



RAPORT 1

TASK O1-A2

Metode și tehnologii de construcții sustenabile utilizate în conceptele Economiei Circulare



This project has been funded with support from the European Commission.

This publication reflects the views only of the author, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).





INTRODUCERE

Acest raport este inclus în sarcina de lucru "O1-A2. *Metode și tehnologii de construcție sustenabile utilizate în conceptele economiei circulare*", care corespunde Raportului 1 "Stabilirea rezultatelor comune ale învățării bazate pe criterii de economie circulară, evaluarea ciclului de viață (LCA - Life Cycle Assessment) și reglementările aferente" din cadrul proiectului CircularBIM.

Acest raport este rezultatul unei analize a metodelor, aptitudinilor și competențelor legate de produsele din domeniul construcției. Au fost evaluate diferite metode de realizare și execuție aplicate în industria construcțiilor pentru a prelungi durata de viață a acestor produse prin folosirea celor mai sustenabile metode.

A fost elaborat un raport de bune practici cu scopul de a transfera metodologiile și strategiile pedagogice de succes pentru a îmbunătăți sistemul de învățare.

Au fost luate în considerare metodele de mediu și ultimele cercetări în domeniul materialelor de construcție pentru aplicarea lor în proiecte nZEB (net-Zero Energy Building) sau utilizarea de noi tehnologii.

Toate informațiile despre proiect, precum și documentația tehnică sunt disponibile la următoarea adresă:

- CircularBIM project web: www.circularbim.eu



CUPRINS

1. INTRODUCERE.....	4
2. METODOLOGIE	7
2.1 Aplicarea metodologiei Arditec	8
2.1.1 Structura costurilor	8
2.1.2 Model de calcul de mediu.....	9
2.2. Soluții constructive.....	14
3. DISCUTAREA REZULTATELOR.....	17
4. CONCLUZII.....	20
5. REFERINȚE.....	21



1. INTRODUCERE

Având în vedere problema din ce în ce mai mare a încălzirii globale, este necesar să se studieze eficiența resurselor, care în sectorul construcțiilor începe prin a acționa asupra reducerii deșeurilor de construcție și demolare. Pentru aceasta este necesar să se anticipeze momentul în care sunt concepute proiectele, în care utilizarea noilor tehnologii va ajuta la implementarea criteriilor de optimizare a resurselor bazate pe conceptul de economie circulară.

Deși nu există un sistem exclusiv de indicatori pentru evaluarea circularității în sectorul construcțiilor, paragraful anterior indică deja faptul că soluția constă în îmbunătățirea eficienței resurselor, iar reducerea și gestionarea corectă a deșeurilor din construcții și demolări reprezintă cheia pentru atingerea acestui obiectiv. În prezent, doar 40,9 % din deșeurile declarate sunt valorificate, în condițiile în care obiectivul stabilit la nivelul UE pentru 2020 era de 70 %. În acest sens, se estimează că 24 % se află în depozitele de deșeurii, iar 30 % reprezintă încă depozite necontrolate (Spanish_CDW_Recycling_Association, 2017). Aceste date arată scenariul în care ne aflăm și asupra căruia trebuie să se acționeze pentru a realiza dezvoltarea sectorului construcțiilor în cadrul economiei circulare.

Creșterea continuă a gradului de conștientizare și a culturii de protejare a mediului de către societate, alături de creșterea exigențelor de reglementare, face ca momentul să fie ideal pentru implementarea calculului amprentei de carbon, precum și a energiei încorporate în sectorul construcțiilor, deoarece, din punct de vedere statistic, acest sector este responsabil pentru aproximativ 50% din consumul de resurse naturale utilizate, 40% din energia consumată (inclusiv energia în uz), 50% din totalul deșeurilor generate și între 35-40% din totalul emisiilor de CO₂ echivalent, din care 10% sunt produse în timpul proceselor de construcție și demolare și alte 5% în cadrul sarcinilor de întreținere (UNEP, 2018).

Noua directivă europeană privind eficiența energetică a clădirilor își înăsprește obiectivele în vederea eliminării consumului de energie fosilă din fondul locativ până în 2050 (Camporealle și Mercader-Moyano, 2019). În acest scop, ea stabilește ca esențială reabilitarea energetică a fondului de clădiri existente, cu o rată medie anuală de reabilitare de 3% care trebuie acoperită. Printre cele propuse de directivă, există câteva propuneri inovatoare în direcția digitalizării sistemelor energetice ca oportunitate de economisire a energiei în timpul utilizării (Directiva_2018/844/UE, 2018) între alte acțiuni precum propunerea eco-eficientă în reabilitarea pentru locuințele sociale.

Cele mai recente date ale Comisiei Europene cu privire la economia circulară afirmă că evitarea producerii de deșeurii, promovarea designului ecologic, precum și reutilizarea deșeurilor vor oferi companiilor din UE economii de aproximativ 8 % din cifra de afaceri anuală și o reducere anuală a emisiilor de gaze cu efect de seră între 2 și 4 % (COMISIA EUROPEANĂ, 2019).



În acest sens, LCA (evaluarea ciclului de viață) evaluează sarcinile de protecție a mediului pe parcursul ciclului de viață a unui produs sau serviciu. Organizația Internațională de Standardizare (ISO) a creat subcomitetul SC 5 cu scopul de a elabora standarde internaționale pentru a reglementa metodologia de calcul a indicatorilor universali de mediu. Studiul ciclului complet include etapele de extracție și prelucrare a materiilor prime, producție, transport și distribuție, utilizare, reutilizare și întreținere, reciclare și eliminare finală.

Studiile LCA sunt conforme cu următoarele standarde: UNE-ISO 14040 Managementul mediului. Analiza ciclului de viață. Principii și cadru de referință (ISO_14040:, 2006) și UNE-ISO 14044 Managementul mediului. Analiza ciclului de viață. Cerințe și orientări (ISO_14044:, 2006). Prin această standardizare a calculului LCA și având în vedere boom-ul actual al tehnologiei BIM (Building Information Modeling), care permite centralizarea tuturor informațiilor din proiect într-un model informațional digital, devine instrumentul ideal pentru a implementa analiza ciclului de viață încă din faza de proiectare și, astfel, pentru a pune bazele unui model care să permită înrădăcinarea principiilor economiei circulare în sectorul construcțiilor.

Obiectivul principal al acestei lucrări este de a crește gradul de conștientizare a agenților responsabili din sectorul arhitecturii, ingineriei și construcțiilor cu privire la impactul direct și indirect asupra mediului produs de dezvoltarea lor profesională, căutând modalități de îmbunătățire a competențelor și a formării profesionale a profesioniștilor din sector în domeniul construcțiilor sustenabile. Prin urmare, este esențial să începem să încorporăm în formarea acestor profesioniști nu doar criterii bazate pe principiile economiei circulare, ci să le oferim instrumente care să le permită să integreze rapid și intuitiv aceste principii în desfășurarea zilnică a activității lor profesionale. În acest sens, se dezvoltă prezentul studiu, în care se fac primele progrese pentru crearea unui instrument interactiv de învățare prin BIM, cu ajutorul căruia este posibilă proiectarea și calcularea unui proiect de construcție, sub criteriile economiei circulare.

Pentru includerea evaluării ciclului de viață în BIM, pornim de la metodologia de cuantificare a impactului asupra mediului dezvoltată de grupul de cercetare Arditec, din care fac parte și autorii acestei lucrări. Această metodologie de calcul a impactului asupra mediului, bazată pe indicatorul Amprenta ecologică (Solís-Guzmán, Martínez-Rocamora și Marrero, 2014), face parte din bugetul proiectelor și a fost adaptată pentru a măsura întregul ciclu de viață al clădirii: urbanizarea (Marrero et al., 2017), utilizarea și întreținerea (Martínez-Rocamora, Solís-Guzmán și Marrero, 2016, 2017) și reabilitarea sau demolarea (Alba-Rodríguez et al., 2017). De asemenea, aceștia studiază și alți indicatori, cum ar fi energia încorporată (Freire Guerrero și Marrero, 2015), amprenta de carbon (Solís-Guzmán, Martínez-Rocamora și Marrero, 2014; Freire Guerrero, Marrero Meléndez și Muñoz Martín, 2016; Solís-Guzmán et al, 2018a) și amprenta de apă (Ruiz-Pérez, Alba Rodríguez și Marrero, 2017; Ruiz-Pérez, Alba-Rodríguez și Marrero, 2019), deoarece aceștia sunt cei mai importanți indicatori din



sectorul construcțiilor datorită simplității mesajului lor și faptului că pornesc de la cuantificarea resurselor realizate pentru controlul economic al proiectelor.

Metodologia se bazează pe o prelucrare simplă și accesibilă a datelor, deoarece datele provin din baze de date sau surse de informații cu acces liber și pot fi consultate de oricine, oriunde în lume, cum ar fi bazele de date generice ale evaluării ciclului de viață (Martínez-Rocamora et al., 2016). Robustețea metodologiei este dată de faptul că se bazează pe instrumente de gestionare larg contrastate, cum ar fi Sistemele de Clasificare a Informațiilor din Domeniul Construcțiilor.

Într-o analiză realizată de Freire (Freire Guerrero și Marrero, 2015), se remarcă, printre altele, următoarele: MasterFormat (CSI/CSC, 1983), Uniformat (UniFormatTM. The Construction Specifications Institute, 1998), Standard Method of Measurement of Civil Engineering (Telford, 1991), CI / SfB (Jones, 1987) și Uniclass (Omniclass, 2012). Toate aceste baze sunt propuse ca un instrument ideal pentru realizarea cuantificării economice sau a bugetării și ca element integrator, deoarece sistemul său de descompunere și ierarhizare face posibilă introducerea unui proces standardizat.

Conceptul de bază al tuturor acestor proiecte este acela de a împărți o problemă complexă în părți mai simple care pot fi apoi adăugate, fără suprapunere sau repetiție, pentru a defini dezvoltarea completă a proiectelor. În Spania, bazele de costuri de construcție au propriile Sisteme de Clasificare a Informațiilor din Domeniul Construcțiilor, iar domeniul de aplicare al acestora este, de obicei, mediul geografic: Institutul de Tehnologie a Construcțiilor din Catalonia (ITeC, 2012), PRECIOCENTRO din Guadalajara (Colegiul Oficial al Experților în Construcții, 2012), BPCM Madrid (Ministerul Mediului și Amenajării Teritoriului, 2007), BDEU din Țara Bascilor (Departamentul de Locuințe, 2012), BDC-IVE din Valencia (Ministerul Infrastructurii, Teritoriului și Mediului, 2012) și Baza de date a costurilor de construcție din Andaluzia (ACCD) (Marrero și Ramirez-De-Arellano, 2010). Aceasta din urmă este cea utilizată în dezvoltarea modelului; deoarece aparține zonei geografice în care a fost dezvoltat modelul Arditec și prezintă o clasificare sistematică robustă, de aplicare simplă și schematică, care permite o estimare și o cuantificare a resurselor de bază, cărora li se pot aplica diferiți indicatori de mediu pentru a obține impactul de mediu al diferitelor soluții de construcție.

Indicatorii de mediu bazați pe analiza ciclului de viață sunt recunoscuți de comunitatea științifică și pot fi ușor de înțeles de către societate (Freire-Guerrero, Alba-Rodríguez și Marrero, 2019). În lucrarea de față a fost utilizat indicatorul Amprenta de Carbon, care este un indicator a cărui utilizare este foarte extinsă, de aceea există o mare cantitate de revizuri bibliografice legate de utilizarea indicatorului Amprenta de Carbon în construcții (Geng et al., 2017). Prin descompunerea în resurse de bază (materiale și utilaje) oferită de clasificarea sistematică a diferitelor soluții de construcție de către ACCD, se aplică modelul ARDITEC (Marrero, Rivero-Camacho și M Desirée Alba-Rodríguez, 2020), care traduce această sumă în termeni de impact produs de resurse



pe parcursul ciclului de viață al acestora, exprimat prin intermediul indicatorului Amprenta de Carbon. Obiectivul principal este de a putea prezice impactul pe care îl va genera un proiect în faza de proiectare, prin cuantificarea cantităților proiectului, prin identificarea materialelor care generează cel mai mare impact pe parcursul ciclului lor de viață și înlocuirea acestora cu altele care să le reducă impactul. Instrumentele existente pentru controlul costurilor proiectelor pot fi utilizate ca instrumente pentru introducerea considerentelor de sustenabilitate.

Sustenabilitatea lucrărilor de construcție, precum și performanța de mediu și metoda de calcul, definesc ciclul de viață al clădirii în conformitate cu standardul UNE-EN 15978 (UNE-EN_15978, 2012). Limitele sistemului pe care se concentrează acest studiu sunt faza de fabricare a materialelor de construcție și deșeurile pe care acestea le produc la sfârșitul ciclului de viață.

2. METODOLOGIE

Dezvoltarea metodologică este împărțită în două părți: aplicarea metodologiei Arditec, care, pornind de la defalcarea realizată prin clasificarea sistematică a bugetului, permite cuantificarea impactului de mediu al resurselor de bază și implementarea acestor informații de mediu în software-ul deschis BIM, generând astfel un instrument de cuantificare a reducerii impactului de mediu, astfel încât impactul de mediu al noilor soluții să poată fi comparat cu cel al soluțiilor de construcție tradiționale.

În primul rând, sunt dezvoltate soluții constructive bazate pe criterii de economie circulară, respectând cerințele tehnice și normative solicitate, pentru ca mai apoi să se evalueze viabilitatea ecologică a soluțiilor prin intermediul metodologiei de evaluare a ciclului de viață. De aici, sunt create obiectele BIM ale soluțiilor constructive dezvoltate. Aceste obiecte BIM vor fi compuse din familiile de materiale care definesc sistemele de construcție dezvoltate, cărora li se atribuie impactul asupra mediului calculat prin metodologia Arditec și apoi sunt integrate în software-ul BIM deschis prin intermediul unui plug-in (Fig. 1).

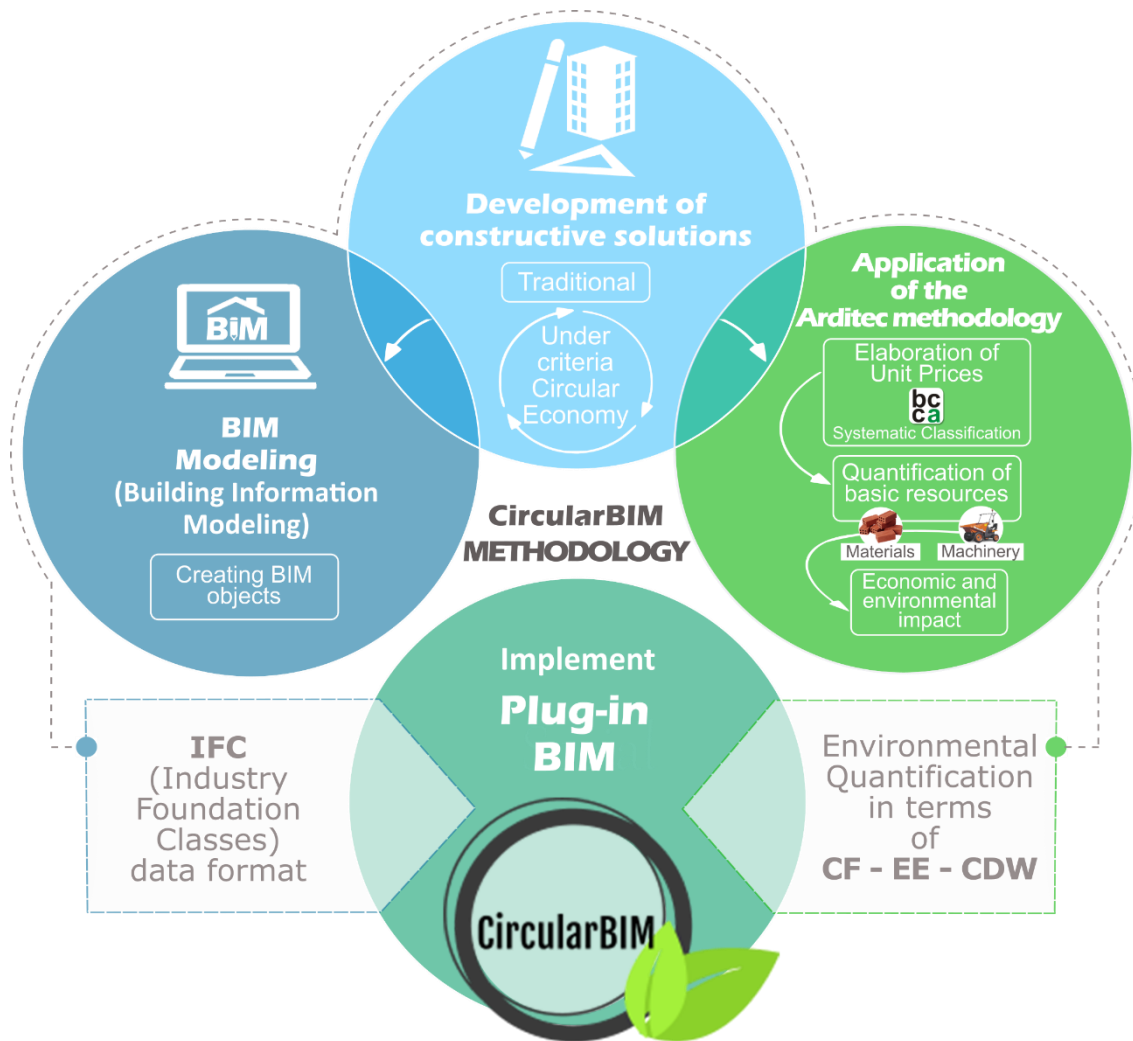


Fig. 1 Organigrama metodologică. Sursă: USE.

2.1 Aplicarea metodologiei Arditec

2.1.1 Structura costurilor

Automatizarea datelor și a proceselor reprezintă progrese în domeniul tehnologiei informației (IT) care oferă mari avantaje în analiza predictivă. După cum s-a menționat în introducerea acestei lucrări, sectorul este dominat de sistemele de clasificare a informațiilor din domeniul construcțiilor ca instrumente de gestionare. Sistemul său de clasificare a informațiilor sistematice (Ramírez-de-Arellano-Agudo, 2010) se bazează pe o structură ierarhică și arborescentă cu niveluri definite în care fiecare grup este împărțit în subgrupuri cu caracteristici omogene. Această organizare a muncii facilitează divizarea unui sistem complex, cum ar fi bugetul de lucru, în elemente mai simple, și anume materiale, utilaje și forță de muncă (Freire-Guerrero, Alba-Rodríguez și Marrero, 2019).



Prețurile sunt exprimate în funcție de o anumită unitate de măsură; dar trebuie stabilite și criteriile pentru ca, în cadrul proiectului de construcție în cauză, numărul de unități care fac obiectul acel preț să poată fi cuantificat. În acest scop, se stabilesc criteriile care să faciliteze o astfel de măsurare prin intermediul unor compensații adecvate, ajustate la utilizările și obiceiurile de execuție ale acestor unități (Alba-Rodríguez, 2016). Ansamblul preț-unitate de lucru este consolidat prin stabilirea unei semnificații unice pentru fiecare duo în mod rigid între criteriile de măsurare stabilite pentru o anumită unitate de lucru și prețul corespunzător; se înțelege că, în cazul în care criteriile sunt modificate, prețul trebuie să fie modificat la rândul său, iar criteriile de măsurare comune trebuie să fie utilizate pentru prețuri similare.

Conceptele descrise mai sus constituie împreună ceea ce se numește epigraf de preț, toate prețurile au un epigraf și acesta este diferit pentru fiecare element al sistemului. Aceste elemente sunt prezentate în prețurile fațadelor ventilate din tabelele 3 și 4 din secțiunea privind soluțiile constructive. Toate caracteristicile de mai sus facilitează încorporarea costului de mediu pe baza aceluiași ipoteze și contururi definite în calculul costului economic.

2.1.2 Model de calcul de mediu

Modelul de calcul de mediu dezvoltat de grupul Arditec pentru a evalua toate etapele ciclului de viață al clădirii permite evaluarea diferiților indicatori de mediu (Freire-Guerrero, Alba-Rodríguez și Marrero, 2019), (Marrero, Rivero-Camacho și M Desirée Alba-Rodríguez, 2020). În prezenta propunere, pornind de la bugetul proiectului, se evaluează impactul de mediu al materialelor, ceea ce permite identificarea familiilor de materiale care controlează bugetul.

În acest scop, se cuantifică deșeurile, precum și indicatorii de amprentă de carbon, utilizând bazele de date internaționale de analize ale ciclului de viață al produselor de construcții și declarațiile de mediu ale produselor disponibile pe ECO-Platform (www.eco-platform.org/), o platformă europeană în sectorul construcțiilor, care a fost creată cu scopul de a implementa EN 15804 (ISO_15804:2012+A1:2013, 2012) cu recunoaștere reciprocă între membri.

Se face o analiză generală a diferitelor concepte care alcătuiesc un indicator de mediu, în care consumul de resurse naturale la locul de muncă este tratat ca un cost de mediu.

În primul rând, au fost definite costurile directe, care, în bugetele tradiționale de construcții, corespund utilajelor, forței de muncă și materialelor și, în mod similar, determină utilizarea directă a resurselor pe șantier prin consumul de energie al utilajelor utilizate pe șantier (combustibil sau electricitate) și consumul de materiale de construcție (în timpul fabricării, transportului și instalării acestora), precum și generarea de deșeuri asociate cu acest consum de materiale.



Cuantificarea deșeurilor:

Odată ce au fost identificate elementele care compun soluția de construcție, următorul pas este acela de a cuantifica deșeurile așteptate de la acestea. Elementele generatoare de deșeuri sunt identificate prin intermediul unei clasificări standardizate și cuantificate cu ajutorul unor coeficienți de transformare (Solís-Guzmán et al., 2009), prin aplicarea ecuației (1):

$$QR_i = Q_i \cdot CR_i \cdot CC_i \cdot CT_i \quad (1)$$

unde: QR_i este cantitatea de deșeuri "i" generată de materialul Q_i ; CR_i determină cantitatea de material care devine deșeu; CC_i transformă unitățile de componente ale clădirii în unități de deșeuri; CT_i reprezintă modificarea volumului materialului atunci când acesta devine deșeu. Sistemul de unități este cel utilizat în sectorul construcțiilor pentru fiecare familie de materiale de construcții, kg, m³, m² sau unitate (u). Coeficienții sunt calculați pe baza ACCD (ACCD, 2017) (a se vedea exemplele de coeficienți din tabelul 1).

Tabelul 1 Exemple de coeficienți de transformare (Marrero, Rivero-Camacho and M. Desirée Alba-Rodríguez, 2020)

Material	Origine	Destinație	Cr	Cc	Ct
kg Metal	pierderi	t Metal	0.0	0.00	1.0
m ² Căramidă	pierderi	m ³ Ceramic	0.0	0.01	1.3
t Ciment	pierderi	t Ciment	0.0	1.00	1.0
m ³ Beton	pierderi	m ³ Beton	0.1	1.00	1.1

Analiza de mediu:

Utilaje

Acesta este impactul utilizării mașinilor, în special consumul direct de energie (atât combustibil, cât și energie electrică), corelat cu puterea motorului.

Pentru a obține consumul de combustibil, se utilizează "Manualul de mașini" elaborat de (SEOPAN, 2008), în care sunt colectate datele tehnice ale diferitelor modele și tipologii de mașini de pe piață. Alegând consumurile cele mai defavorabile, se analizează utilajele clasificate, unde se aplică un coeficient la puterea fiecărui motor pentru a obține litri de combustibil consumați, diferențiind dacă utilajul consumă motorină sau benzină.

Odată obținuți litri de combustibil consumați, se aplică coeficientul care indică cantitatea de CO₂ generată de un litru de combustibil (IDAE, 2011). La aceste date se aplică cele obținute din bazele de date internaționale de evaluare a ciclului de viață și se obține amprenta de carbon a acestora.



O abordare similară este urmată pentru consumul mașinilor electrice utilizate pe șantier, analizând puterea motorului și orele de utilizare, obținându-se astfel totalul de kWh consumați. La aceste date se aplică coeficientul care indică emisiile de CO₂ generate pentru producerea unui kWh de energie de către sistemul electric spaniol (REE, 2014), adică emisiile de GHG, măsurate prin intermediul potențialului de încălzire globală (GWP) al diferitelor gaze emise în atmosferă, prin ponderarea tonelor de gaze emise și transformarea acestora în tone de echivalent CO₂.

Materiale de construcție

Primul pas care trebuie făcut pentru a obține impactul de mediu al fiecărui material constă în convertirea unității de măsură originale a fiecărui preț de bază (m³, m², metri, tone, mii ...) în m³, astfel încât să putem aplica densitatea stabilită în documentele suport utilizate, Catalogul soluțiilor constructive din Codul tehnic al construcțiilor (IETcc, 2010) și Documentul de bază al siguranței structurale din Codul tehnic al construcțiilor. Acțiuni în construcții DB-SE AE (RD_314, 2006), pentru a obține greutatea fiecărui element.

Dintre diferitele baze de date de evaluare a ciclului de viață, a fost aleasă baza de date Ecoinvent (Frischknecht et al., 2005), implementată în Symapro și dezvoltată de Centrul elvețian pentru inventarele ciclului de viață (Swiss Center for Life Cycle Inventories), datorită transparenței sale în dezvoltarea proceselor (rapoarte, diagrame de flux, metodologie...), coerenței, referințelor și remarcându-se faptul că îmbină date din mai multe baze de date din industria construcțiilor (Martínez-Rocamora et al., 2016).

Din această bază de date au fost obținute o serie de "familii de mediu" care vor fi responsabile de atribuirea, pentru fiecare preț de bază, a unităților de impact corespunzătoare, în funcție de asemănarea acestora.

Din inventarul ciclului de viață pentru fiecare dintre materiale, au fost analizate emisiile încorporate în materialele de construcție, prin aplicarea metodologiei IPCC 100 A, care este utilizată de indicatorul amprentei de carbon, deoarece izolează emisiile de CO₂ și de alte gaze cu efect de seră din inventarul ciclului de viață exprimate în tone CO₂ echiv. /kg (Solís-Guzmán et al., 2018b).

Figura 2 sintetizează metodologia care combină bugetul lucrării cu impactul asupra mediului.

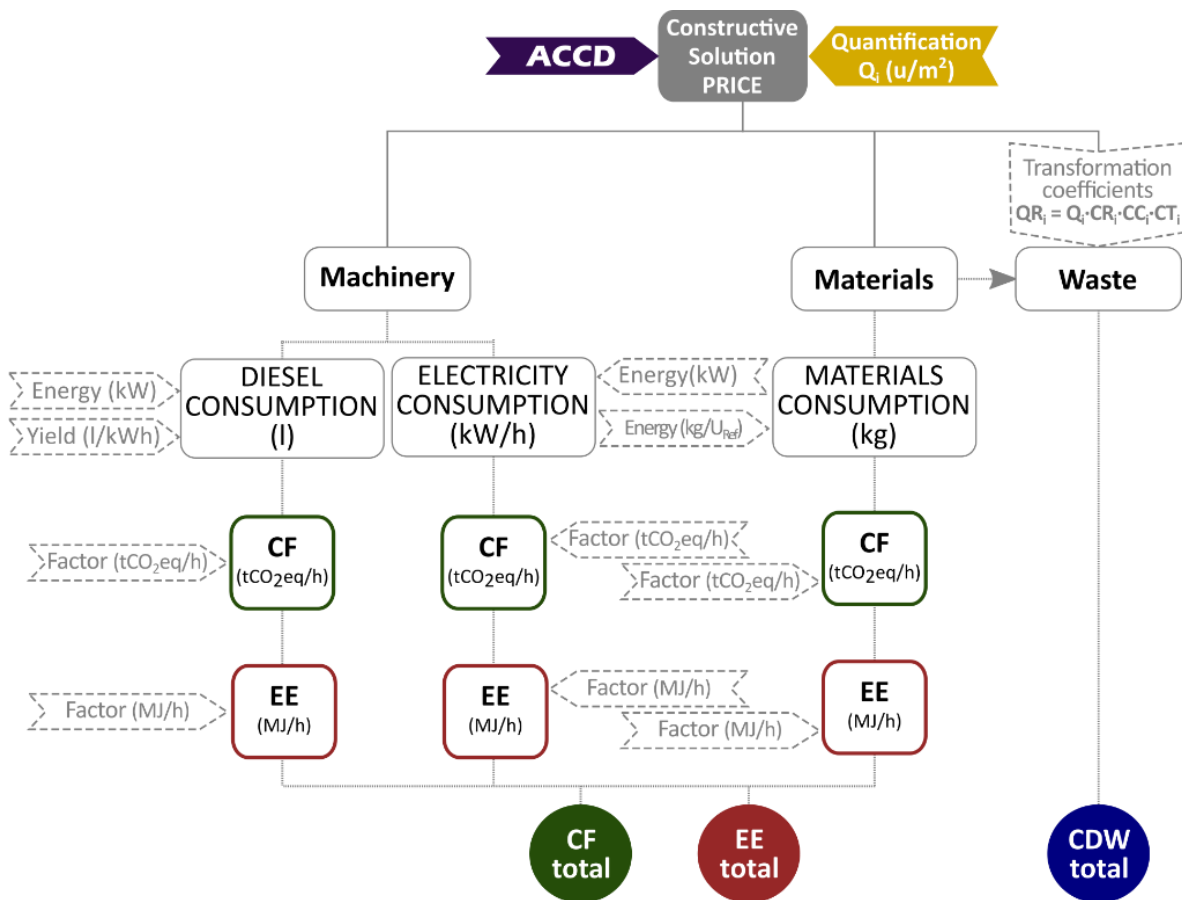


Fig. 2 Metodologia de calcul. Sursă: USE.

De asemenea, se efectuează o analiză a transportului materialului, stabilindu-se aproximări ale distanței parcurse de mijloacele de transport, la fel ca în secțiunea anterioară privind mașinile (Freire-Guerrero, Alba-Rodríguez și Marrero, 2019). Primul lucru care trebuie luat în considerare este mijlocul de transport care urmează să fie utilizat, în cazul nostru este vorba de un camion, a cărui capacitate este definită în tone și consumul mediu de motorină, luând în considerare și emisiile de CO₂ pentru fiecare litru de combustibil consumat.

Al doilea aspect de luat în considerare este distanța de la fabrica fiecărui material la locul de muncă; luând în considerare următoarele aproximări: deoarece domeniul nostru de lucru corespunde Andaluziei, considerăm că majoritatea materialelor sunt fabricate în această zonă, pentru care distanța corespunde în medie la 250 km. În cazul specific al betonului, se va lua în considerare o distanță maximă de 20 km, în conformitate cu considerațiile EHE-08 (EHE-08, 2008).

Cu aceste date, putem obține tonele de CO₂ care ar fi implicate în transportul fiecărui material și/sau deșeu; această cifră va fi reflectată în capacitatea camionului pentru a obține valoarea în funcție de kg de material transportat, iar aceste date pot fi aplicate direct la greutatea fiecărui preț de bază (Tabelul 2).



Tabelul 2 Date pentru calcularea impactului transportului:

	Beton	Alte materiale
Capacitatea de încărcare a camionului (kg)	24.0	2.0
Distanța până la fabrică (km)	20.0	250.0
Consum mediu de motorină (litri/100 km)	26.0	26.0
Emisii diesel (tCO ₂ /litro)	2.6E-03	2.6E-03
Energia încorporată în motorină (MJ/litro)	57.7	57.7
Energia încorporată în energie electrică (MJ/kWh)	3.6	3.6

Implementarea datelor de mediu în BIM

Odată elaborat modelul de cuantificare a impactului asupra mediului și având în vedere că obiectivul final este automatizarea bugetelor de mediu prin instrumente BIM, următorul pas va fi includerea informațiilor de mediu obținute prin BIM. Având în vedere natura incipientă a cercetării, această secțiune prezintă o imagine a modului în care această sarcină va fi abordată în viitorul imediat.

Pentru includerea acestor noi informații de mediu în BIM, este necesară crearea acestor informații în ceea ce se numește format de date IFC (Industry Foundation Classes), a cărui particularitate este că permite schimbul de date de la un model de informații la altul fără a genera pierderi sau denaturarea datelor. Este un format deschis, neutru, necontrolat de producătorii de software, născut pentru a facilita interoperabilitatea.

IFC a fost conceput pentru a produce toate informațiile despre clădire pe tot parcursul ciclului de viață al acesteia, de la proiectarea preliminară până la execuție și întreținere, incluzând diferitele faze de proiectare și planificare. Majoritatea resurselor BIM disponibile în prezent se concentrează pe clădiri și, în cadrul acestora, pe sectorul rezidențial. Din acest motiv, în cadrul cercetării în curs și cu scopul de a profita la maximum de avantajele oferite de BIM, ceea ce încercăm să realizăm este extinderea aplicării sale în diferitele faze ale ciclului de viață al clădirii, aprofundând beneficiile pe care le poate aduce sustenabilității, mai exact, modul de încorporare a criteriilor economiei circulare prin intermediul BIM.

Datorită modelelor IFC, este posibil să se creeze un model virtual al clădirii care nu este o simplă reprezentare 3D, ci un model care conține informații geometrice, materiale, cuantificarea costurilor, elemente complexe precum structuri, instalații, caracteristici termice și chiar informații legate de diferitele faze ale ciclului de viață al clădirii.



Asocierea acestor informații suplimentare se realizează datorită faptului că structura IFC se bazează pe semantica, relațiile și proprietățile obiectelor modelate, create pentru a descrie diferitele componente ale clădirilor (stâlpi, grinzi, pereți, dale etc.), putând adăuga proprietăți specifice fiecărui obiect; cuantificarea costurilor prin bugete, cuantificarea materialelor prin măsurători și, ceea ce se urmărește în această cercetare, cuantificarea mediului prin aderarea la metodologia Arditec bazată pe indicatori de mediu și LCA.

2.2. Soluții constructive

Metodologia descrisă mai sus este aplicată la două soluții de construcție: o soluție compusă din materiale utilizate în mod tradițional în construcții și aceeași soluție modificată prin încorporarea de materiale durabile bazate pe criterii de economie circulară. Fațada ventilată este soluția de construcție aleasă ca exemplu de dezvoltare pentru a arăta progresul modelului propus. Descrierile constructive complete ale soluțiilor se regăsesc în epigraful de preț al tabelelor 3 și 4, în corespondență cu imaginea 1 și 2.

În tabelul 3 sunt descrise și defalcate materialele care alcătuiesc fațada ventilată considerată tradițională (S01), iar în tabelul 4 sunt prezentate materialele durabile (S02) propuse pentru a îmbunătăți impactul de mediu al soluției constructive.

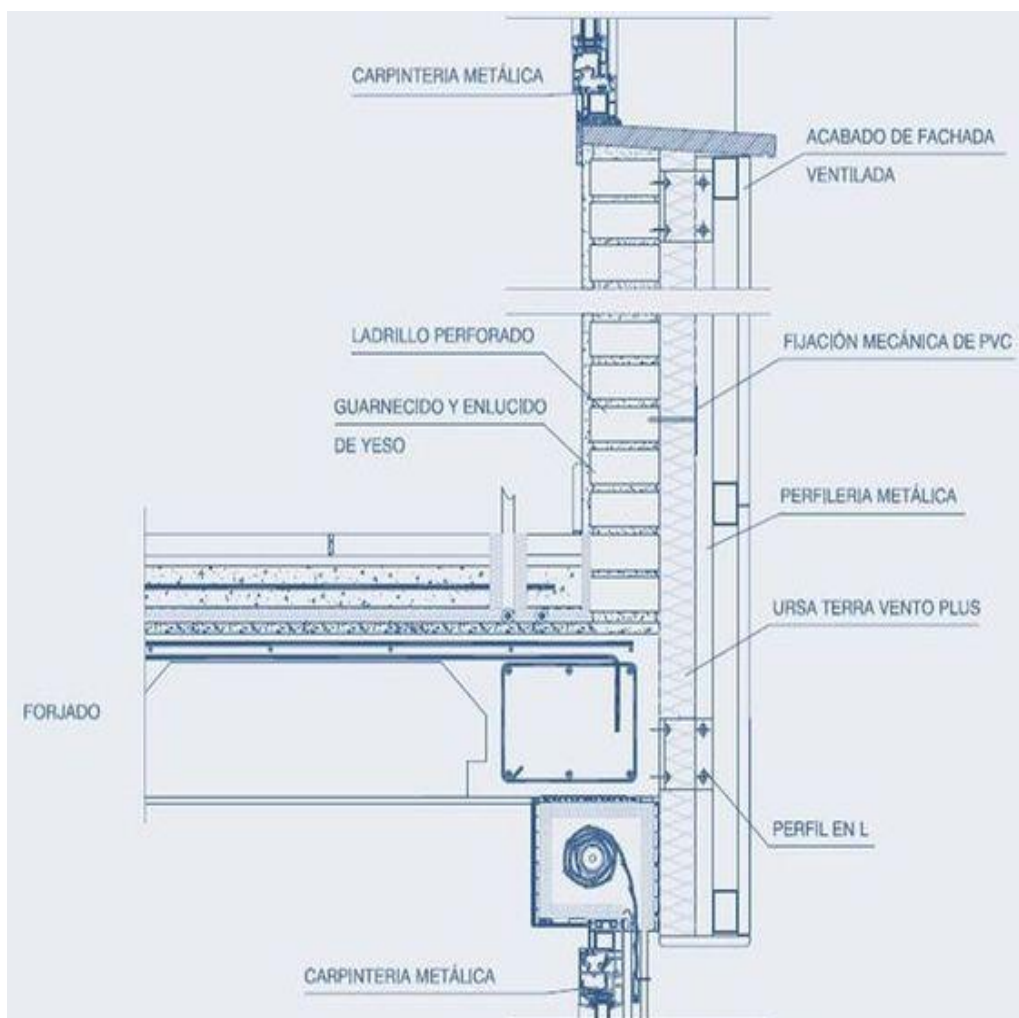
Tabelul 3 Exemplu de preț pentru fațada ventilată tradițională (S01):

14FVL00001	m ²	FAȚADĂ VENTILATĂ CU PLACARE EXTERIOARĂ DIN PIATRĂ NATURALĂ						
Foaie principală a fațadei ventilate din cărămidă ceramică perforată de 24x11,5x9 cm, primită cu mortar de ciment industrial M-5. Izolație termică formată din panou din vată minerală, conform UNE-EN 13162, grosime 60 mm, rezistență termică 1.75 m ² K/W, conductivitate termică 0.034 W/(mK), plasat între montanții structurii de susținere, de asemenea p. p. de elemente de fixare, tăiere și amplasare. Învelitoare de pereți interiori cu plăci de tencuială cu grosimea de 13 mm pentru tencuială autoportantă, așezate pe profile de oțel galvanizat cu fixare mecanică, inclusiv pichetare, curățare, nivelare, plombe, realizarea de colțuri și repararea rosturilor. Învelitoare exterioară din plăci de calcar Capri prelucrate, finisaj buchisit, 60x40x4 cm; montare cu ajutorul sistemului de ancorare orizontală continuă pe o substructură de susținere reglabilă din aliaj de aluminiu; substructură de susținere a învelitorii exterioare cu ajutorul sistemului de ancorare orizontală realizată din profile verticale din aluminiu extrudat cu tratament termic; inclusiv șuruburi și ancore mecanice din oțel inoxidabil, pentru fixarea substructurii. Măsurăți suprafața executată.								
Cod	Cantitate	u	Descriere	Preț	Cost (€)	CF (tCO ₂ eq.)	EE (MJ/h)	CDW (t/m ³)
TO02100	2.72	h	OFICIAL 1ST	19.85	53.99	---	---	---



01-A2. SUSTAINABLE CONSTRUCTION METHODS AND PROCEDURES USED FOR CIRCULAR ECONOMY CONCEPTS

TA00200	2.52	h	SPECIALIST ASISTENT	19.04	47.98	---	---	---
TP00100	0.50	h	PEON SPECIAL	18.80	9.45	---	---	---
MW00300	0.26	h	PLATFORMĂ DE RIDICARE	7.50	1.94	0.0108	177.3	---
06LHM00005	1.00	m ²	ZIDĂRIE DE CĂRĂMIDĂ	29.64	29.64	0.0717	832.4	264.26
09TPP00161	1.00	m ²	VATA MINERALĂ IZOLATIE	11.14	10.14	0.0183	282.3	12.386
QP01100	1.00	m ²	ALUMINIU PROFIL	19.06	19.06	0.0231	372.4	1.93
10LWW90201	1.00	m ²	AUTOPORTANTĂ ACOPERIRE. LIMESTONE	18.18	18.18	0.0860	1457.4	19.97
RA05300	1.00	m ²	PANOURI 3 cm	37.87	37.87	0.0003	1.5	28.55
WW00400	2.00	u	MATERIAL MICI	0.30	0.60	0.0003	5.3	0.00
Total				229.85		0.2105	3128.7	327,09



Imaginea 1. Exemplu de detaliu de construcție. Fațada tradițională ventilată (S01).



Tablel 4 Exemplu de preț pentru fațada ventilată durabilă (S02):

14FVL00002	m ²	FAȚADĂ VENTILATĂ CU ÎNVELITOARE EXTERIOARĂ DIN PANOURI DE LEMN						
<p>Foaie principală de fațadă ventilată din cărămidă dublă goală 24x11. 5x9 cm, primită cu mortar de ciment industrial M-5. Izolație a pereților cu plăci de plută conglomerată cu densitatea de 110 kg/m³ și grosimea de 60 mm, așezate pe suprafețe plane, inclusiv tăierea și așezarea și materialul complementar. Placarea pereților interiori cu plăci de lemn pentru placări autoportante, așezate pe profile de lemn, inclusiv pichetarea, curățarea, nivelarea, realizarea colțurilor și repararea rosturilor. Acoperire exterioară din panouri compozite din lemn natural pentru exterior, constând dintr-un corp din bachelită de înaltă densitate, acoperit cu furnir din lemn natural tratat cu rășini sintetice care asigură o durabilitate mai mare, protecție împotriva radiațiilor solare, a agenților atmosferici, a murdăriei și a atacurilor chimice (antigrăffiti). Face parte dintr-un kit de construcție pentru placarea fațadelor ventilate formate din panouri din lemn natural și substructura corespunzătoare acestora. Datorită rezistenței lor ridicate, nu necesită întreținerea obișnuită a altor tipuri de lemn pentru exterior. Materiale cu mai mult de 8% de materie primă de origine reciclată și eticheta ecologică III. Măsurări suprafața executată.</p>								
Cod	Cantitate	u	Descriere	Preț	Cost (€)	CF (tCO ₂ eq.)	EE (MJ/h)	CDW (t/m ³)
TO02100	2.72	h	OFICIAL 1ST	19.85	52.99	---	---	---
TA00200	2.52	h	SPECIALIST	19.04	47.98	---	---	---
TP00100	0.50	h	PEON SPECIAL	18.90	9.45	---	---	---
MW00300	0.26	h	PLATFORMĂ DE RIDICARE	7.50	1.94	0.0108	177.3	---
06LHM0005	1.00	m ²	ZIDĂRIE DE CĂRĂMIDĂ	29.64	29.64	0.0717	832.4	264.26
10LWW90202	1.00	m ²	PANOURI DE PLUTĂ IZOLAȚIE	14.44	14.44	-0.0040	354.1	6.71
10LWW90300	1.00	m ²	ACOPERIRE AUTOPORTANTĂ. PANOURI DIN LEMN	19.51	19.51	0.0388	967.2	15.22
RA00200	1.01	m ²	ACOPERIRE EXTERIOARĂ. PANOURI DE LEMN	83.97	83.97	0.0250	684.8	13.08
WW00400	2.00	u	MATERIAL MICI	0.30	0.60	0.0003	5.3	0.00
Total					262.36	0.1427	3021.2	299.26

Materialele din soluția S02 au fost selectate pe criterii de mediu, mai exact materiale care, pe lângă faptul că îndeplinesc condițiile tehnice necesare pentru funcția lor în cadrul soluției de construcție, au eticheta ecologică III (EPD) și au un procent de material



reciclat în compoziția lor, fiind astfel certificate în eticheta ecologică corespunzătoare. În acest fel, ne asigurăm că încorporăm materiale produse pe criterii de economie circulară, precum și că avem certitudinea că aceste materiale sunt disponibile pe piață.



Imagina 2. Exemplu de detaliu de construcție. Fațada ventilată durabilă (S02).

3. DISCUTAREA REZULTATELOR

După aplicarea metodologiei descrise, se obține costul economic (euro) și impactul asupra mediului în termeni de amprentă de carbon (CF), energie încorporată (EE) și deșeurii (CDW), pentru fiecare soluție de construcție. În primul rând, atenția se concentrează asupra rezultatelor totale, atât economice, cât și de mediu, ale celor două soluții de fațadă ventilată, reprezentate grafic în figura 3.

Se poate observa cum soluția S01, alcătuită din materiale utilizate în mod tradițional în construcții, prezintă un cost economic mai mic decât soluția S02, care încorporează materiale cu criterii de mediu și de reciclabilitate. Cu toate acestea, atunci când se compară costul economic cu impactul asupra mediului, se poate observa că costul de mediu al soluției S02 este mai mic la oricare dintre cei trei indicatori (CF, EE și CDW) utilizați în analiză.



Este interesant de făcut o analiză comparativă a figurii 3, prin defalcarea economică și de mediu pe materiale, unde se poate observa că la ambele soluții de fațadă ventilată, cel mai mare cost economic revine elementelor care compun foaia exterioară a incintei, soluția S01 fiind cu 8% mai economică. Comparând rezultatele de mediu în termeni de CF și EE ale aceluiași elemente, se poate observa că soluția S01 prezintă un impact asupra mediului cu 7% până la 11% mai puțin.

Acest lucru se datorează faptului că învelitoarea exterioară a fațadei ventilate din soluția originală S01 este compusă din piatră naturală, al cărei proces de transformare necesită foarte puțină energie încorporată și, în consecință, emisii scăzute de CO₂, în timp ce în soluția S02 materialul de învelitoare este realizat din lemn special pentru exterior tratat cu bachelită și rășini sintetice care necesită mai multă energie încorporată în procesele lor de producție.

În schimb, atunci când se compară cantitatea de RCD generată de cele două soluții, se poate observa că, în cazul soluției S02, generarea de RCD este redusă cu aproximativ 5%, datorită faptului că plăcile de acoperire ale acestei soluții au un procent ridicat de reciclabilitate și conțin peste 8% de materie primă de origine reciclată, certificată prin eticheta ecologică de tip III.

Continuând cu analiza rezultatelor pe materiale, se remarcă comparația între materialele de izolație utilizate în soluțiile constructive, unde se remarcă CF a materialelor de izolație din soluția S02, care este reprezentată în grafic în termeni negativi.

Acest lucru se datorează faptului că pluta utilizată ca material izolator în soluția S02 în timpul procesului de fabricare a acesteia produce mai puține emisii decât sechestrarea CO₂ realizată de pădurile de stejar de plută, arborele din care provine materia primă de plută, în analiza ciclului de viață al acesteia, ceea ce se traduce printr-un bilanț negativ al amprentei de carbon.

Materialul care produce cel mai mare impact al soluției asupra mediului trebuie evidențiat în doi dintre indicatorii utilizați în analiză (CF, EE), și anume plăcile de gips laminat, materialul de căptușeală al tencuielilor interioare care alcătuiesc soluția S01. Acest element reprezintă aproximativ 43% din CF și 49% din EE soluției constructive, datorită impactului ridicat pe care îl generează de la extracția ca materie primă, prin întregul său ciclu de viață până la generarea sa ca deșeu, deoarece acest material are puține posibilități de reutilizare și reciclare, deci este departe de criteriile economiei circulare.



01-A2. SUSTAINABLE CONSTRUCTION METHODS AND PROCEDURES USED FOR CIRCULAR ECONOMY CONCEPTS

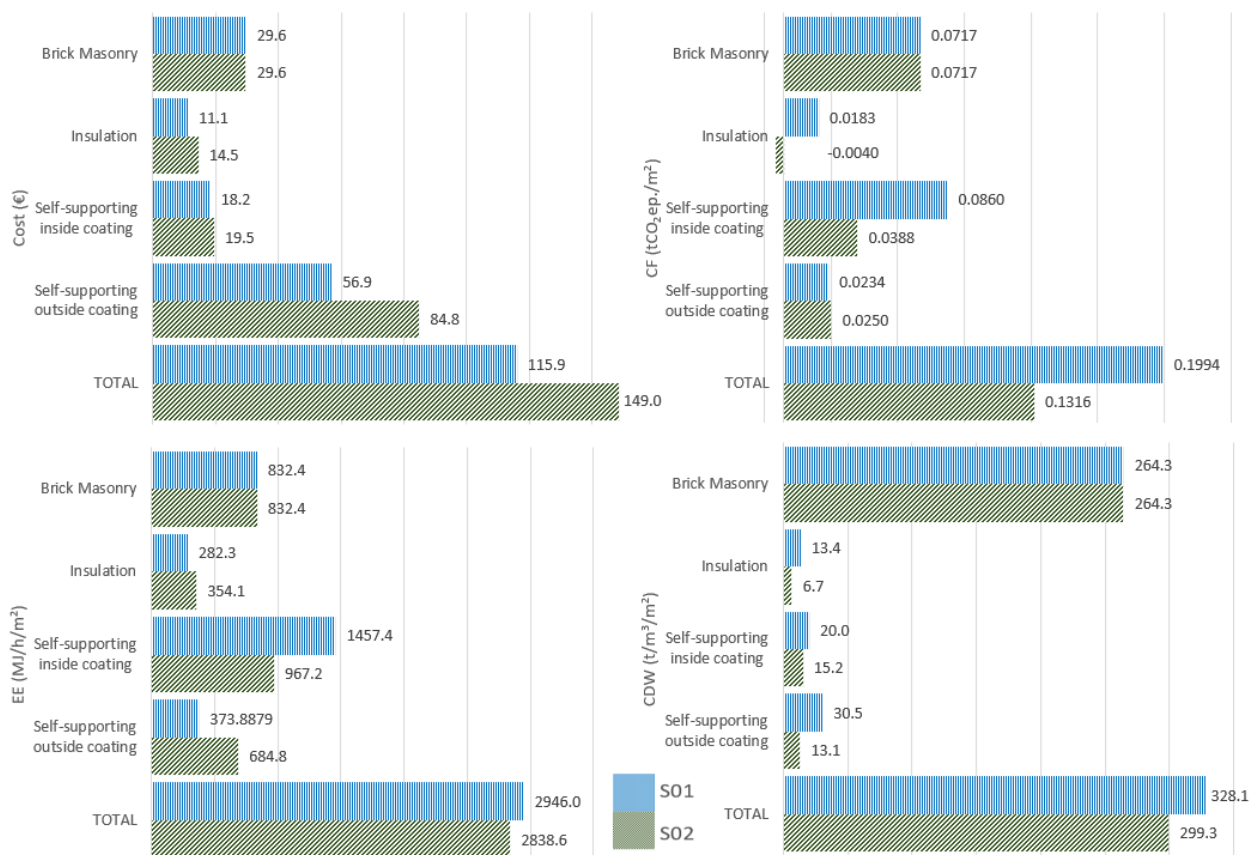


Fig. 3 Comparație economică și de mediu, în funcție de material, a soluțiilor de fațadă ventilată S01 și S02.

În soluția S02, acest material este înlocuit cu foi de lemn din lemn reciclat, ceea ce reușește să reducă CF a soluției cu aproximativ 55% și EE cu 34%, pe lângă faptul că contribuie la obiectivele de reutilizare și reciclare urmărite de economia circulară.

Pentru a încheia analiza, ne concentrăm asupra indicatorului referitor la RCD, care ne permite să întredem cantitatea de deșuri generate de materialele care alcătuiesc diferitele soluții de construcție și să analizăm astfel posibilitatea de recirculare și de reciclare a acestor deșuri. Conform rezultatelor obținute, toate elementele din soluția S02 au o generare de deșuri mai mică decât elementele care compun soluția S01. Din această analiză, se remarcă frunza exterioră, care generează cu 53% mai puține deșuri în soluția S02 decât în soluția S01. Acest lucru se datorează utilizării potențiale a materialelor lemnoase care alcătuiesc foaia exterioră a soluției S02. În analiza rezultatelor acestui indicator, este necesar să se ia în considerare, pe lângă generarea de deșuri din diferitele elemente, și procentul de reciclabilitate al acestor deșuri.

Având în vedere că soluțiile de fațade ventilate analizate în această lucrare se caracterizează prin capacitatea lor de a fi demontate, adică prin faptul că la sfârșitul duratei de viață utilă este posibilă demontarea diferitelor materiale care compun fiecare element, procentul de reciclabilitate al acestora este crescut. Concret, în cazul soluției



S01, având în vedere greutatea totală a soluției de construcție (440. 38 kg), reciclabilitatea totală a componentelor sale este de aproximativ 74%, în timp ce soluția S02 (greutate totală 412. 56 kg) prezintă o reciclabilitate de 73%.

4. CONCLUZII

Bazele de date privind costurile de construcție sunt utilizate în mod tradițional în acest sector pentru a genera și controla bugetele. Aceste baze de date permit determinarea precisă a resurselor utilizate într-un proiect de construcție; în plus, datorită structurii lor interne și clasificării sistematice, este posibilă includerea fiabilă a indicatorilor de mediu pentru calcularea paralelă a costului de mediu al proiectului. Acest lucru devine o oportunitate de a introduce conștientizarea și controlul de mediu al proiectului prin intermediul acestor baze de costuri, integrate pe scară largă de către agenții din sector pentru controlul economic al proiectelor.

Profitând de actualul avânt al tehnologiei BIM, care permite centralizarea tuturor informațiilor din proiect într-un model digital de informații, ei fac din aceasta instrumentul ideal pentru promovarea acestei conștientizări de mediu din bugetele proiectelor.

Incluzând acest calcul al impactului de mediu prin intermediul diferiților indicatori de mediu (CF, EE și CDW), instrumentul propus permite cuantificarea reducerii impactului de mediu generat de proiecte, astfel încât impactul de mediu al noilor soluții să poată fi comparat cu cel al soluțiilor constructive tradiționale.

O mostră a acestei afirmații este extrasă din rezultatele obținute în urma aplicării metodologiei descrise mai sus asupra celor două soluții constructive analizate, observându-se că soluția compusă din materiale tradiționale prezintă un cost economic mai mic decât soluția care încorporează materiale cu criterii de mediu și reciclabilitate, spre deosebire de rezultatele de mediu, unde se apreciază că soluția care încorporează criterii de mediu prezintă un impact mai mic pentru oricare dintre cei trei indicatori (CF, EE și CDW) utilizați în analiză.

Defalcarea detaliată pe elemente de construcție, care este posibilă datorită structurii interne și clasificării sistematice a bazelor de cost, permite identificarea acelor materiale din soluțiile de construcție care generează un impact mai mare asupra mediului și, astfel, propunerea unei alternative de înlocuire care să reducă acest impact. În cazul specific al soluțiilor analizate în această lucrare, materialul de căptușeală a tencuiei interioare (plăci de gips-carton stratificat) a fost identificat ca fiind materialul care produce cel mai mare impact asupra mediului, reprezentând aproximativ 43% din CF și 49% din EE al soluției de construcție.

Acest lucru permite să se propună și să se cuantifice ca alternativă înlocuirea acestui element cu un altul care generează un impact mai mic, mai exact, în acest caz, se ia în considerare înlocuirea acestuia cu foi de lemn fabricate din lemn reciclat, ceea ce



reuşeşte să reducă CF al soluţiei cu aproximativ 55% și EE cu 34%, pe lângă faptul că contribuie la obiectivele de reutilizare și reciclare pe care le urmărește economia circulară.

Scopul instrumentului propus în această lucrare este de a încorpora metodologia de calcul descrisă în proiectele de construcții care utilizează tehnologii BIM. În acest scop, după includerea caracteristicilor proiectului specific și definirea geometrică a obiectelor BIM ale acestuia, impactul asupra mediului al fiecărei soluții de construcție definite anterior poate fi calculat și reprezentat prin intermediul unor indicatori.

Informațiile pot fi adăugate la modelul BIM prin intermediul unor plug-in-uri, inserate direct în software-ul BIM sau prin trimiterea informațiilor BIM către instrumentele de evaluare a mediului. Întrucât este o resursă deschisă, va fi posibilă accesarea gratuită a software-ului și obținerea de tehnici de construcție care să faciliteze reutilizarea materialelor utilizate în construcții.

În concluzie, ideea este de a unifica tehnologia BIM și tehnicile de reevaluare și reutilizare a materialelor de construcție bazate pe principiile economiei circulare, creând astfel un instrument util atât pentru studenți, cât și pentru profesioniștii din domeniul arhitecturii, ingineriei și construcțiilor.

5.REFERINȚE

ACCD (2017) *Andalusia Construction Cost Database, Andalusia Government*. Available at: <https://www.juntadeandalucia.es/organismos/fomentoyvivienda/areas/vivienda-rehabilitacion/planes-instrumentos/paginas/bcca-sept-2017.html>.

Alba-Rodríguez, M. D. (2016) *Modelo de evaluación de la viabilidad económica y ambiental de la recuperación de edificios. Aplicación en edificios residenciales de la ciudad de Sevilla. 'Model for evaluating the economic and environmental viability of building recovery'*. PhD Thesis. University of Seville, Spain. Available at: https://idus.us.es/xmlui/bitstream/handle/11441/44469/VEARE_cerrado.pdf?sequence=1 (Accessed: 21 August 2018).

Alba-Rodríguez, M. D. *et al.* (2017) 'Building rehabilitation versus demolition and new construction: Economic and environmental assessment', *Environmental Impact Assessment Review*. Elsevier, 66, pp. 115–126. doi: 10.1016/j.eiar.2017.06.002.

Camporeale, P. and Mercader-Moyano, P. (2019) "Towards Nearly Zero Energy Buildings: Shape Optimization of Typical Housing Typologies in Ibero-American Temperate Climate Cities from a Holistic Perspective", *Solar Energy*. Elsevier, 193C. pp. 738-765. doi: 10.1016/j.solener.2019.09.091

CSI/CSC (1983) 'Construction Specifications Institute/Construction Specifications Canada. Masterformat manual of practice (MP2-1). Alexandria, Va.'

Department of Housing, P. W. and T. of the B. G. (2012) 'BDEU in the Basque Country'.
Directiva_2018/844/UE (2018) *Directiva 2018/844/UE del Parlamento Europeo y del*



Consejo, de 30 de mayo de 2018, por las que se modifica la Directiva 2010/31/UE relativa a la eficiencia energética de los edificios y la Directiva 2012/27/UE relativa a la eficiencia energética.

EHE-08 (2008) *Instrucción de Hormigón Estructural. Structural Concrete Instruction, normative series 2011 Spanish Government Ministry of Development General Technical Secretariat.*

EUROPEAN COMMISSION (2019) *Closing the circle: Commission delivers on Action Plan for the Circular Economy.* Available at: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/es/IP_19_1480 (Accessed: 12 February 2020).

Freire-Guerrero, A., Alba-Rodríguez, M. D. and Marrero, M. (2019) 'A budget for the ecological footprint of buildings is possible: A case study using the dwelling construction cost database of Andalusia', *Sustainable Cities and Society*. Elsevier, 51, p. 101737. doi: 10.1016/J.SCS.2019.101737.

Freire Guerrero, A. and Marrero, M. (2015) 'Evaluation of the embodied energy of a construction project using the budget', *Habitat Sustentable*, 5(1), pp. 54–63.

Freire Guerrero, A., Marrero Meléndez, M. and Muñoz Martín, J. (2016) 'Incorporación de huella de carbono y huella ecológica en las bases de costes de construcción. Estudio de caso de un proyecto de urbanización en Écija, España', *Hábitat Sustentable*, ISSN-e 0719-0700, Vol. 6, Nº. 1, 2016 (Ejemplar dedicado a: Junio), págs. 6-17. Universidad del Bío-Bío, 6(1), pp. 6–17.

Frischknecht, R. et al. (2005) 'The ecoinvent database: Overview and methodological framework (7 pp)', *The international journal of life cycle assessment*. Springer, 10(1), pp. 3–9.

Geng, S. et al. (2017) 'Building life cycle assessment research: A review by bibliometric analysis', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier, 76, pp. 176–184.

IDAE (2011) *Factores de emisión de CO2 / CO2 emission factors.*

IETcc (2010) *Catálogo de Elementos Constructivos del CTE. Instituto Eduardo Torroja de ciencias de la construcción (IETcc).*

ISO_14040: (2006) *Environmental Management: Life Cycle Assessment; Principles and Framework. International Standardization Organization. ISO.*

ISO_14044: (2006) *Environmental Management, Life Cycle Assessment, Requirements and Guidelines. International Standardization Organization. ISO.*

ISO_15804:2012+A1:2013 (2012) 'Sustainability of construction works. International Standardization Organization.', *Environmental product declarations. Core rules for the product category of construction products.*

ITeC (2012) *Institute of Construction Technology of Catalonia, Barcelona.*

Jones, A. R. (1987) 'CI/SfB construction indexing manual', *Royal Institute of British Architects RIBA. London, U.K.*

Marrero, M. et al. (2017) 'Assessing the economic impact and ecological footprint of construction and demolition waste during the urbanization of rural land', *Resources*,



- Conservation and Recycling*, 117, pp. 160–174. doi: 10.1016/j.resconrec.2016.10.020.
- Marrero, M. and Ramirez-De-Arellano, A. (2010) 'The building cost system in Andalusia: application to construction and demolition waste management', *Construction Management and Economics*. Routledge, 28(5), pp. 495–507. doi: 10.1080/01446191003735500.
- Marrero, M., Rivero-Camacho, C. and Alba-Rodríguez, M Desirée (2020) 'What are we discarding during the life cycle of a building? Case studies of social housing in Andalusia, Spain', *Waste Management*. Elsevier, 102, pp. 391–403.
- Marrero, M., Rivero-Camacho, C. and Alba-Rodríguez, M. Desirée (2020) 'What are we discarding during the life cycle of a building? Case studies of social housing in Andalusia, Spain', *Waste Management*. Elsevier Ltd, 102, pp. 391–403. doi: 10.1016/j.wasman.2019.11.002.
- Martínez-Rocamora, A. *et al.* (2016) 'LCA databases focused on construction materials: A review', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier, 58, pp. 565–573. doi: 10.1016/j.rser.2015.12.243.
- Martínez-Rocamora, A., Solís-Guzmán, J. and Marrero, M. (2016) 'Toward the Ecological Footprint of the use and maintenance phase of buildings: Utility consumption and cleaning tasks', *Ecological Indicators*, 69, pp. 66–77. doi: 10.1016/j.ecolind.2016.04.007.
- Martínez-Rocamora, A., Solís-Guzmán, J. and Marrero, M. (2017) 'Ecological footprint of the use and maintenance phase of buildings: Maintenance tasks and final results', *Energy and Buildings*. Elsevier Ltd, 155, pp. 339–351. doi: 10.1016/j.enbuild.2017.09.038.
- Mercader Moyano, P., Esquivias, P.M. and Muntean, R. (2020) "Eco-Efficient Analysis of a Refurbishment Proposal for a Social Housing", *Sustainability*. 2020. Vol. 12. Núm. 17. doi 10.3390/su12176725
- Ministry of Infrastructure, Territory and Environment, G. V. (2012) 'BDC-IVE in Valencia'.
- Ministry of the Environment and Planning of the Territory, C. of M. (2007) 'BPCM Madrid'.
- Official College of Quantity Surveyors, T. A. and B. E. of G. (2012) 'PRECIOCENTRO of Guadalajara'.
- Omniclass (2012) 'A strategy for classifying the built environment - Table 13: Spaces by function'.
- Ramírez-de-Arellano-Agudo, A. (2010) 'Presupuestación de obras / Budgeting of works', *Edited by the Secretariat of the University of Seville (1998)*. Seville.
- RD_314 (2006) *Código técnico de la edificación (CTE): Real Decreto 314/2006, de 17 de Marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación*. Ministerio de Vivienda.
- REE (2014) *El sistema eléctrico español / The Spanish electric system*.
- Ruiz-Pérez, M. R., Alba-Rodríguez, M. D. and Marrero, M. (2019) 'The water footprint of city naturalisation. Evaluation of the water balance of city gardens.', in *The 22nd*



biennial conference of *The International Society for Ecological Modelling (ISEM)*. SALZBURG, AUSTRIA.

Ruiz-Pérez, M. R., Alba Rodríguez, M. D. and Marrero, M. (2017) 'Systems of Water Supply and Sanitation for Domestic Use. Water Footprint and Carbon Footprint Evaluation: First Results', in Research, I. I. C. on C. and B. (ed.). Santa Cruz de Tenerife, España.

SEOPAN (2008) *Machinery costs manual (in Spanish: Manual de costes de maquinaria)*. Available:

http://www.concretonline.com/pdf/07construcciones/art_tec/SeopanManualCostes.pdf (accessed 01.07.16).

Solís-Guzmán, J. *et al.* (2009) 'A Spanish model for quantification and management of construction waste.', *Waste management (New York, N.Y.)*, 29(9), pp. 2542–8. doi: 10.1016/j.wasman.2009.05.009.

Solís-Guzmán, J. *et al.* (2018a) 'Carbon Footprint Estimation Tool for Residential Buildings for Non-Specialized Users: OERCO2 Project', *Sustainability*, 10(5), p. 1359. doi: 10.3390/su10051359.

Solís-Guzmán, J. *et al.* (2018b) 'Carbon Footprint Estimation Tool for Residential Buildings for Non-Specialized Users: OERCO2 Project', *Sustainability*, 10(5), p. 1359. doi: 10.3390/su10051359.

Solís-Guzmán, J., Martínez-Rocamora, A. and Marrero, M. (2014) 'Methodology for Determining the Carbon Footprint of the Construction of Residential Buildings', in Springer Singapore, pp. 49–83. doi: 10.1007/978-981-4560-41-2_3.

Spanish_CDW_Recycling_Association (2017) *Report on Production and Management of Construction and Demolition Waste (CDW) in Spain*. Available at: <https://rcdasociacion.es/images/documents/Informe-RCDA-11-15.pdf> (Accessed: 5 May 2020).

Telford, T. (1991) 'Civil engineering standard method of measurement', *3rd Ed., LTD., U. K.*, 4–39.

UNE-EN_15978 (2012) 'Standard UNE-EN 15978. Sustainability of construction works - Assessment of environmental performance of buildings - Calculation method.'

UNEP (2018) 'Global Status Report: Towards a Zero-emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector'. Available at: <https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/27140> (Accessed: 5 May 2020).

UniFormat™. The Construction Specifications Institute (1998) 'A Uniform Classification of Construction Systems and Assemblies. Alexandria, VA'.