com l'ús de realitat augmentada, tecnologia BIM o maquinària autònoma per millorar l'eficiència i precisió dels processos in situ.





Amb la col·laboració de:

