



## TESI DOCTORAL 2016

# MODEL DE SIMULACIÓ PER L'OPTIMITZACIÓ EN L'EDIFICACIÓ ATENENT LA NORMATIVA DE SOSTENIBILITAT (IMPACTES AMBIENTALS, ECONÒMICS I SOCIALS).

AUTOR:	ANTONI FONSECA I CASAS
DIRECTORA:	NÚRIA GARRIDO
CENTRE:	INSTITUT DE SOSTENIBILITAT
UNIVERSITAT:	UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
DATA:	19/12/2016





Aquesta obra està sota una llicència:

[Creative Commons Reconeixement-NoComercial-SenseObraDerivada 3.0 Unported](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/)

## Acta de qualificació de tesi doctoral

Curs acadèmic:

Nom i cognoms

Programa de doctorat

Unitat estructural responsable del programa

## Resolució del Tribunal

Reunit el Tribunal designat a l'efecte, el doctorand / la doctoranda exposa el tema de la seva tesi doctoral titulada

Acabada la lectura i després de donar resposta a les qüestions formulades pels membres titulars del tribunal, aquest atorga la qualificació:

NO APTE

APROVAT

NOTABLE

EXCEL·LENT

(Nom, cognoms i signatura)		(Nom, cognoms i signatura)	
President/a		Secretari/ària	
(Nom, cognoms i signatura)	(Nom, cognoms i signatura)	(Nom, cognoms i signatura)	(Nom, cognoms i signatura)
Vocal	Vocal	Vocal	Vocal

\_\_\_\_\_, \_\_\_\_\_ d'/de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_

El resultat de l'escrutini dels vots emesos pels membres titulars del tribunal, efectuat per la Comissió Permanent de l'Escola de Doctorat, atorga la MENCIÓ CUM LAUDE:

SÍ

NO

(Nom, cognoms i signatura)	(Nom, cognoms i signatura)
President/a de la Comissió Permanent de l'Escola de Doctorat	Secretari/ària de la Comissió Permanent de l'Escola de Doctorat

Barcelona, \_\_\_\_\_ d'/de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_



## AGRAÏMENTS

Aquests anys realitzant la tesi doctoral van començar amb una il·lusió, passant per moments intensos de desenvolupament i participació en projectes relacionats d'alt impacte, i, finalment, ha estat un gran repte fet realitat.

M'ha permès conèixer altres companys de l'entorn que han col·laborat directament aportant idees, noves perspectives i majors possibilitats al disseny inicial proposat. Gràcies al grup de treball format, heterogeni i amb diferents tècnics d'àmbits diversos, s'ha nodrit el projecte de les visions particulars necessàries.

Especialment, agrair al grup de treball Summlab i InLab de la UPC Barcelonatech, pel suport donat i creure en la proposta. He tingut molta sort en haver participat en projectes i concursos com el Solar Decathlon, coneixent excel·lents companys de professió, col·laborant amb empreses com ACCIONA Infraestructuras S.A., Vias y Construcciones S.A., LaVola, CISOL UPC, IREC i, darrerament ITEC. Sense ells no hagués estat possible aquest somni que, en un principi semblava tan llunyà. Particularment, agrair a la tutora de tesi, per aportar idees, oportunitats per treballar amb projectes reals permetent validar el model, en respondre sempre amb la màxima rapidesa i entendre les dificultats sorgides per haver de combinar la vida investigadora i professional, moltes vegades molt complicada.

Agrair els companys de feina per la paciència i confiança dipositada i, evidentment, a l'entorn familiar proper que m'ha donat la serenitat, tranquil·litat i fortalesa necessàries que m'han permès centrar-me al llarg de les múltiples hores de desenvolupament.

La presentació de la tesi no es planteja com un final d'etapa, sinó com un inici, amb l'interès de continuar el desenvolupament, incrementant funcionalitats i potencialitat del sistema presentat, amb la mateixa il·lusió, renovada i amb ganes de donar a conèixer el projecte i que pugui ser aplicat i utilitzat, per tal d'aportar, en la seva mesura, el necessari per caminar junts a un entorn més conscient, respectuós, cooperatiu i sostenible.



## RESUM

En els darrers anys, s'han desenvolupat noves polítiques internacionals i nacionals per incentivar la millora de l'eficiència energètica i reduir els impactes ambientals, econòmics i socials derivats de l'activitat econòmica i industrial. Cal destacar les directrius europees 210/31/UE i 2012/27/UE, relatives a l'eficiència energètica dels edificis, o les polítiques estratègiques plantejades en el Consell Europeu conegudes com 20-20-20 (per una reducció de les emissions de gasos d'efecte hivernacle, estalvi energètic i proposta de increment en la generació d'energia mitjançant fonts renovables), que, conjuntament amb la norma internacional de sostenibilitat de la construcció CEN/TC 350, transposada, en l'àmbit nacional, pel grup de treball AEN/CTN 198, ha generat un marc de treball prou important per caminar cap un entorn més sostenible.

Com a resposta a les necessitats actuals i al buit existent per tal d'avaluar, amb criteri, els sistemes, atenent les polítiques anteriorment esmentades, es desenvolupa un model de simulació, anomenat *BuildingSim*, basat en llenguatge estàndard, formal gràfic i complert SDL (*Specification and Description Language*) normat per la ITU-T. Aquest model és capaç d'atendre a la norma de sostenibilitat (impactes ambientals, econòmics i socials) analitzant l'estudi de cas escollit segons el seu cicle de vida complert (des del disseny, passant pel procés de la construcció, ús/manteniment i desconstrucció), tenint en compte els processos de reutilització i compensació energètica. El model és capaç d'utilitzar diferents motors de càlcul termodinàmics internacionalment reconeguts i validats en múltiples estudis i projectes, en un entorn de co-simulació. Els escenaris simulats, es basen en models BIM (*Building Information Modeling*) que, sota l'ús d'algorismes d'optimització integrats o força bruta, ens permet trobar la corba òptima per localitzar les millors opcions de disseny per reduir els impactes associats.

Segons el plantejament inicial, el model és fàcilment ampliable per entorns de treball diversos, sense necessitat de tenir expertesa en sistemes de programació, comprensible per tots els membres de l'equip, integrant una visió holística, facilitant la validació i verificació del procés. El model no necessita implementació específica i la verificació, donat que l'arquitectura del sistema i el propi model de programació són el mateix, és directa.

El model pot ser aplicat en desenvolupament tecnològic i investigació, en àmbit formatiu de matèries en sostenibilitat i cooperació, en anàlisis *big data*, en projectes professionals i/o per ajudar en la presa de decisions polítiques.

L'estructura de la base de dades del model està preparada per intercanviar informació amb bases de dades nacionals i internacionals per tal d'obtenir la informació necessària per realitzar les simulacions i càlculs pertinents.

Els resultats s'han integrat en llenguatge R, per donar resposta a l'anàlisi estadístic de dades i incrementar la potencialitat de la lectura dels mateixos, obtinguts en els múltiples escenaris simulats.

El model BuildingSim ha estat validat en varis estudis de casos concrets demostrant la seva robustesa i capacitat en ser aplicat en situacions tan diferents com: en el concurs internacional Solar Decathlon pel disseny d'habitatges NZEB (Net Zero Energy Building) en el disseny de *energy-plus buildings* (edificis capaços de generar excedent d'energia); col·laborant amb membres de l'ETSAV (Escola Tècnica Superior d'Arquitectura del Vallès), en el disseny d'una façana activa multifuncional (estudi de cas elaborat sota la proposta inicial de l'empresa ACCIONA Infraestructures S.A.); en el desenvolupament d'una eina de *gamificació* capaç de proporcionar a l'usuari propostes de millora i recomanacions d'eficiència energètica i reducció de l'impacte ambiental pel seu habitatge (conjuntament amb l'empresa Vias y Construcciones S.A. i Lavola 1981 S.A.); o, conjuntament amb el IREC (Institut de Recerca d'Energia de Catalunya), en l'estudi Optihab, realitzat en el marc del projecte internacional MARIE, per proporcionar informació tècnica i econòmica per optimitzar la renovació energètica del sector residencial a Catalunya.

Finalment, el model s'ha integrat en un entorn *cloud* de treball anomenat NECADA permetent que tècnics no especialitzats puguin utilitzar el sistema de co-simulació de forma intuïtiva i àgil. La capacitat del *cloud* aporta rapidesa, potencialitat de càlcul i escalabilitat (utilització de servidors en paral·lel al *cloud*).

El model presentat té una gran capacitat d'evolució i millora gràcies a la metodologia emprada i en l'entorn de treball desenvolupat, mostrant-se com una eina eficaç en la presa de decisions en l'àmbit de l'optimització de processos, especialment, dins de la sostenibilitat.



## RESUMEN

En los últimos años, se han desarrollado nuevas políticas internacionales y nacionales para incentivar la mejora de la eficiencia energética y reducir los impactos ambientales, económicos y sociales derivados de la actividad económica e industrial. Destacar las directrices europeas 210/31/UE y 2012/27/UE, relativas a la eficiencia energética de los edificios, o las políticas estratégicas planteadas en el Consejo Europeo conocidas como 20-20-20 (para una reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, ahorro energético y propuesta de incremento en la generación de energía mediante fuentes renovables), que, conjuntamente con la norma internacional de sostenibilidad de la construcción CEN/TC 350, transpuesta, en el ámbito nacional, por el grupo de trabajo AEN/CTN 198, ha generado un marco de trabajo suficientemente importante para caminar hacia un entorno más sostenible.

Como respuesta a las necesidades actuales y al vacío existente para evaluar, con criterio, los sistemas atendiendo las políticas anteriormente mencionadas, se desarrolla un modelo de simulación, llamado *BuildingSim*, basado en lenguaje estándar, formal gráfico y cumplido SDL (*Specification and Description Language*) normado por la ITU-T. Este modelo es capaz de atender a la norma de sostenibilidad (impactos ambientales, económicos y sociales) analizando el estudio de caso escogido según su ciclo de vida completo (desde el diseño, pasando por el proceso de la construcción, uso/mantenimiento y deconstrucción), teniendo en cuenta los procesos de reutilización y compensación energética. El modelo es capaz de utilizar diferentes motores de cálculo termodinámicos internacionalmente reconocidos y validados en múltiples estudios y proyectos, en un entorno de co-simulación. Los escenarios simulados, se basan en modelos BIM (*Building Information Modeling*) que, bajo el uso de algoritmos de optimización integrados o fuerza bruta, nos permite encontrar la curva óptima para localizar las mejores opciones de diseño para reducir los impactos asociados.

Según el planteamiento inicial, el modelo es fácilmente ampliable para entornos de trabajo diversos, sin necesidad de tener experiencia en sistemas de programación, es comprensible para todos los miembros del equipo, integrando una visión holística, facilitando la validación y verificación del proceso. No necesita implementación específica y la verificación, dado que la arquitectura del sistema y el propio modelo de programación son lo mismo, es directa.

El modelo puede ser aplicado en desarrollo tecnológico e investigación, en ámbito formativo de materias en sostenibilidad y cooperación, en análisis *big data*, en proyectos profesionales y/o para ayudar en la toma de decisiones políticas.

La estructura de la base de datos del modelo está preparada para intercambiar información con bases de datos nacionales e internacionales para obtener la información necesaria con el fin de realizar las simulaciones y cálculos pertinentes.

Los resultados se han integrado en lenguaje R, para dar respuesta al análisis estadístico de datos e incrementar la potencialidad de la lectura de los mismos, obtenidos en los múltiples escenarios simulados.

El modelo BuidingSim ha sido validado en varios estudios de casos concretos demostrando su robustez y capacidad al ser aplicado en situaciones tan diferentes como: en el concurso internacional Solar Decathlon por el diseño de viviendas NZEB (*Net Zero Energy Building*) en el diseño de *energy-plus buildings* (edificios capaces de generar excedente de energía); colaborando con miembros de la ETSAV (Escuela Técnica Superior de Arquitectura del Vallés), en el diseño de una fachada activa multifuncional (estudio de caso elaborado bajo la propuesta inicial de la empresa ACCIONA Infraestructuras S.A.); en el desarrollo de una herramienta de *gamificación* capaz de proporcionar al usuario propuestas de mejora y recomendaciones de eficiencia energética y reducción del impacto ambiental para su vivienda (conjuntamente con la empresa Vias y Construcciones S.A. y Lavola 1981 S.A.); o, conjuntamente con el IREC (Instituto de Investigación de Energía de Cataluña), en el estudio Optihab, realizado en el marco del proyecto internacional MARIE, para proporcionar información técnica y económica para optimizar la renovación energética del sector residencial en Cataluña.

Finalmente, el modelo se ha integrado en un entorno *cloud* de trabajo llamado NECADA permitiendo que técnicos no especializados puedan utilizar el sistema de co-simulación de forma intuitiva y ágil. La capacidad del *cloud* aporta rapidez, potencialidad de cálculo y escalabilidad (utilización de servidores en paralelo en el *cloud*).

El modelo presentado tiene una gran capacidad de evolución y mejora gracias a la metodología empleada y en el entorno de trabajo desarrollado, mostrándose como una herramienta eficaz en la toma de decisiones en el ámbito de la optimización de procesos, especialmente, dentro de la sostenibilidad.

## ABSTRACT

In the last years, international and national policies have been developed in order to encourage the improvement of energy efficiency. They have also been developed in order to reduce the environmental, economic and social impacts due to economic and industrial activity. It is necessary to highlight the European guidelines 2010/31/UE and 2012/27/UE, in relation to buildings' energy efficiency, or the strategic policies raised in the European Council, known as 20-20-20 (for a reduction of emissions of greenhouse gases, energy savings and for a proposal of increase in the generation of energy through renewable sources) which has generated an important framework to move towards a more sustainable environment, jointly with the international building sustainability regulation CEN/TC 350, transposed nationally by the working group AEN/CTN 198.

As an answer to the actual needs and to the vacuum to evaluate systems, responding to all the policies previously mentioned, a simulation model called *BuildingSim* has been developed, which is based in standard language, formal graphic and complete SDL (*Specification and Description Language*), regulated by the ITU-T. This model is able to respond to the sustainability regulation (environmental, economic and social impacts) analyzing the selected case study depending on its complete life cycle (from the design, going through the building process, usage/maintenance and deconstruction), taking in to account the reuse and the energy compensation processes. The model is able to use different thermodynamic calculation engines which are international known and validated in multiple studies and projects in a co-simulation environment. The simulated scenarios are based in BIM models (*Building Information Modeling*) that under the use of integrated algorithms optimization or brute force, allow us to find the optimal curve to locate the best options for designing purposes, in order to reduce associated impacts.

According to the initial approach, the model is easy to be extended for different work environments, without needing to have experience in programming systems. It is understandable for all the team members, because it integrates a holistic vision which facilitates validation and verification of the process. The model doesn't need specific implementation, and verification is direct, because the system's architecture and the own programming model are the same.

The model can be applied in technological development and in research; in the training field of subjects in sustainability and cooperation; in *big data* analysis; in professional projects and / or to assist in political decision making.

The structure of the model database is prepared to exchange information with national and international databases, in order to obtain the necessary information for carrying out the relevant simulations and calculations.

The results have been integrated in R language, to answer to the statistical analysis of data and to increase the potentiality of their reading, which are obtained in the multiple simulated scenarios.

The BuildingSim model has been validated in different concrete cases' studies, which has proved its hardiness and its capacity when it is being applied in different situations: in the Solar Decathlon international contest for NZEB households' design (Net Zero Energy Building) in the *energy-plus buildings'* design (buildings that are able to generate surplus energy); collaborating with members of the ETSAV (Escola Tècnica Superior d'Arquitectura del Vallès) in the design of a multifunctional active facade (case study elaborated under the initial proposal of the company ACCIONA Infraestructuras S.A.); in the development of a gamification tool able to provide to the user improvement proposals, energy efficiency recommendations and reduction of environmental impact for the user's home (jointly with the company Vias and Construcciones S.A. and Lavola 1981 S.A.); or jointly with the IREC (Institut de Recerca d'Energia de Catalunya), in the Optihab research, carried out within the framework of the international MARIE project to provide technical and economic information to optimize the energy renewal of the residential sector in Catalonia.

In the end, the model has been integrated in a *cloud* work environment called NECADA, which allows that non-specialized technicians can use the co-simulations system in an agile and intuitive way. The *cloud* capacity provides speed, calculation potentiality and scalability (use of parallel services in *cloud*).

The displayed model has a big evolution and improvement capacity, thanks to the methodology used and to the work environment in which it has been developed. It has shown to be an efficient tool in decision-making in the scope of the optimization of processes, especially, within sustainability.

# SUMARI

<b>ÍNDIX DE FIGURES</b>	<b>XV</b>
-------------------------	-----------

<b>ÍNDIX DE TAULES</b>	<b>XXIII</b>
------------------------	--------------

<b>1. PREÀMBUL</b>	<b>1</b>
1.1. INTRODUCCIÓ	2
1.2. OBJECTIUS GENERALS	2
1.3. OBJECTIUS ESPECÍFICS	3
1.4. JUSTIFICACIÓ DEL PROJECTE I CAMPS D'ACTUACIÓ	3
1.5. RESUM DE CAPÍTOLS	4
<b>2. MARC GENERAL: ESTAT DE L'ART</b>	<b>5</b>
2.1. SOSTENIBILITAT. EDIFICI COM A SISTEMA VIU	5
2.2. NORMATIVES	9
2.2.1. NORMATIVA EUROPEA	10
2.2.2. NORMATIVA ESPANYOLA	12
2.2.3. NORMATIVA CATALANA – DECRET D'ECOEFICIÈNCIA	15
2.2.4. NORMA INTERNACIONAL DE SOSTENIBILITAT EN LA CONSTRUCCIÓ CEN/TC 350	16
2.2.5. NORMATIVA ESPANYOLA ACV	20
2.3. ANÀLISI DEL CICLE DE VIDA	21
2.3.1. HISTÒRIA	24
2.3.2. DECLARACIONS AMBIENTALS DE PRODUCTE (DAP)	25
2.3.3. PROJECTES D'ACV DESENVOLUPATS EN EDIFICACIÓ	27
2.3.4. BASE DE DADES INTERNACIONALS I NACIONALS	33
2.3.5. EINES ESPECÍFIQUES D'ACV	35
2.4. IMPACTES AMBIENTALS EN L'EDIFICACIÓ	41
2.4.1. OBJECTIUS	41
2.4.2. ANÀLISI DELS IMPACTES AMBIENTALS DURANT EL CICLE DE VIDA EN L'EDIFICACIÓ	42
2.4.3. INDICADORS	47
2.4.4. PROPOSTA DE METODOLOGIA D'ACV SEGONS LA NORMATIVA ESPANYOLA	47
2.5. IMPACTES ECONÒMICS EN L'EDIFICACIÓ	50
2.5.1. OBJECTIUS	50
2.5.2. ANÀLISI DEL IMPACTE ECONÒMIC DURANT EL CICLE DE VIDA EN L'EDIFICACIÓ	51
2.5.3. INDICADORS	54

2.5.4.	PROPOSTA DE METODOLOGIA SEGONS LA DIRECTIVA 2012/27/UE	55
<b>2.6.</b>	<b>IMPACTES SOCIALS EN L'EDIFICACIÓ</b>	<b>58</b>
2.6.1.	OBJECTIUS	58
2.6.2.	ANÀLISI DELS IMPACTES SOCIALS DURANT EL CICLE DE VIDA EN L'EDIFICACIÓ	59
2.6.3.	INDICADORS	59
2.6.4.	PROPOSTA DE METODOLOGIA SEGONS LA NORMATIVA	63
<b>2.7.</b>	<b>PROGRAMES INFORMÀTICS DE SIMULACIÓ</b>	<b>65</b>
2.7.1.	MÈTODES DE CÀLCUL	65
2.7.2.	MOTORS DE CÀLCUL	70
2.7.3.	ENERGYPLUS	72
2.7.4.	EINES ON-LINE / SMARTPHONE	76
<b>2.8.</b>	<b>EINES INFORMÀTIQUES D'OPTIMITZACIÓ</b>	<b>78</b>
2.8.1.	MÈTODES DE CÀLCUL – ALGORISMES D'OPTIMITZACIÓ	78
2.8.2.	PROGRAMES D'OPTIMITZACIÓ PER EFICIÈNCIA ENERGÈTICA EN EDIFICACIÓ	79
2.8.3.	PROGRAMES DE INTEGRACIÓ D'OPTIMITZACIÓ: CO-SIMULACIÓ	85
<b>3.</b>	<b>BUILDINGSIM</b>	<b>87</b>
<b>3.1.</b>	<b>OBJECTIUS</b>	<b>87</b>
<b>3.2.</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>88</b>
3.2.1.	ARQUITECTURA DEL MODEL	88
3.2.2.	LLENGUATGE SDL: INTEGRACIÓ DEL MODEL	90
3.2.3.	SDLPS	97
3.2.4.	DISSENY DE LA BBDD I INTEGRACIÓ DELS IMPACTES	102
3.2.5.	MOTORS DE CÀLCUL INTEGRATS	104
3.2.6.	ALGORISMES D'OPTIMITZACIÓ	106
3.2.7.	RESULTATS DE LES SIMULACIONS	108
<b>3.3.</b>	<b>NECADA: INTEGRACIÓ DEL MODEL AL CLOUD COMPUTING – WEB SERVICE</b>	<b>110</b>
3.3.1.	ARQUITECTURA DEL MODEL	110
3.3.2.	FUNCIONAMENT	114
<b>3.4.</b>	<b>VERIFICACIÓ DEL MODEL</b>	<b>122</b>
3.4.1.	INTRODUCCIÓ	122
3.4.2.	OBJECTIUS	123
3.4.3.	METODOLOGIA	123
3.4.4.	RESULTATS	125
3.4.5.	CONCLUSIONS	129
<b>3.5.</b>	<b>CONCLUSIONS GENERALS</b>	<b>130</b>

<b>4. ESTUDI DE CASOS</b>	<b>133</b>
<b>4.1. SOLAR DECATHLON (2010-2012)</b>	<b>133</b>
4.1.1. INTRODUCCIÓ	133
4.1.2. OBJECTIUS	134
4.1.3. METODOLOGIA	135
4.1.4. RESULTATS	140
4.1.5. CONCLUSIONS	143
<b>4.2. ACCIONA – DISSENY DE FAÇANA DOBLE MITJANÇANT SISTEMES DE CO-SIMULACIÓ INFORMÀTICA. CÀLCUL TÈRMIC DINÀMIC I CFD.</b>	<b>145</b>
4.2.1. INTRODUCCIÓ	145
4.2.2. OBJECTIUS	146
4.2.3. METODOLOGIA	147
4.2.4. RESULTATS	156
4.2.5. CONCLUSIONS	169
<b>4.3. PROJECTE ACE: ASSISTENT PER A L'EDUCACIÓ PER AL COMPORTAMENT ENERGÈTIC EFICIENT DELS USUARIS.</b>	<b>172</b>
4.3.1. INTRODUCCIÓ	172
4.3.2. OBJECTIUS	173
4.3.3. METODOLOGIA	174
4.3.4. RESULTATS	184
4.3.5. CONCLUSIONS	193
<b>4.4. OPTIHAB. PROJECTE MARIE: OPTIMITZACIÓ PER LA REHABILITACIÓ ENERGÈTICA DEL SECTOR RESIDENCIAL A CATALUNYA.</b>	<b>194</b>
4.4.1. INTRODUCCIÓ	194
4.4.2. OBJECTIUS	195
4.4.3. METODOLOGIA	196
4.4.4. RESULTATS	208
4.4.5. CONCLUSIONS	213
<b>5. CONCLUSIONS GENERALS</b>	<b>215</b>
5.1. BUILDINGSIM	215
5.2. CASOS D'ESTUDI ANALITZATS	216
5.3. ENTORN NECADA	217
<b>6. LÍNIES DE DESENVOLUPAMENT FUTUR</b>	<b>219</b>

<b>7. APORTACIONS / PUBLICACIONS REALITZADES I CONGRESSOS ASSISTITS</b>	<b>223</b>
<b>7.1. REVISTES INDEXADES PUBLICADES AL LLARG DE LA TESI DOCTORAL</b>	<b>223</b>
<b>7.2. REVISTES I CONGRESSOS PARTICIPATS AL LLARG DE LA TESI DOCTORAL</b>	<b>223</b>
<b>7.3. PROJECTES NACIONALS/EUROPEUS PARTICIPATS</b>	<b>224</b>
<b>8. BIBLIOGRAFIA</b>	<b>227</b>



## ÍNDIX DE FIGURES

---

Fig. 1. Triada de sostenibilitat. Font: Stockport (Stockport, 2010).....	5
Fig. 2. Tancant el cycle dels materials de l'edifici prototip ECO, projecte del Solar Decathlon 2012. Font: Cradle to cradle (Michael Braungart, 2010). Elaboració: CONAMA 2012 .....	6
Fig. 3. Emissions, energia i massa d'un estudi de referència. Font: (Societat Orgànica, 2013). .....	7
Fig. 4. Relació del % de consum d'energia i emissions de CO <sub>2</sub> que s'emeten a l'atmosfera en el cycle de vida d'un edifici tipus convencional. Font: (Wadel G. , 2009). .....	7
Fig. 5. Impactes ambientals de l'edificació convencional. El marge de millora es situa entre un 40-50%. Font: (Wadel, Avellanada, & Cuchí, 2010). .....	8
Fig. 6. Concepte d'avaluació de la sostenibilitat d'edificis. Font: (AENOR. UNE-EN 15643-1, 2012). Elaboració: elaboració pròpia. ....	16
Fig. 7. Programa de treball del comitè tècnic CEN/TC 350. Font: (AENOR. UNE-EN 15643-1, 2012). Elaboració: elaboració pròpia. ....	17
Fig. 8. Organització del resultat de l'avaluació en funció de les etapes del cycle de vida i grups d'informació. Font: (AENOR. UNE-EN 15643-1, 2012). Elaboració: elaboració pròpia. ....	19
Fig. 9. Etapes d'un ACV. Font: (UNE-EN ISO 14040, 2006). .....	22
Fig. 10. Procediments simplificat per l'anàlisi del inventari. Font: (UNE-EN ISO 14044, 2006).....	23
Fig. 11. Esquema dels mòduls d'informació per les diferents etapes de l'avaluació de l'edifici. Font: (AENOR. UNE-EN 15978, 2012). .....	42
Fig. 12. Principi de càlcul matricial dels impactes ambientals per al mòdul i del cycle de vida de l'edifici i fonts de dades pertinents. Font: (AENOR. UNE-EN 15978, 2012) .....	49
Fig. 13. Relació òptima entre benefici-cost. Font: (BPIE - Buildings Performance Institute Europe -, 2012). Elaboració: elaboració pròpia.....	50
Fig. 14. Mòduls d'informació aplicats a l'avaluació del comportament econòmic d'un edifici. Font: (AENOR, 2012). Elaboració: elaboració pròpia.....	51
Fig. 15. Diferents paquets de situacions d'estudi. Font: (Hamdy, Hasan, & Siren, 2011). Font: elaboració pròpia. ....	56
Fig. 16. Concepte d'avaluació de l'acompliment social dels edificis. Font: (AENOR. UNE-EN 15643-3, 2012). .....	64
Fig. 17. Diagrama de les metodologies pel modelatge tèrmic i dimensionat de fluxos. Font: (CIBSE Guide A, 2006, pág. 174).....	69
Fig. 18. Exemples de mètodes, autors i programes. Font: (IDAE, 2008). .....	70
Fig. 19. Visió general del software EnergyPlus v.7.0. Font: Cas d'estudi propi. ....	72
Fig. 20. Imatge dels diferents mòduls en que es basa EnergyPlus. Font: (Drury B. Crawleya, y otros, 2001). .....	74
Fig. 21. Interface general de JePlus. Font: (Zhang, 2013). .....	80
Fig. 22. Cas d'estudi amb JePlus, amb 34.560 situacions. Font: (Yi & Ivan , 2010). .....	80

Fig. 23. Interfície entre GenOpt i el programa de simulació que avalua la funció de cost.....	81
Fig. 24. Visió general del funcionament de programa GenOpt durant el progrés de l'optimització. Font: (GenOpt, 2011).....	82
Fig. 25. Visió general del funcionament de programa GenOpt durant el progrés de l'optimització (2) . Font: (GenOpt, 2011).....	82
Fig. 26. Pantalla de resultats per múltiples casos d'estudi. Font: (BeOpt, 2012). ....	83
Fig. 27. Procés de càlcul de seqüenciació per arribar a l'òptim. Font: (Horowitz & Christensen, 2008).84	
Fig. 28. Procés de càlcul de seqüenciació per arribar a l'òptim. Font: (BeOpt, 2012).....	84
Fig. 29. Pantalla de resultats per un cas concret d'estudi. Font: (Craig , Scott , Todd, Adam , & Greg , 2005). ....	85
Fig. 30. Sistemes i subsistemes que component el llenguatge SDL. Font: (Doldi L. , 2001). ....	85
Fig. 31. Imatge general del BCVTB. Font: (Building Technologies Department, 2012). ....	86
Fig. 32. Estructura general del simulador (sistema gràfic). Font: elaboració pròpia. ....	88
Fig. 33. Estructura general del simulador. Llenguatge SDL. Font: elaboració pròpia. ....	90
Fig. 34. Procés B1_Environment. Font: elaboració pròpia.....	91
Fig. 35. Estructura del procés Ús/Manteniment. Procés corresponent a l'etapa B, segons la normativa de sostenibilitat. Llenguatge SDL. Font: elaboració pròpia.....	92
Fig. 36. Subprocés desconstrucció. Es recupera en tots els valors dels materials i solucions constructives atenent als seus indicadors de sostenibilitat (impactes ambientals, econòmics i socials) i es reporten com a resultats. Font: elaboració pròpia. ....	94
Fig. 37. Definició de les diferents variables que s'utilitza en el model en el diagrama de procés SDL utilitzant el bloc de DCL. Font: elaboració pròpia. ....	95
Fig. 38. Definició dels diferents processos en format SDLPS per tal de ser executat en el simulador. Font: elaboració pròpia. ....	96
Fig. 39. El model BuildingSim dins del programa SDLPS. S'està iniciant l'execució per a la simulació. ...	97
Fig. 40. Visió del panell de control del programa SDLPS. Font: elaboració pròpia .....	97
Fig. 41. A partir del *.perm definit pel tècnic que general les permutacions de partida es general l'arxiu *.param on es defineix cada parametrització per la simulació i l'arxiu *.exp que conté l'experimentació total. Font: elaboració pròpia .....	98
Fig. 42. Fragment d'un tros de codi d'un arxiu *.perm on observem les diferents etiquetes i capçaleres per tal de definir el tipus d'optimització i les diferents permutacions que es realitzaan en les simulacions. ....	99
Fig. 43. Opcions de simulació en el SDLPS. Font: elaboració pròpia.....	99
Fig. 44. Generació del codi per l'execució via SDLPS. Font: elaboració pròpia .....	99
Fig. 45. Finestra de comprovació d'errors del SDLPS. Font: elaboració pròpia .....	100
Fig. 46. Icones del SDLPS per realitzar la simulació. Font: elaboració pròpia .....	100
Fig. 47. Possibilitats de finalització de les simulacions amb el SDLPS. Font: elaboració pròpia.....	101
Fig. 48. Esquema de funcionament de la BBDD. Font: elaboració pròpia.....	102

Fig. 49. Crida específica del motor de càlcul EnergyPlus o TRNSYS, segons estudi de cas. Font: elaboració pròpia. ....	105
Fig. 50. Formulari d'elecció de l'algorisme. Font: SDLPS. ....	107
Fig. 51. Resultats calculats segons motor de càlcul termodinàmic.. Font: Elaboració pròpia.....	108
Fig. 52. Exemple dels possibles gràfics que es poden generar a partir de la llibreria plotly R 2.0. Gràfic 3d (esquerra) útil per representar 3 indicadors a la vegada; gràfic núvol de punts (dreta) útil per representar el creuament de 2 indicadors. Font: <a href="https://plot.ly/feed/">https://plot.ly/feed/</a> . ....	109
Fig. 53. Exemple dels possibles gràfics que es poden generar a partir de la llibreria plotly R 2.0. Gràfic de barres útil per representar el valor de cada escenari d'estudi o el impacte de cada etapa del cicle de vida atenent un escenari concret. Font: <a href="https://plot.ly/feed/">https://plot.ly/feed/</a> . ....	109
Fig. 54. Exemple dels possibles gràfics que es poden generar a partir de la llibreria plotly R 2.0. Gràfic de corves de tendències útil per veure, per exemple, variacions tèrmiques. ....	110
Fig. 55. Relació de Necada, la web OptiSim i el NAS de memòria. Font: elaboració pròpia. ....	111
Fig. 56. Relació de NECADA amb les màquines virtuals. Font: elaboració pròpia. ....	112
Fig. 57. Relació d'execució en el servidor i en les màquines virtuals. Font: elaboració pròpia.....	112
Fig. 58. Estructura de carpetes generades per 'OptisimDaemon'. Font: elaboració pròpia. ....	113
Fig. 59. Finestra de funcionament del 'OptisimDaemon'. Font: elaboració pròpia.....	113
Fig. 60. Relació de les simulacions i resultats generats entre Necada i el NAS. Font: elaboració pròpia. .....	114
Fig. 61. Diagrama arquitectura Necada. Font: (Vila, 2016) .....	114
Fig. 62. Pàgina principal de NECADA. Font: <a href="http://www.necada.com">www.necada.com</a> .....	115
Fig. 63. DASHBOARD específic per usuari. Font: <a href="http://www.necada.com">www.necada.com</a> .....	115
Fig. 64. Pàgina on es puja l'arxiu IDF. Font: <a href="http://www.necada.com">www.necada.com</a> .....	116
Fig. 65. S'assigna l'arxiu de clima. Font: <a href="http://www.necada.com">www.necada.com</a> .....	117
5. Fig. 66. Opció "obrir projecte" de la web de Necada. Font: elaboració pròpia.....	118
Fig. 67. Opció "models de construcció" de la web de Necada. Font: elaboració pròpia.....	118
Fig. 68. Opció de "materials" de la web de Necada. Font: elaboració pròpia.....	119
Fig. 69. Imatge on es carreguen els impactes associats. Font: <a href="http://www.necada.com">www.necada.com</a> . ....	119
Fig. 70. Creació d'un experiment. Font: <a href="http://www.necada.com">www.necada.com</a> . ....	120
Fig. 71. En aquesta finestra és on es poden introduir les diferents permutacions i escollir l'algorisme d'optimització desitjat. Font: <a href="http://www.necada.com">www.necada.com</a> . ....	120
Fig. 72. Exemple resultat d'un estudi de cas realitzat amb l'entorn NECADA (projecte ACE – veure 4.3). Font: <a href="http://www.necada.com">www.necada.com</a> . ....	121
Fig. 73. Espai d'estudi on es mostra la façana principal amb la finestra que servirà per generar els diferents escaris. Font: elaboració pròpia. ....	122
Fig. 74. Arxiu *.perm on es mostra els possibles algorismes a utilitzar, les diferents zones climàtiques i orientacions. Font: elaboració pròpia. ....	124

Fig. 75. Arxiu *.perm on es mostra els impactes econòmics i ambientals relacionats amb la solució constructiva amb aïllament eps de 20 cm. Font: elaboració pròpia.....	124
Fig. 76. Arxiu *.csv pels materials on es mostren els resultats per a cada escenari. Font: elaboració pròpia. ....	125
Fig. 77. Gràfic 3D generat amb la llibreria Plotly. Relació del impacte del CO2 (KgCO2/m2), cost econòmic (€/m2) i demanda energètica (Kwh/m2) per 30 anys, referents a 48 escenaris (combinacions entre solucions constructives, orientacions 0, 90,180 graus i zona climàtica Barcelona).. Font: elaboració pròpia. ....	126
Fig. 78. Gràfic generat amb la llibreria Plotly. Calefacció (Kwh/m2) i refrigeració (Kwh/m2) referents a 48 escenaris (combinacions entre solucions constructives, orientacions 0, 90,180 graus i zona climàtica Barcelona). Font: elaboració pròpia. ....	126
Fig. 79. Gràfic ameba on es mostren els resultats dels 16 escenaris simulats (orientació base i zona Barcelona). Font: elaboració pròpia. ....	127
Fig. 80. Gràfic generat per la llibreria Plotly. Es mostren els resultats dels 16 escenaris estudiats (orientació base i zona Barcelona). Font: elaboració pròpia.....	128
Fig. 81. Gràfic on es mostren els resultats dels 16 escenaris simulats (orientació base, zona climàtica Barcelona). Eix X = calefacció (Kwh/m2), Y = refrigeració (Kwh/m2). Vidre 6 mm = color blau, vidre 6+12+6 = color verd, vidre 4+12+4 = color vermell i vidre 8+12+10 = color taronja. Font: elaboració pròpia. ....	128
Fig. 82. Gràfic circular on es compara els resultats de l'escenari base (vidre senzill 6mm amb aïllament eps 4 cm) i escenari amb màxim aïllament i vidre amb menor transmitància tèrmica (vidre 8+12+10 i eps 20 cm). Font: elaboració pròpia. ....	129
Fig. 83. Figura on es mostra la comparativa de temps necessari en els diferents processos realitzats per fer l'estudi. Font: elaboració pròpia. ....	130
Fig. 84. Edifici ECO 2012 Solar Decathlon. Font: Equip (e) CO.....	134
Fig. 85. Versió simplificada del procés de modelatge. Font: (Sargent, 2007). ....	137
Fig. 86. Generació d'escenaris en SDLPS. Font: Elaboració pròpia .....	137
Fig. 87. Figura de les diferents parets que es van analitzar. Font: Elaboració pròpia.....	139
Fig. 88. Edifici Low3 generat amb OpenStudio del Sketchup. Font: Elaboració pròpia. ....	139
Fig. 89. Imatge de l'estudi de cas de l'edifici ECO en el simulador via web. Font: (Inlab - UPC, 2012). ....	140
Fig. 90. Diagrama que compara l'estalvi en la demanda de calefacció. Font: Elaboració pròpia. ....	141
Fig. 91. Resultats dels 4096 simulacions realitzades. Font: (Fonseca, Fonseca, Garrido, Colls, & Casanovas, 2012).....	142
Fig. 92. Relació entre el cost-consum de les simulacions generades. Font: (Fonseca, Fonseca, Garrido, Colls, & Casanovas, 2012). ....	143
Fig. 93. Resultats de l'anàlisi energètic realitzat a l'edifici ECO, projecte prototip del concurs Solar Decathlon 2012; atenent l'algorisme de Yates. Font: (Fonseca, Fonseca, Garrido, Colls, & Casanovas, 2012).....	143

Fig. 94. Imatge exterior del prototip. Ubicació: parc tecnològic de Sevilla. Font: projecte JSEED. ....	148
Fig. 95. Configuració general de la proposta amb inèrcia en la càmera d'aire. Font: projecte JSEED. .	149
Fig. 96. Vector de simulació seguit en el procés d'optimització. Escenari Sevilla. Font: projecte JSEED. .....	151
Fig. 97. Vector de simulació seguit en el procés d'optimització. Escenari Bilbao. Font:. projecte JSEED. .....	152
Fig. 98. Geometria del model de CFD i domini de càlcul considerat. Font: projecte JSEED. ....	153
Fig. 99. Mallat hexaèdric del model CFD de Façana 1. Font: projecte JSEED. ....	154
Fig. 100. Detalls del mallat hexaèdric en zona de lames del model CFD de Façana 1. Font: projecte JSEED. ....	155
Fig. 101. Temperatura assolida per les lames a l'hivern( Sevilla). Font: projecte JSEED.....	161
Fig. 102. Línies de flux entre lames per escenari d'hivern amb lames. Font: projecte JSEED. ....	162
Fig. 103. Camp de velocitats en cambra d'aire per escenari d'hivern amb lames. Font: projecte JSEED. .....	162
Fig. 104. Mapa de temperatures de vidres i sòl per escenari hivern sense lames. Font: projecte JSEED. .....	163
Fig. 105. Mapa de velocitats per escenari hivern sense lames. Font: projecte JSEED. ....	163
Fig. 106. Línies de flux en cambra d'aire per escenari hivern sense lames. Font: projecte JSEED. ....	164
Fig. 107. Distribució de temperatures en pla mitjà per escenari d'estiu. Font: projecte JSEED. ....	165
Fig. 108. Pathlines de l'aire introduït a la cambra per escenari d'estiu. Vista 1. Font: projecte JSEED.	165
Fig. 109. Comparativa entre mapa de temperatures per escenari d'estiu amb comporta interior superior oberta( esquerra) o inferior( dreta). Font: projecte JSEED.....	166
Fig. 110. Mapa de temperatures de vidres per escenari d'estiu amb comporta interior superior oberta. .....	166
Fig. 111. Distribució de temperatures en pla mitjà per escenari d'estiu amb les dues comportes interiors obertes. Font: projecte JSEED. ....	167
Fig. 112. Distribució de temperatures en pla mitjà per escenaris d'estiu amb diferents configuracions de comportes interiors. Només inferior( esquerra ), només superior( centre ) i les dues( dreta). .....	167
Fig. 113. Mapa de velocitats per escenari d'estiu amb totes les comportes obertes. Font: projecte JSEED. ....	168
Fig. 114. Pathlines de l'aire absorbit per les comportes de la càmera per escenari d'estiu amb totes les comportes obertes. Vista 1 i 2. Font: projecte JSEED. ....	168
Fig. 115. Inserció de les plantes. Font: Elaboració pròpia.....	176
Fig. 116. Orientacions d'estudi i la seva azimuth. Font: Elaboració pròpia.....	181
Fig. 117. Consum de calefacció a Barcelona (tipologia habitatge unifamiliar): la sèrie AC_M4_U és pràcticament coincident a la sèrie ACE_M5 i la sèrie ACE_M3 és quasi paral·lela a la sèrie ACE_M1. ....	184

Fig. 118. Consum de refrigeració a Barcelona (tipologia habitatge unifamiliar). Les sèries ACE_M1, ACE_M3 i ACE_M4_U són quasi coincidents a la sèrie ACE_M5. Font: Elaboració pròpia.....	184
Fig. 119. Consum de calefacció a Madrid (tipologia habitatge unifamiliar). La sèrie ACE_M4_U és pràcticament paral·lela a la sèrie ACE_M5. Font: Elaboració pròpia.....	185
Fig. 120. Consum de refrigeració a Madrid (tipologia habitatge unifamiliar). Les sèries ACE_M1, ACE_M3 i ACE_M4_U estan darrere de la sèrie ACE_M5. Font: Elaboració pròpia.....	185
Fig. 121. Elecció de la tipologia. Font: Elaboració pròpia. ....	186
Fig. 122. Exemple de selecció de la solució constructiva de façana. Font: Elaboració pròpia.....	187
Fig. 123. Exemple de selecció de la solució constructiva de coberta. Font: Elaboració pròpia.....	187
Fig. 124. Exemple de selecció del tipus de vidre. Font: Elaboració pròpia.....	188
Fig. 125. Selecció del tipus de clima. Font: Elaboració pròpia.....	188
Fig. 126. Selecció de la orientació. Font: Elaboració pròpia.....	188
Fig. 127. Presentació de l'aplicació. Font: Elaboració pròpia.....	189
Fig. 128. Panell de control. Font: Elaboració pròpia.....	189
Fig. 129. Panell de control. Font: Elaboració pròpia.....	190
Fig. 130. Distribució de consums. Font: Elaboració pròpia. ....	190
Fig. 131. Millores energètiques. Font: Elaboració pròpia. ....	191
Fig. 132. Esquema que representa la tipologia d'habitatges unifamiliars. Font: Elaboració pròpia. ...	191
Fig. 133. Comparació entre simulació mitjançant 'força bruta' i algorisme d'optimització Hill Climbing (mínim local – punts vermells). Font: Elaboració pròpia. ....	192
Fig. 134. Esquema de representació del concepte Cradle to Cradle. Font: Elaboració pròpia. ....	195
Fig. 135. Distribució del parc immobiliari residencial a Catalunya. Selecció de les tipologies de construcció i el seu clima. Font: elaboració pròpia .....	197
Fig. 136. Tipologia: casa adossada (1991-2007). Font: Elaboració pròpia.....	198
Fig. 137. Laboratori de computació utilitzat per a executar les simulacions. Tots els ordinadors componen un clúster que comparteix el model i executa una part de l'experiment, la possibilitat de pujar els resultats a un servidor central. Font: Elaboració pròpia .....	200
Fig. 138. Assignació de les IP's de xarxa local per distribuir l'experimentació sobre el clúster. Font: Elaboració pròpia .....	201
Fig. 139. XML generat per tal de preparar els diferents escenaris – mapa de la mostra. Font: Elaboració pròpia .....	204
Fig. 140. Relació entre el desconfort anual tèrmic i la inversió per habitatge. Els escenaris seleccionats són els que més tard passaran a ser els casos base per l'optimització activa. Font: Elaboració pròpia. ....	208
Fig. 141. Relació entre el desconfort entre l'estació càlida i l'estació freda. Font: Elaboració pròpia. ....	209
Fig. 142. Figura on es mostra la relació entre l'energia primària i la despesa global. Cada franja de color representa una lletra dins l'escala de certificació energètica. Font: Elaboració pròpia.....	209
Fig. 143. Relació entre el cost global i les mesures (passives i actives). Font: Elaboració pròpia.....	210

<b>Fig. 144. Resum de la demanda energètica del cas d'estudi segons cas base, escenari òptim o escenari amb menor demanda energètica. Font: Elaboració pròpia. ....</b>	<b>212</b>
<b>Fig. 145. Comparació del temps d'execució de mesures passives i actives atenent entre si es realitza amb una única màquina (simple simulation) o es realitza mitjançant el sistema proposat (paralel simulation). Font: Elaboració pròpia. ....</b>	<b>213</b>
<b>Fig. 146. Resum general de les capacitacions de NECADA. Font: Elaboració pròpia .....</b>	<b>217</b>
<b>Fig. 147. Modelització edifici en 3D. Font: elaboració pròpia.....</b>	<b>219</b>
<b>Fig. 148. Cadastre. Building model wizard. Font: NECADA. ....</b>	<b>220</b>
<b>Fig. 149. Formulari per convertir els arxius dxf, ce3x o kml del cadastre a format idf. Solucions constructives. Font: NECADA. ....</b>	<b>220</b>





## ÍNDEX DE TAULES

---

Taula 1. Relació històrica de normatives relacionades amb l'eficiència i estalvi energètic i l'aïllament tèrmic en l'edificació. Font: Elaboració pròpia.....	9
Taula 2. Opcions de qualificació energètica. Font: (ICAEN, 2012). .....	14
Taula 3. Normatives relacionades al comitè tècnic AEN/CTN 198. Font: Elaboració pròpia.....	17
Taula 4. Relacions internacionals amb la normativa AEN/CTN 198. Font: Elaboració pròpia.....	18
Taula 5. Etapes del cicle de vida d'un edifici. Font: (CEN/TC 350, 2012) .....	22
Taula 6. Continguts de la DAP. Font: (AENOR. UNE-EN 15804, 2013). .....	25
Taula 7. Declaracions ambientals del producte a nivell mundial. Font: (Institute for Environment and Sustainability, 2013). .....	26
Taula 8. Vida útil de referència. Font: (AENOR. UNE-EN 15804, 2013). .....	27
Taula 9. Bases de dades possibles a utilitzar per estudis d'ACV. Font: (Institute for Environment and Sustainability, 2013). .....	33
Taula 10. Eines d'ACV. Font: (European Commission, 2013). Elaboració: Pròpia.....	35
Taula 11. Processos ambientals associat al mòdul A4. Font: (AENOR. UNE-EN 15978, 2012). Elaboració: elaboració pròpia .....	42
Taula 12. Processos ambientals associat al mòdul A5. Font: (AENOR. UNE-EN 15978, 2012). Elaboració: elaboració pròpia .....	43
Taula 13. Processos ambientals associats als mòduls B1-B2. Font: (AENOR. UNE-EN 15978, 2012). Elaboració: elaboració pròpia .....	43
Taula 14. Processos ambientals associat al mòdul B3. Font: (AENOR. UNE-EN 15978, 2012). Elaboració: elaboració pròpia .....	43
Taula 15. Processos ambientals associat al mòdul B4. Font: (AENOR. UNE-EN 15978, 2012). Elaboració: elaboració pròpia .....	44
Taula 16. Processos ambientals associat al mòdul B5. Font: (AENOR. UNE-EN 15978, 2012). Elaboració: elaboració pròpia .....	44
Taula 17. Processos ambientals associat al mòdul B6. Font: (AENOR. UNE-EN 15978, 2012). Elaboració: elaboració pròpia .....	44
Taula 18. Processos ambientals associat al mòdul B7. Font: (AENOR. UNE-EN 15978, 2012). Elaboració: elaboració pròpia .....	45
Taula 19. Processos ambientals associats als mòduls C1-C4 i D. Font: (AENOR. UNE-EN 15978, 2012). Elaboració: elaboració pròpia .....	45
Taula 20. Categories d'impactes per ACV en edificis. Font: (CEN/TC 350, 2012) .....	47
Taula 21. Metodologies utilitzades en ACVs. Font: (Zabalza Bribián, 2011). .....	48
Taula 22. Costos associats als mòduls A1-A5. Font: (AENOR, 2012). Elaboració: elaboració pròpia.....	52
Taula 23. Costos associats als mòduls B1-B5. Font: (AENOR, 2012). Elaboració: elaboració pròpia .....	52
Taula 24. Costos associats als mòduls B6-B7. Font: (AENOR, 2012). Elaboració: elaboració pròpia .....	53

Taula 25. Costos associats als mòduls C1-C4 i D. Font: (AENOR, 2012). Elaboració: elaboració pròpia .	53
Taula 26. Proposta de indicadors econòmics potencials. Font: (AENOR, 2012). Elaboració: elaboració pròpia .....	54
Taula 27. Aspectes socials en les etapes del cicle de vida d'una obra de construcció. Font: (AENOR. UNE-EN 15643-3, 2012). .....	59
Taula 28. Taules comparatives entre diferents softwares de simulació. Font: (Crawley, Kummert, Hand, & Griffith, 2005). .....	70
Taula 29. Característiques necessàries que cal definir en els materials per les simulacions en EnergyPlus. Font: Elaboració pròpia.....	76
Taula 30. Relació on s'exposen diverses eines de simulació energètica via on-line. Font: Elaboració pròpia. ....	77
Taula 31. Condicions interiors generals de càlcul segons RITE 2007. Elaboració pròpia. Font: RITE 2007. ....	88
Taula 32. Camps disponibles en la base de dades en relació a l'impacte ambiental. Font: Elaboració pròpia. ....	103
Taula 33. Camps disponibles en la base de dades en relació a l'impacte econòmic. Font: Elaboració pròpia. ....	103
Taula 34. Categories del comportament social. Font: Elaboració pròpia. ....	104
Taula 35. Característiques dels elements de la façana d'estudi. Font: Elaboració pròpia. ....	122
Taula 36. Relació dels diferents escenaris simulats segons les característiques constructives. ....	125
Taula 37. Comparativa dels diferents sistemes de co-simulació i simuladors d'optimització energètica. Font: Elaboració pròpia. ....	131
Taula 38. Comparativa dels diferents sistemes de co-simulació i simuladors d'optimització energètica. Font: Elaboració pròpia. ....	132
Taula 39. Principals variables del model. Font: Elaboració pròpia.....	136
Taula 40. Taula on es mostren les permutacions realitzades en el cas d'estudi ECO. Font (Fonseca, Fonseca, Garrido, Colls, & Casanovas, 2012). ....	141
Taula 41. Transmissió màxima permesa. Font: (Comisión europea para la investigación térmica y solar, 1990). ....	147
Taula 42. Taula de característiques dels vidres utilitzats. Font: Transmissió màxima permesa.....	150
Taula 43. Configuracions de Façana 1 simulades mitjançant CFD. Font: projecte JSEED.....	153
Taula 44. Propietats radiatives estàndard usades en els materials del model CFD de Façana 1. ....	156
Taula 45. Valors de demanda dels primers models estudiats. Font: projecte JSEED. ....	156
Taula 46. Característiques del model Sim037a. Font: projecte JSEED. ....	157
Taula 47. Característiques dels escenaris sim041a i sim043a. Font: projecte JSEED.....	157
Taula 48. Característiques de l'escenari sim044a. Font: projecte JSEED. ....	157
Taula 49. Característiques de l'escenari sim054a. Font: projecte JSEED. ....	158
Taula 50. Característiques de l'escenari sim071a. Font: projecte JSEED. ....	158

Taula 51. Característiques de l'escenari sim052a. Font: projecte JSEED. ....	159
Taula 52. Característiques de l'escenari bNoSim037a. Font: projecte JSEED.....	159
Taula 53. Característiques de l'escenari bNoSim059a. Font: Elaboració pròpia. ....	159
Taula 54. Característiques de l'escenari bNoSim060a. Font: projecte JSEED.....	160
Taula 55. Característiques de l'escenari bNoSim062a. Font: projecte JSEED.....	160
Taula 56. Resum de tipologies en funció de la seva geometria. Font: Elaboració pròpia.....	175
Taula 57. Descripció de les solucions constructives _ACE_M1 i _ACE_M2: Elaboració pròpia. ....	178
Taula 58. Descripció de la solució constructiva _ACE_M3. Font: Elaboració pròpia. ....	178
Taula 59. Descripció de la solució constructiva _ACE_M4_U (unifamiliar). Font: Elaboració pròpia. ..	178
Taula 60. Descripció de la solució constructiva _ACE_M4_P (plurifamiliar). Font: Elaboració pròpia. ....	178
Taula 61. Descripció de la solució constructiva _ACE_M5. Font: Elaboració pròpia. ....	178
Taula 62. Descripció de la solució constructiva _ACE_C1. Font: Elaboració pròpia.....	179
Taula 63. Descripció de la solució constructiva _ACE_C2. Font: Elaboració pròpia.....	179
Taula 64. Descripció de la solució constructiva _ACE_C3. Font: Elaboració pròpia.....	179
Taula 65. Descripció de la solució constructiva _ACE_C4. Font: Elaboració pròpia.....	179
Taula 66. Tipus d'obertures. Font: Elaboració pròpia. ....	180
Taula 67. Tipus de vidre. Font: Elaboració pròpia. ....	180
Taula 68. Factor d'Ombra per obstacles de façana. Font: CTE. ....	181
Taula 69. Escenaris i permutacions a partir d'elements passius. Font: Elaboració pròpia. ....	183
Taula 70. Disseny experimental utilitzat en l'experiment. Font: Elaboració pròpia.....	191
Taula 71. Descripció de les mesures d'eficiència energètica. Font: Elaboració pròpia.....	199
Taula 72. Descripció de mesures passives. Font: Elaboració pròpia.....	203
Taula 73. escenaris escollits per ser optimitzats en la segona fase. Font: Elaboració pròpia. ....	205
Taula 74. Descripció de mesures actives. Font: Elaboració pròpia.....	206
Taula 75. Descripció de les corresponents fonts d'energia, les hipòtesis ambientals i costos mesures actives. Font: Elaboració pròpia.....	207
Taula 76. Terminis d'execució (temps de preparació, de simulació i de recull de dades per mesures passives i actives). Font: Elaboració pròpia. ....	207
Taula 77. Taula resum de les dades obtingudes de l'escenari cas base, cas òptim i cas amb menor energia primària. Font: Elaboració pròpia. ....	211
Taula 78. Resum principals característiques BuildingSim. Font: Elaboració pròpia. ....	215



## 1. PREÀMBUL

---

Conscients que un dels problemes que han d'afrontar els governs a l'hora de prendre mesures pel compliment dels seus compromisos amb Kyoto és el de repartir responsabilitats entre els sectors que contribueixen a les emissions de gasos d'efecte hivernacle, controlar les emissions dels sectors difusos com ara el transport i sobretot, del sector residencial, apareixen les directives 93/76/CE (DIRECTIVA 93/76/CEE, 1993) en un primer moment i les 2002/91/CE (DEEE, 2002), 2010/31/CE (DIRECTIVA 2010/31/UE, 2010) i 2012/27/CE (DIRECTIVA 2012/27/UE, 2012), relatives a l'eficiència energètica dels edificis.

Les normatives europees són força generals en el seu text i deixen prou llibertat als estats membres per a que prenguin les mesures que considerin necessàries per millorar l'eficiència energètica dels edificis, sempre enmarcades en la directiva. Així doncs, els estats membres fan la normativa específica per desenvolupar la directiva. A la normativa espanyola (MITYC, 2006) també es dona peu a que les comunitats autònomes desenvolupin la seva pròpia normativa (Generalitat de Catalunya, 2006).

La directiva 2002/91/CE del Parlament Europeu i del Consell de 16 de desembre de 2002 relativa a l'eficiència energètica del edificis, en el seu article 7 defineix els requisits bàsics de la Certificació energètica dels edificis (DEEE, 2002). Segons la directiva, els Estats membres són els encarregats de definir la metodologia per calcular l'eficiència energètica i definir el certificat corresponent. A tal efecte, els Estats membres varen posar en vigor les disposicions legals, reglamentàries i administratives necessàries per donar compliment al que s'estableix a la present Directiva.

Així doncs, el Govern Espanyol, seguint les directrius de la directiva europea, va aprovar el RD 235/2013 (BOE, 2013), a l'abril de 2013, amb data d'entrada en vigor el juny del mateix any. En aquest RD es va aprovar la metodologia de càlcul i el procediment corresponent per a l'obtenció de la qualificació i certificació energètica dels edificis existents. Aquesta metodologia incorpora un mòdul on es proposa a l'usuari diferents opcions per a millorar la seva qualificació on s'inclou un estudi econòmic orientatiu de cada una de les opcions proposades. Tanmateix, també es va aprovar el Real Decret 56/2016 que transposa la Directiva europea 2012/27/UE, fent referència a les auditories energètiques, acreditació a proveïdors de serveis i auditors energètics.

L'evidència de la pressió exercida a l'entorn per l'activitat humana en el sector de l'edificació, ha portat a l'aparició, en els darrers anys, de varis estudis, informes i projectes que analitzen les possibilitats de l'estalvi energètic conjuntament amb la repercussió econòmica que té; això ha donat peu als plans i fulles de ruta en l'àmbit europeu, National Energy Efficiency Action Plans (NEEAPs) (European Comission, 2016) i a projectes nacionals, com per exemple, el projecte 'PROYECTO SECH-SPAHOUSEC' (IDAE, 2011).

No obstant, si s'analitzen i s'optimitzen tots els processos que intervenen en el moment que es realitza una edificació, s'observa que apareixen molts més factors que no són només el consum de l'energia, sinó altres impactes ambientals, econòmics i socials (segurament, els més important són aquells que fins ara no es valoren amb numeració escalar).

En aquest sentit, la normativa de sostenibilitat per la construcció (AENOR. UNE-EN 15643-1, 2012), aprovada a partir del 2012, es un marc general que aborda aquestes problemàtiques, no només sota la mirada energètica, sinó amb un entorn molt més ampli.

## 1.1. INTRODUCCIÓ

Amb l'aparició de les polítiques europees, la Directiva 2010/31/UE i 2012/27/UE, conjuntament amb la normativa espanyola RD 47/2007, que permet a les comunitats autònomes desenvolupar les seves pròpies normatives locals, es dona als estats membres eines perquè prenguin les mesures necessàries per millorar l'eficiència energètica dels edificis.

Com a resposta a les necessitats actuals i al buit existent, per tal d'avaluar amb criteri els sistemes atenent les polítiques anteriorment esmentades, es proposa un model de simulació, *BuildingSim*, basat en el llenguatge estàndard formal gràfic (Specification and Description Language) normat per la ITU-T. Aquest model és capaç d'atendre a la norma de sostenibilitat (impactes ambientals, econòmics i socials), sota criteris de confort (tèrmics, acústics i lumínics), analitzant l'estudi de cas escollit segons el seu cicle de vida complet (des del disseny, passant pel procés de la construcció, ús/manteniment i desconstrucció), tenint en compte els processos de reutilització i compensació energètica.

Amb l'objectiu de poder dissenyar edificis NZEB (Net Zero Energy Buildings), ja sigui per obra nova o existent, el model *BuildingSim* es planteja com una eina eficaç i intuïtiva pels tècnics del sector. El llenguatge principal del model és un llenguatge formal (SDL) (Doldi L. , 2001) per tal d'aconseguir una facilitat de intercanvi de informació entre models similars.

## 1.2. OBJECTIUS GENERALS

L'objectiu principal d'aquesta tesi és la creació del model de simulació *BuildingSim*, mitjançant el qual s'establiran les bases per resoldre les problemàtiques i mancances detectades en els processos d'edificis, des del moment del disseny, passant per l'edificació, ús / manteniment fins la desconstrucció; d'aquesta manera, es podrà abordar, sota el paraigües de la normativa de sostenibilitat per la construcció. Concretament:

- Definir un model de simulació amb l'estructura de la base de dades necessària per tal d'avaluar el cicle de vida complet d'un edifici.
- Preparar el model per tal de que sigui capaç d'atendre la normativa internacional de sostenibilitat desenvolupada pel grup de treball CEN/TC 350, tenint en compte els impactes ambientals, econòmics i socials.
- Utilitzar un llenguatge formal i estàndard, capaç de integrar-se amb altres llenguatges per combinar processos d'altres models existents.
- Integrar en el model diferents motors de càlcul existents, sota un entorn de co-simulació, validats internacionalment, per realitzar les simulacions necessàries i oferir els resultats.

Es desenvolupa l'eina amb la finalitat de ser un suport a la presa de decisions en àmbits que van des de la definició inicial de l'edifici, rehabilitacions, decisions polítiques en relació a la definició d'ajudes econòmiques, processos d'ús i manteniment, etc.

### 1.3. OBJECTIUS ESPECÍFICS

A nivell d'objectius específics es planteja:

- Desenvolupar l'estructura de la base de dades que permeti la incorporació de bases de dades existents en el mercat.
- Incorporar diferents motors de càlcul tèrmics, termodinàmics i lumínics.
- Incorporar algorismes d'optimització en el sistema. Validació, avaluació entre ells i comparació.
- Incorporar el model en entorn *cloud*, via servidor per poder fer els processos de co-simulació amb màxima potència i facilitat per l'usuari.
- Utilitzar llenguatges formals en el plantejament del model per facilitar l'enteniment amb d'altres sistemes de simulació.
- Estudiar i Millorar l'eficiència energètica dels edificis existents a partir de diferents tipologies i solucions constructives mitjançant la participació en estudi de casos específics.
- Aplicar el model plantejat en diferents estudis de cas, a nivell de producte i a nivell d'edificació.

### 1.4. JUSTIFICACIÓ DEL PROJECTE I CAMPS D'ACTUACIÓ

El model de co-simulació proposat omple el buit existent entre la normativa de sostenibilitat i un sistema d'optimització capaç de fer estudis complets dels impactes ambientals.

El model permetrà realitzar múltiples estudis relacionats amb l'àmbit de l'edificació, NZEB, estalvi energètic, càlculs cost-òptim, impactes ambientals, etc...

El projecte està relacionat amb els següents camps d'actuació:

- **Empreses relacionades amb l'edificació** (constructores, distribuïdores de materials de construcció, dissenyadors, arquitectures, enginyeries, consultories). Donar eines a empreses dedicades a l'eficiència energètica i edificació atenent criteris no només econòmics sinó d'impactes ambientals i benefici social.
- **Disseny en noves solucions per l'edificació**. La metodologia plantejada permetrà realitzar noves propostes per l'edificació, mitjançant l'optimització de la simulació amb sistemes informàtics, i així preveure el possible impacte que tindrà la futura actuació.
- **Educació**. El projecte pretén tenir un impacte social per conscienciar a la població de la necessitat de noves sensibilitats a tenir en compte en el moment de realitzar una edificació o rehabilitació.
- **Administració**. Serà d'ajuda per desenvolupar les normatives locals i nacionals pertinents, per tal d'abordar i complir les mesures marcades per les Directives europees.
- **Centres de recerca i projectes internacionals**. El projecte és el punt de partida d'una línia de recerca que ha de permetre apropar-nos a sistemes i metodologies per l'edificació que dissenyin edificacions NZEB. Metodologia

que integra nous punts de vista i nous aspectes que cal agrupar-los i que interaccionen a la vegada en el moment del disseny d'una construcció.

- **Docència.** El model plantejat de sostenibilitat aportarà un coneixement valuós per explicar els conceptes relacionats i la normativa, i permetrà avaluar estudis de casos específics dins del currículum docent. Podrà servir dins de l'àmbit formatiu, en matèria de sostenibilitat i cooperació.

## 1.5. RESUM DE CAPÍTOLS

La tesis doctoral planteja els següents capítols:

1. **Preàmbul.** Introducció general a la problemàtica plantejada. En l'apartat d'objectius s'explica de forma resumida aquelles fites a les que es vol arribar aconseguir amb el model de co-simulació desenvolupat.
2. **Marc General: Estat de l'art.** En aquest apartat s'expliquen els apartats més importants i rellevants que es tindran en compte en la tesis. Per plantejar la base teòrica es necessita fer un anàlisi de:
  - 2.1. Definició del concepte de sostenibilitat i rehabilitació energètica
  - 2.2. Analitzar les normatives internacionals i nacionals relacionades amb el sector de l'edificació, en l'àmbit de la sostenibilitat i eficiència energètica.
  - 2.3. Anàlisi del cicle de vida, els processos, bases de dades nacionals i internacionals a tenir en compte, projectes-experiències prèvies i eines específiques per fer un anàlisi de cicle de vida.
  - 2.4-2.6. Explicació específica dels impactes contemplats en la normativa de sostenibilitat en la construcció: impactes ambientals, econòmics i socials.
  - 2.7. Es realitza un estudi dels diferents programes existents de simulació, per determinar quins motors de càlcul integrariem en el model.
  - 2.8. Finalment, s'atendran els programes existents i algorismes d'optimització.
3. **BuildingSim.** Es presenta el model. L'apartat finalitza amb un estudi de cas teòric que serveix per verificar el funcionament del model plantejat.
4. **Estudis de casos.** A mida que s'han anat desenvolupant el model, s'ha participat en diferents projectes nacionals i internacionals, que han servit per millorar el sistema i verificar el model plantejat en projectes reals. En aquest apartat s'exposen aquests projectes els quals han donat peu a diverses publicacions en revistes i congressos.
5. **Conclusions Generals.** A mode de conclusió, es mostren de forma resumida els objectius i fites aconseguides amb el projecte.
6. **Línies de desenvolupament.** Finalment, es plantegen les línies a desenvolupar i a tenir en compte pel futur, atenent a les necessitats del mercat i les aportacions més interessants a realitzar a nivell de investigació i millora social.
7. **Aportacions i publicacions.** Llistat dels diferents congressos participats i articles publicats.
8. **Bibliografia**



## 2. MARC GENERAL: ESTAT DE L'ART

En aquest apartat, s'analitzen els diferents conceptes i normatives necessàries a tenir en compte per poder plantejar la proposta del model de simulació.

### 2.1. SOSTENIBILITAT. Edifici com a sistema viu

Es poden trobar diferents models i sistemes de sostenibilitat definits els quals tracten les dimensions (ambiental, social, econòmic i cultural) des de diferents punt de vista (UNESCO, 2012). (Rocuts, Jiménez Herrero, & Navarrete P., 2009).

No obstant, uns dels més utilitzats i emprats en l'edificació és el model de sostenibilitat representat per Samuel Mann. S'ha seleccionat, a mode de il·lustració, la "roda de Stockport" (Stockport, 2010) sistema que pot ser eficaç a l'hora d'estudiar sistemes per l'edificació, on combina els impactes econòmics, socials i ambientals amb sistema d'aranya.

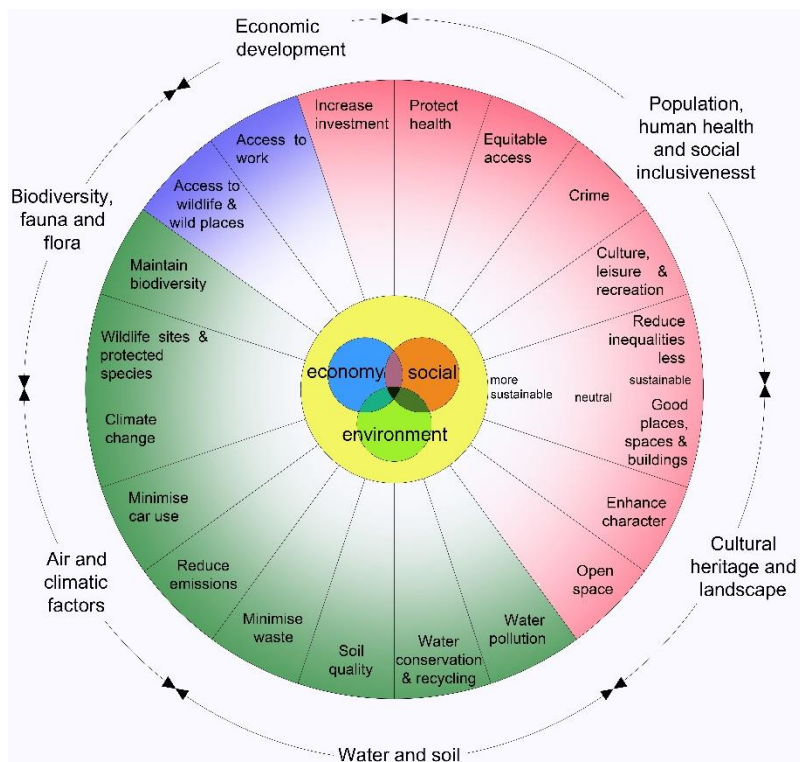


Fig. 1. Triada de sostenibilitat. Font: Stockport (Stockport, 2010).

El consum energètic en els edificis, es demostra que és el responsable del 40% de l'ús final d'energia en Europa. El sector residencial, en termes de consum total i energia elèctrica, respectivament, és el responsable del 17% i 25% a nivell nacional, i del 25% i 29% a nivell de la Unió europea dels 27 (IDAE, 2011).

Es podria entendre un NZEB (*Net Zero Energy Building* en anglès) com un edifici que no consumeix energia de la xarxa o que és independent i només depèn dels recursos que són exclusivament propis; però és un concepte molt més ampli. Conceptualment, "és un edifici amb un alt nivell d'eficiència energètica, on la reduïda quantitat d'energia requerida hauria de procedir de fonts renovables, de manera que el balanç energètic sigui zero" (Salom, Jaume, 2012). Per tant, els NZEB estan connectats a les xarxes i importen (o compren) energia per ser consumida i exporten tota o part de l'energia produïda.

$$\sum_i e_1 \cdot w_{s,i} - \sum_i s_i \cdot w_{s,i} = E - S \geq 0$$

- On: e = energia exportada  
S = energia subministrada  
w = factors de conversió que s'apliquen a cada font energètica (i)  
E = energia ponderada exportada  
S = energia ponderada subministrada

Es poden destacar varis projectes internacionals i nacionals en l'estudi NZEB que s'han anat realitzat per verificar les millores que aporten en la reducció del consum energètic i millora del confort (Dall'ò, 2013) (Becchio, 2014).

La directiva europea, 2010/31/CE, en el seu article 9 regula que a 31 desembre de 2020 els edificis nous han de ser de consum energètic quasi nul – nNZEB, nearly NZEB- (BPIE - Buildings Performance Institute Europe., 2011), definició que cada estat membre està treballant per ser aplicada a un nivell nacional (Agència Internacional d'Energia, 2013). Aquesta mesura s'avança al 2018 pels edificis nous ocupats i/o propietat d'administracions públiques-. No obstant això, en un NZEB, cal tenir en compte els materials utilitzats, el procés de construcció, demolició i la reutilització d'aquests recursos un cop han completat la seva vida útil .

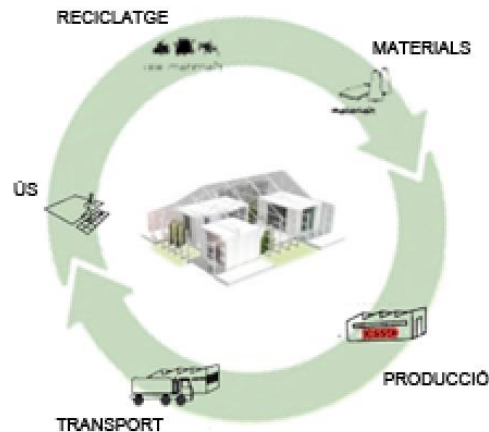


Fig. 2. Tancant el cicle dels materials de l'edifici prototip ECO, projecte del Solar Decathlon 2012. Font: Cradle to cradle (Michael Braungart, 2010). Elaboració: CONAMA 2012

En realitat, un edifici és molt més que un NZEB, és un sistema que al llarg de tot el seu cicle de vida interactua amb el seu entorn –concepte ja recollit en Cradle to cradle (Michael Braungart, 2010)-, per tant, per a que sigui el més estable possible, és imprescindible tenir en compte el cicle de vida de l'edifici des del seu inici fins a la seva fi i atendre la seva petjada ecològica, com apuntat el llibre “34 kg de CO<sub>2</sub>” (Solanas, Calatayud, & Claret, 2009) on es fa un estudi general de diferents tipus d'estructures i d'elements i el seu impacte.

Tal i com es veu en la imatge següent, l'impacte associat a la part de l'estructura, fonamentacions i tancaments, són una sèrie de partides que tenen gran impacte ambiental per les emissions de GEH (Gasos d'Efecte Hivernacle) que generen.

Capítulo	Emisiones		Energía		Peso	
	KgCO2/m <sup>2</sup>	%	MJ/m <sup>2</sup>	%	Kg/m <sup>2</sup>	%
Cimientos y muros de contención	93,67	16,9	1.018,23	17,5	793,21	36,6
Estructuras	168,88	30,4	1.912,80	32,8	556,06	25,6
Cerramientos primarios: cubiertas y fachadas	102,99	18,5	1.187,99	20,4	606,19	28
Divisiones y elementos interiores primarios	25,54	4,6	340,7	5,8	38,74	1,8
Acabados exteriores	9,84	1,8	105,46	1,8	6,9	0,3
Acabados interiores	35,94	6,5	350,25	6	104,12	4,8
Cerramientos secundarios	58,4	10,5	400,57	6,9	2,61	0,1
Divisiones y elementos interiores secundarios	0	0	0,03	0	0,02	0
Saneamiento, aguas grises y drenaje	16,43	3	125,25	2,2	39,57	1,8
Red de agua fría, caliente y grises	5,96	1,1	47,6	0,8	1,96	0,1
Electricidad y alumbrado	17,13	3,1	145,01	2,5	13,34	0,6
Gas/combustible	0,24	0	2,36	0	0,02	0
Climatización y ventilación	14,25	2,6	139,42	2,4	2,95	0,1
Instalaciones audiovisuales, datos	1,6	0,3	11	0,2	0,52	0
Protección contra incendios	1,31	0,2	11,1	0,2	0,34	0
Equipamiento fijo	3,2	0,6	35,96	0,6	1,93	0,1
<b>Total</b>	<b>555</b>	<b>100</b>	<b>5.834</b>	<b>100</b>	<b>2.168</b>	<b>100</b>

Fig. 3. Emissions, energia i massa d'un estudi de referència. Font: (Societat Orgànica, 2013).

És a dir, cal pensar l'edifici des del disseny, tenint en compte tots els factors que intervindran en aquest fins a la seva fi (climatologia, entorn i ubicació, funcionalitat, materials, construcció, usuari, manteniment, desconstrucció i reutilització).

Segons estudis realitzats per quantificar el pes de cada fase del cicle de vida d'un edifici, entre el 20 i 33% del total de l'energia consumida està associada a fluxos estàtics i entre el 66 i el 80% restants estan associats a la fase d'ús i explotació de l'edifici (Cuchí & Pagès, 2007).

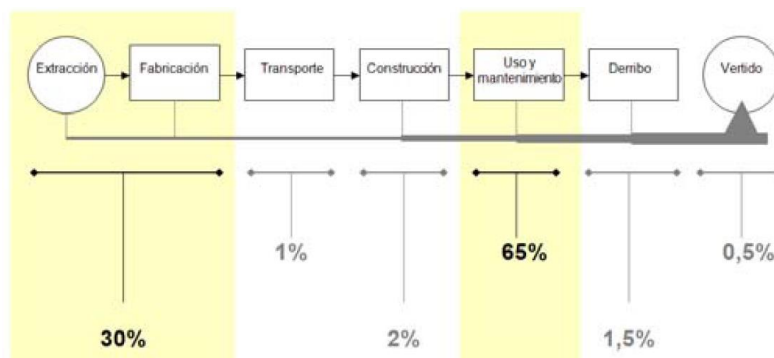


Fig. 4. Relació del % de consum d'energia i emissions de CO<sub>2</sub> que s'emeten a l'atmosfera en el cicle de vida d'un edifici tipus convencional. Font: (Wadel G. , 2009).

Valores actuales	Mejora	Valores óptimos	Referencias
<b>Energia</b> 3.059 kgCO <sub>2</sub> /vivienda/año	↓ 40%	1.875 kgCO <sub>2</sub> /vivienda/año	Niveles de cumplimiento del Protocolo de Kioto y del Plan de Energía de Cataluña.
<b>Agua</b> 168 litros/persona/día	↓ 50%	80 litros/persona/día	Estudios diversos (Generalitat de Cataluña y Fundación Ecología y Desarrollo).
<b>Materiales</b> 2.792,8 kg/m <sup>2</sup> , 9.070 MJ/m <sup>2</sup> y 750 kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	↓ 7%	Existen proyectos de vivienda pública en Cataluña que se sitúan en 1.700 kg/m <sup>2</sup> , 4.500 MJ/m <sup>2</sup> y 400 kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup>	Según un estudio del CIES (grupo formado por los colegios de arquitectos i aparejadores, la UPC, el ITeC y el Institut Cerda) y otros estudios de evaluación ambiental de proyectos específicos.
<b>Residuos</b> 120 kg/m <sup>2</sup> obra nueva 320 kg/m <sup>2</sup> rehabilitación	↓ 55%	10% de reducción y 50% de reciclaje	Objetivos del PROGROC (Programa de gestión de residuos de la construcción de Catalunya) y experiencias de buenas prácticas.

Fig. 5. Impactes ambientals de l'edificació convencional. El marge de millora es situa entre un 40-50%.  
Font: (Wadel, Avellanada, & Cuchí, 2010).

En el cas de la rehabilitació, el lloc i el continent, en gran mesura, ja està definit, però cal repensar l'evolvent, i millorar les fases posteriors. Les millores tecnològiques cal integrar-les en les fases inicials per atendre a un concepte de l'edifici global.

A més, no és suficient atendre els impactes ambientals, sinó que cal reformular la manera de dissenyar i fer edificació, atenent, a la vegada, els impactes econòmics i socials, amb el compliment dels requisits tècnics i funcionals, al llarg del seu cicle de vida complet.- És a dir, cal reduir els impactes ambientals amb actuacions lògiques i amb la utilització de tecnologia i materials amb capacitat de retorn dins de la vida útil de l'edifici, i que els impactes socials siguin beneficiosos pels ocupants i l'entorn. Aquest fet comença a estar regulat per normatives i directives europees específiques per l'edificació (s'explica concretament en l'apartat d'impactes ambientals, econòmics i socials d'aquest mateix informe). Cal tenir en compte que, tot i que la vida útil de l'edifici pot arribar fins a 100 anys o més, segons un estudi realitzat per la Comissió europea l'any 2009 es considera 40 anys (Nemry, 2009) o segons informes de retorn de inversió econòmica es considera 30 anys (Diari Oficial de la Unió Europea, 2012)

Per tal d'avaluar la sostenibilitat en la construcció, s'han desenvolupat un conjunt de normatives i metodologies europees, les quals tenen l'objectiu de guiar el marc metodològic general a seguir, tal i com s'explica en la Norma CEN/TC 350 (AENOR. UNE-EN 15643-1, 2012).

Per tant, l'edifici ha de respondre els requisits de comportament, que són aquells que s'han de complir obligatòriament per assolir l'ús pel que l'edifici ha estat dissenyat (qualitat de l'aire, qualitat ambiental, qualitat acústica, qualitat visual, etc...) i és un element que interactua amb el seu entorn (l'edifici absorbeix energia i respira).

Per altra banda, en el camp de la rehabilitació (Catalans, 2016) (AENOR. UNE-EN 15643-1, 2012)<sup>1</sup>, aquesta ha de ser sostenible. Si es posa èmfasi en una millora, a part de centrar-se en la part energètica i econòmica, també haurà de considerar els aspectes ambientals i socials. Per tant, aquestes actuacions aniran encaminades a un estudi exhaustiu

<sup>1</sup> Segons l'institut d'Estudis Catalans, *rehabilitat* és restituir una persona o una cosa al seu primer estat, d'on era caigut (com a primera entrada). I la norma UNE-EN 15643-1 ens defineix rehabilitació com "Modificació o millora d'un edifici o part de l'obra existent per assolir un estat acceptable, amb el compliment dels requisits tècnics i requisits funcionals".

S'enten requisits tècnics com "Tipus i nivell de les característiques tècniques d'una obra de construcció o part de l'obra que requereix o que són conseqüència dels requisits del client, l'usuari i/o la reglamentació", i els requisits funcionals com "Tipus i nivell de funcionalitat d'un edifici o part d'aquest requerit per l'usuari o per la reglamentació per a una funció o activitat específica".

d'elecció de materials, logística acurada en la intervenció i atendre a tot el cicle de vida de l'edifici. Així, en el camp social, caldrà atendre totes aquelles actuacions on no sigui necessari l'evacuació de l'usuari; i, a més, la seva participació, la informació i la seva sensibilització és crucial perquè la gestió de l'edifici sigui l'adequada en el cicle d'ús i manteniment de l'edifici (López, 2006). Aquí és on el tècnic especialista ha d'intervenir i prendre part en tot el procés, des dels plantejaments inicials fins a final de cicle de l'edificació, intentant donant resposta a tots els processos que sorgeixen.

## 2.2. NORMATIVES

Tenint com a principal punt de partida el Protocol de Kyoto i, per tal de reduir els impactes ocasionats i apropar-nos a la societat amb criteris sostenibles descrits anteriorment, s'han posat en actiu varis plans internacionals i nacionals, generant vèries Directrius i normatives que regulen els consums energètics determinant a grans trets, el camí a seguir per l'estalvi energètic i l'eficiència.

La relació de les normatives i directrius europees, les normatives nacionals espanyoles i les referents a l'àmbit català sobre l'estalvi energètic i l'eficiència, per ordre cronològic, les trobem relacionades a la següent taula:

**Taula 1. Relació històrica de normatives relacionades amb l'eficiència i estalvi energètic i l'aïllament tèrmic en l'edificació<sup>2</sup>. Font: Elaboració pròpia.**

NBE-CTE 79	Primera normativa tèrmica aprovada a Espanya per edificació. Derogada en l'actualitat.
RICCA-80	Reglament de Instal·lacions de Calefacció, Climatització i ACS
NRE-AT-87	Norma Reglamentària d'Edificació sobre Aïllament Tèrmic (Catalunya)
Directiva SAVE 76/93	Directiva europea que va proposar la primera certificació energètica d'habitatges
Protocol de Kyoto (1997)	Protocol on es defineix l'acord internacional de reduir les emissions de sis GEH en un percentatge aproximat de com a mínim un 5%, dins del període 2008-2012, en comparació a les emissions de l'any 1990.
RITE (1998)	Reglament de Instal·lacions Tèrmiques en els Edificis
L.O.E. (1999)	Llei d'Ordenació de l'Edificació, amb l'objectiu de garantir la qualitat de la construcció dels edificis on s'exigeix un nou CTE.
Directiva 2002/91/CE	Pretén promoure l'eficiència energètica dels edificis, tenint en compte les condicions climàtiques externes, las particularitats globals, el requisits ambientals interiors i la relació cost-eficàcia.
Directiva 2004/8/CE	Pretén incrementar l'eficiència energètica i millorar la seguretat del proveïment mitjançant el foment i el desenvolupament de la cogeneració d'alta eficiència de calor i electricitat.
Directiva 2006/32/CE	Té com a finalitat la millora de l'eficiència de l'ús final de l'energia en els estats membres i proposa l'estalvi d'energia del 9% per a 2016.

<sup>2</sup> El text en gris de la taula significa que la normativa ha estat derogada

CTE. RD 314/2006	Aprova l'entrada en vigor del Codi Tècnic de l'Edificació. Això suposa una major qualitat constructiva i la promoció de la innovació i sostenibilitat en l'edificació.
Decret d'Ecoeficiència	Incorpora paràmetres ambientals als edificis
RD 47/2007	Procediment bàsic de Certificació d'eficiència energètica d'edificis de nova construcció
RITE-2007	El Reglament d'instal·lacions tèrmiques en els edificis. Té una clara dimensió ambiental ja que contribueix a la millora de la qualitat de l'aire de les ciutats i afegeix elements en la lluita contra el canvi climàtic.
Directiva 2009/28/CE	Fixa uns objectius en relació amb la quota d'energia procedent de fonts renovables en el consum final brut d'energia i amb la quota d'energia procedent de fonts renovables en el transport.
Directiva 2010/31/UE	Pretén fomentar l'eficiència energètica dels edificis de la Unió, tenint en compte les condicions climàtiques externes, les particularitats globals, el requisits ambientals interiors i la rendibilitat cost-eficàcia.
RD 1699/2011	Es regula la connexió a xarxa d'instal·lacions de producció d'energia elèctrica de petita potència < 100KW
R.C. Nº 244/2012	Reglament complementari que contempla la Directiva europea 2010/31/UE
Directiva 2012/27/UE	Estableix pautes comuns pel foment de l'eficiència energètica dins de la unió amb la finalitat d'assegurar la consecució de l'objectiu principal de la Unió d'un estalvi del 20% pel 2020.
Projecte RD CEE RD 235-2013	Procediment bàsic per la certificació de l'eficiència energètica dels edificis (deroga el RD 47/2007)
RD autoconsum 900/2015	Projecte de Reial Decret sobre la modalitat de Subministrament Elèctric de Balanç Net (Autoconsum).
Reial Decret 56/2016	Transposa parcialment la Directiva d'Eficiència Energètica en Edificis 2012/27/UE. Estableix l'obligació per a les empreses grans (no PIMES) de realitzar una auditoria energètica abans del 14 de novembre de 2016 i posteriorment, com a mínim, cada quatre anys.

### 2.2.1. Normativa europea

Les institucions europees han pres un conjunt de normes i objectius per fomentar models d'eficiència energètica. Cada legislació nacional o regional, es correspon amb l'aplicació d'aquest marc legal comú europeu. Tot i això, hi ha retards i distorsions en la seva aplicació.

La **Directiva 2009/28/CE** relativa al foment de l'ús de l'energia procedent de fonts renovables i per la que es modifiquen i es deroguen les Directives 2001/77/CE i 2003/30/CE, fixa uns objectius en relació amb la quota d'energia procedent de fonts renovables en el consum final brut d'energia i amb la quota d'energia procedent de fonts renovables en el transport. Estableix, entre els estats membres, normes referent a transferències estadístiques, projectes conjunts, garanties d'origen, procediments administratius, la formació, informació i l'accés a l'electricitat per l'any 2020. Defineix criteris de sostenibilitat pels biocarburants i biolíquids.

### Directiva europea 2010/31/UE

Refundició de la Directiva 2002/91/CE.

Per tal de complir l'objectiu de Kyoto i mantenir el compromís del 20-20-20 per el 2020 (Comissió Europea, 2014), es proposen mesures que redueixin el consum d'energia i un major ús d'energies procedents de fonts renovables.

La versió del 2010, estableix que els edificis públics dels Estats Membres, sigui gairebé Zero energia a finals del 2018 (o en el cas òptim un NZEB) i, per finals del 2020, al sector privat.

Es pot determinar tres punts o factors clars que aborda aquesta directiva:

- Proporciona un **marc comú** a seguir de la metodologia de càlcul de la eficiència energètica dels edificis, atenent una rendibilitat en termes cost-eficàcia.
- Determina uns **requisits mínims** d'eficiència energètica dels edificis.
- Proporciona un marc general als **plans nacionals** perquè tinguin en compte dins de les seves normatives estatals, indicacions clares i precises per tal de que s'augmenti el número d'edificis de consum energia quasi zero .

Per altra banda, en relació als edificis existents, determina:

- Certificació energètica
- Control independent dels certificats d'eficiència energètica i dels informes d'inspecció (inspecció periòdica de les instal·lacions de calefacció i aire condicionat).

La directiva de la UE per l'eficiència energètica té sis línies principals d'activitat:

1. L'obligació legal d'establir un marc de referència per a l'estalvi d'energia en tots els Estats membres.
2. Posar en marxa una acció exemplar del sector públic, rehabilitant almenys un 3% anual de l'àrea construïda del seu parc d'edificis existents a partir del 2014, i la compra exclusiva de productes, serveis i edificis d'alta eficiència.
3. Millorar la transparència per als consumidors energètics i facilitar l'accés als possibles estalvis.
4. Proveir més incentius per l'eficiència energètica en les pimes.
5. Aconseguir una major eficiència en la generació elèctrica.
6. Substituir amb una única directiva les directives existents sobre serveis energètics i cogeneració.

### Directiva europea 2012/27/UE

El Parlament i el Consell Europeu van aprovar la Directiva 2012/27/UE de 25 octubre 2012, /CE; relativa a l'eficiència energètica per tal d'actualitzar el marc legal de la Unió en aquesta matèria i arribar al 2020 amb un estalvi del 20% en el consum de la Unió.

Aquesta directiva modifica les directives 2009/125/CE i 2010/30/UE relatives a ecodisseny i etiquetatge de productes relacionats amb energia, i deroga les Directives 2004/8/CE i 2006/32/CE relatives a la cogeneració i sobre l'eficiència de l'ús final de l'energia i els serveis energètics respectivament (article 27).

Un dels objectius marcats per la directiva és la fixació de cada Estat Membre, d'un objectiu nacional d'eficiència energètica orientatiu basat en el consum d'energia primària o final o en la intensitat energètica, per tal d'aconseguir l'objectiu de la unió europea de reduir les emissions GEH entre un 80% i un 95% pel 2050 respecte a 1990.

Per fixar aquest objectiu, s'ha de tenir en compte que el consum d'energia de la Unió en 2020 no ha de ser superior a 1474 Mtep d'energia primària o a 1078 Mtep d'energia final. També s'han de tenir en compte circumstàncies nacionals que afecten al consum d'energia primària com els avenços en totes les fonts d'energies renovables, l'energia nuclear, la captura i l'emmagatzematge de carboni.

Les auditories energètiques han de ser obligatòries i periòdiques per les grans empreses ja que l'estalvi energètic obtingut pot ser significatiu. Cal atendre les normes EN ISO 50001 (sistemes de gestió d'energia), o EN 16247-1 (auditories energètiques), o EN ISO 14000 (sistemes de gestió ambiental) (paràgraf 24).

Per comparar els estalvis energètics i convertir-los a una unitat comparable, s'aplicaran els factors de conversió que preveu l'annex IV, llevat que pugui justificar l'ús d'altres factors de conversió (article 21).

Aquesta normativa ha generat polítiques europees per tal d'arribar al seu compliment, com ara l'estratègia plantejada en el Consell Europeu coneguda com 20-20-20 (per una reducció de les emissions de gasos d'efecte hivernacle, estalvi energètic i proposta de increment en la generació d'energia mitjançant fonts renovables).

Tanmateix, aquesta normativa, també ha generat polítiques estratègiques nacionals per tal de donar resposta als seus objectius, com es 'La hoja de ruta de España 2050' (Deloitte, 2016) o l'estratègia EcoEuskadi 2020 (Govern Vasc, 2012).

### **2.2.2. Normativa espanyola**

El Codi Tècnic de l'edificació (CTE), estableix les exigències que han de complir els edificis en relació amb els requisits bàsics de seguretat i habitabilitat.

#### **CTE – Codi Tècnic de l'Edificació (posterior 2006)**

El Codi Tècnic de l'Edificació CTE contempla els sis documents bàsics definits en la Llei d'Ordenació en l'Edificació, LOE (o Requisits Bàsics, segons el llenguatge de la Directiva 89/106/CE), les tres primeres relatives a la Seguretat (S) i les altres tres relatives a Habitabilitat (H):

- Seguretat estructural (DB-SE)
- Seguretat en cas d'incendi (DB-SI)
- Seguretat d'ús (DB-SU)
- Salubritat (DB- HS)
- Protecció davant del soroll (DB-HR)
- Estalvi d'energia (DB-HE):
  - HE0: Limitació consum energètic màxim de l'edifici.



- HE1: Limitació de demanda energètica màxima.
- HE2: Rendiment de Instal·lacions Tèrmiques (RITE)
- HE3: Eficiència energètica de les instal·lacions en il·luminació.
- HE4: Contribució solar mínima d'aigua calenta sanitària.
- HE5: Contribució fotovoltaica mínima d'energia elèctrica.

### **RITE 2007 (actualitzacions)**

El Real Decret 1027/2007 de 20 de juliol aprova el Reglament d'Instal·lacions Tèrmiques en els Edificis, a partir d'ara RITE.

Les mesures presentades en aquest reglament presenten una dimensió ambiental ja que contribueixen a la millora de la qualitat de l'aire de les ciutats i afegeix elements de lluita contra el canvi climàtic.

El RITE té per objecte establir les exigències d'eficiència energètica i seguretat que han de complir les instal·lacions tèrmiques en els edificis destinades a atendre la demanda de benestar i higiene de les persones.

S'aplica a les instal·lacions tèrmiques en els edificis de nova construcció i en els construïts, referent a la seva reforma, manteniment, ús i inspecció.

El RITE regula la temperatura operativa i la humitat relativa que s'han de fixar sobre l'activitat metabòlica de les persones i el seu grau de vestimenta i el percentatge estimat d'insatisfets (PPD). Segons això, a l'estiu, la temperatura operativa interior estaria compresa entre els 23°C i 25°C amb una humitat relativa entre el 45%-60%; i al hivern, la temperatura operativa interior estaria compresa entre els 21°C i 23°C amb una humitat relativa entre el 40%-50%.

Referent a la velocitat mitjana de l'aire, a la zona ocupada s'ha de mantenir dintre dels límits de benestar tenint en compte l'activitat de les persones, la seva vestimenta, la temperatura de l'aire i la intensitat de la turbulència.

Per tal de donar resposta a la Directiva 2010/31/UE del Parlament europeu, s'han aprovat una sèrie de modificacions i instruccions tècniques en el Real Decret 238/2013.

### **PROJECTE RD CEE: refundició edificis obra nova i existent (RD 235:2013)**

Aquest Real Decret estableix l'obligació de posar a disposició de compradors i usuaris dels edificis, el certificat d'eficiència energètica d'edificis ja existents per valorar i comparar la seva eficiència energètica.

El projecte RD CEE deroga, a partir de l'entrada en vigor del RD, el Real Decret 47/2007 i totes aquelles disposicions d'igual o inferior categoria que s'oposin a allò establert en aquest real decret.

Quan es construeixin, vinguin o lloguin els edificis o unitats d'aquests, s'ha de mostrar i donar al nou comprador o arrendatari ens els termes que estableix el Procediment bàsic.

Serà obligatori que a partir del 31 de desembre del 2020, tots els edificis de nova construcció siguin de consum d'energia casi nul·la. En els edificis ja construïts, s'estableix que

els certificats d'eficiència energètica s'obtindran a partir del procediment bàsic i posat a disposició dels compradors o dels usuaris per quan els venguin o lloguin.

Tots els edificis nous que es construeixin a partir del 31 de desembre del 2018 que siguin propietat i estiguin ocupats per autoritats públiques, seran de consum d'energia casi nul.

Segons el Real Decret, un edifici de consum d'energia casi nul, és un edifici amb un nivell d'eficiència energètica molt alt segons es determini en el Codi Tècnic de l'Edificació. Aquesta quasi nul·la energia requerida, estarà coberta per energia procedent de fonts renovables, inclosa la produïda in situ o en l'entorn.

Aquesta energia es procedent de fonts renovables no fòssils com l'energia eòlica, solar, aerotèrmica, geotèrmica, hidrotèrmica i oceànica, hidràulica, biomassa, gasos d'abocador, gasos de plantes de depuració i biogàs.

Aquest Real Decret, és d'aplicació als edificis de nova construcció; a les modificacions, reformes o rehabilitacions d'edificis amb superfície útil superior als 1000 m<sup>2</sup> on es renovi més del 25% dels seus tancaments; als edificis o unitats d'edificis existents que es venguin o lloguin a un nou arrendatari (a partir del 1 de juny de 2013) i en els que l'autoritat pública ocupi una superfície útil total superior a 250 m<sup>2</sup> i que siguin freqüentats habitualment pel públic (hi ha exclusions específiques).

L'obtenció de la qualificació d'eficiència energètica d'un edifici d'obra nova, es pot realitzar mitjançant dues opcions:

- L'opció general que és a través d'un programa informàtic; pot ser un programa informàtic oficial de referència que seria el HULC (unificació del Lider-Calener) o un programa informàtic alternatiu que tingui el reconeixement del Ministeri de Indústria, Turisme i Comerç i del Ministeri d'Habitatge (IDAE, 2009).

- L'opció simplificada de caràcter prescriptiu.

- Per l'opció simplificada trobem programes específics oficials com el CES, CE2, OCE o CERMA.

**Taula 2. Opcions de qualificació energètica. Font: (ICAEN, 2012).**

Opció de qualificació		Dificultat de l'eina	Usos	Qualificació possible
Simplificades	Ministeri-IDAE Ce2 CES CERMA	Baixa Mitjana	Habitatges	D i E Totes A-E
General	Calener VyP Calener GT	Alta Molt Alta	Habitatges Petit Terciari Petit Terciari (Instal·lacions complexes) Gran Terciari	Totes A-E

Per al procediment simplificat de certificació d'edificis existents (Ministerio de Industria, Energía y Turismo, 2013) s'han registrat com Documents Reconeputs dos programes informàtics: CE3 (APPLUS NORCONTROL S.L.U.) i CE3X (NATURAL CLIMATE SYSTEMS, S.A. (UTE MIYABI-FUNDACIÓN CENER).

Tots dos permeten la certificació energètica d'edificis existents d'ús residencial, petit terciari i edificis de gran terciari, establint un grau d'eficiència energètica basada en les emissions de CO<sub>2</sub> derivades dels consums associats a les necessitats de calefacció, refrigeració, escalfament de l'aigua, ventilació i il·luminació.

### **2.2.3. Normativa Catalana – Decret d'Ecoeficiència**

En l'actualitat i des de el 2006, està en vigor el Decret d'Ecoeficiència.

L'objectiu d'aquest Decret és incorporar paràmetres ambientals als edificis d'obra nova i els resultants d'una gran rehabilitació tant de titularitat pública com privada destinats al ús d'habitatge, residencial col·lectiu, administratiu, docent, sanitari i esportiu.

Els paràmetres d'ecoeficiència que han de complir els edificis, fan referència als conceptes d'aigua, energia, materials i sistemes constructius i residus.

En el que respecta l'aigua, diu que s'han de separar les aigües pluvials de les grises i negres i limitar el cabal d'aigua en les aixetes de lavabos, bidets i aigüeres, així com els equips de dutxa.

Els paràmetres d'ecoeficiència relatius a l'energia són:

- Aplicar solucions constructives i d'aïllament tèrmic que assegurin un coeficient mitjà de transmitància tèrmica de  $K_m = 0,70 \text{ W/m}^2\text{K}$ , en les parts massisses de les façanes, incloent ponts tèrmics.

- En les obertures a l'exterior s'aplicaran solucions constructives que assegurin un coeficient mitjà de transmitància tèrmica de  $H \leq 3,30 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

- Les obertures orientades a sud-oest ( $\pm 90^\circ$ ) han de tenir una protecció que faci que el factor solar de l'obertura sigui igual o inferior al 35%.

- Fer ús de l'energia solar tèrmica amb una contribució mínima en % per la producció d'aigua calenta sanitària, en funció de la zona on es trobi.

Els paràmetres d'ecoeficiència relatius als materials i sistemes constructius, s'ha d'aconseguir l'obtenció global mínima de 10 punts aplicant alguna de les solucions constructives que es presenta el decret.

Destacar l'article 6.2, on diu: "Al menys una família de productes dels emprats en la construcció de l'edifici, entenent com a família el conjunt de productes destinats a un mateix ús, haurà de disposar d'un distintiu de garantia de qualitat ambiental de la Generalitat de Catalunya, etiqueta ecològica de la Unió Europea, marca AENOR Medioambiente, o qualsevol altra etiqueta ecològica tipus I, d'acord amb la norma UNE-EN ISO 14.024/ 2001 o tipus III, d'acord amb la norma UNE 150.025/2005 IN". D'aquesta forma, el decret intenta dinamitzar l'ús de materials més sostenibles i amb un impacte ambiental menor.

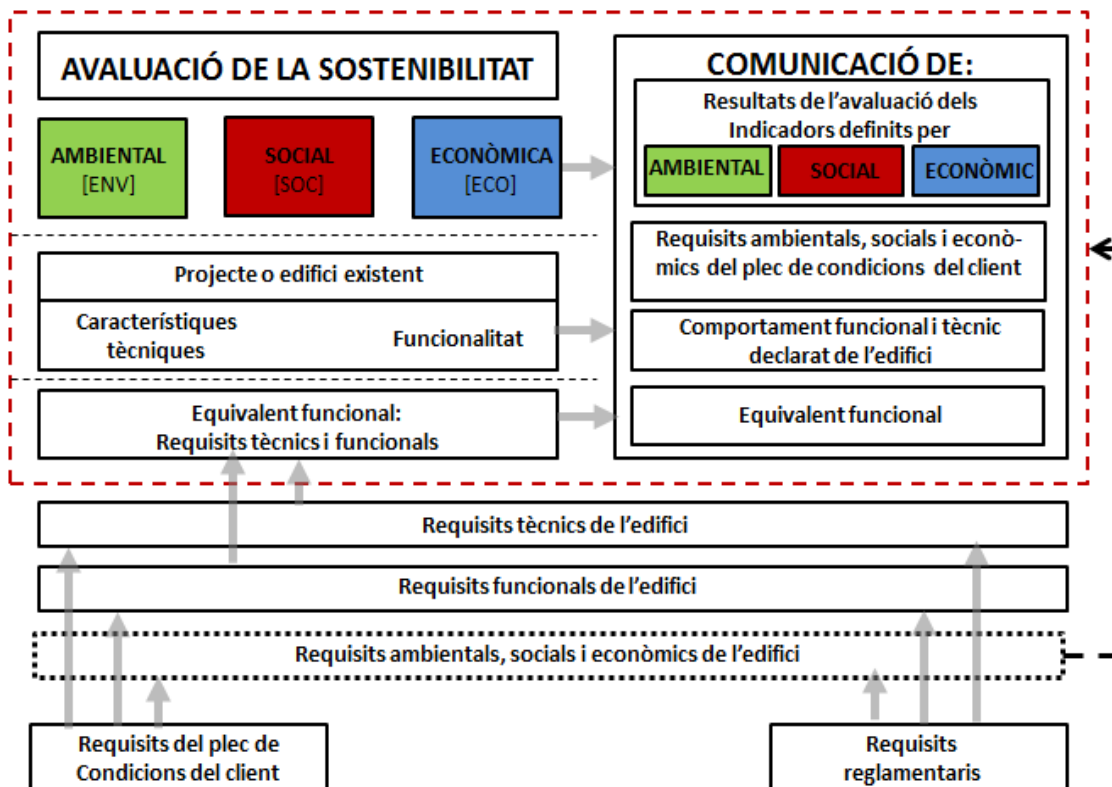
## 2.2.4. Norma Internacional de Sostenibilitat en la construcció

### CEN/TC 350

El Comitè Tècnic de Normalització Europeu (CEN) és l'encarregat de desenvolupar les normes d'avaluació de la sostenibilitat en la construcció per urbanisme, edificació i obra civil. Ha de desenvolupar normes que, tenint en compte el cicle de vida, descriguin una metodologia del seu comportament mediambiental, els aspectes relacionats amb els costos del cicle de vida així com amb aspectes relacionats amb la salut i el confort dels edificis (AENOR. UNE-EN 15643-1, 2012).

Es defineix l'avaluació de la sostenibilitat dels edificis com: "Combinació de les avaluacions del comportament ambiental, comportament social i comportament econòmic tenint en compte els requisits tècnics i els requisits funcionals d'un edifici o d'un sistema (part de l'obra), expressat a nivell d'edifici.

Els indicadors de cada tipus d'impacte cal que es tinguin en compte de forma simple (no doble comptabilitat) tot i que és possible que hi hagin indicadors que afectin a la vegada i de forma simultània en més d'un impacte (poden produir efectes múltiples reconeguts en avaluacions per separat). Aquests indicadors els trobem definits dins de la pròpia normativa (apartat desenvolupat en els impactes ambientals, econòmics i socials respectivament).



NOTA: El quadre de punts representa el camp de normalització del Comitè Tècnic CEN/TC 350

Fig. 6. Concepte d'avaluació de la sostenibilitat d'edificis. Font: (AENOR. UNE-EN 15643-1, 2012). Elaboració: elaboració pròpia.

El principi fonamental de les normes CEN/TC 350 és l'avaluació de la sostenibilitat dels edificis a través d'un enfocament transparent del cicle de vida.

Els membres de CEN són els organismes nacionals de normalització dels països següents:

- Alemanya, Àustria , Bèlgica, Bulgària, Xipre, República Txeca, Croàcia, Dinamarca, Eslovàquia, Eslovènia, Espanya, Estònia, Finlàndia, França, Grècia, Hongria, Islàndia, Irlanda, Itàlia, Letònia, Lituània, Luxemburg, Macedònia, Malta, Països Baixos, Noruega, Polònia, Portugal, Regne Unit, Romania, Suècia, Suïssa i Turquia.

El comitè espanyol encarregat per la seva transposició és el Comitè AEN/CTN 198 – Sostenibilitat en la construcció. Estructura del grup de treball: SC1-edificació, SC2-obra civil, SC3-materials i GT1-sostenibilitat de producte.

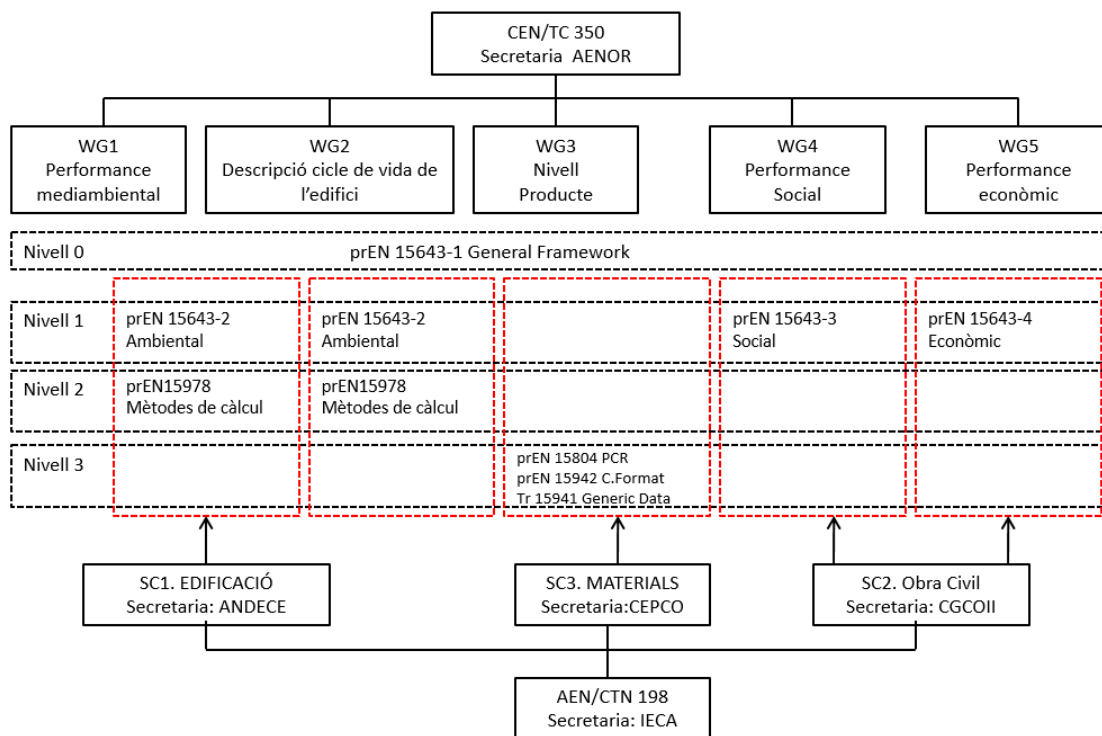


Fig. 7. Programa de treball del comitè tècnic CEN/TC 350. Font: (AENOR. UNE-EN 15643-1, 2012).  
Elaboració: elaboració pròpia.

A continuació s’anoten les especificacions tècniques reconegudes a nivell nacional i internacional sobre *Sostenibilitat* i els diferents grups de treball internacionals relacionats.

Taula 3. Normatives relacionades al comitè tècnic AEN/CTN 198. Font: Elaboració pròpia.

UNE-EN 16627: 2016
Sostenibilitat en les obres de construcció. Avaluació del comportament econòmic dels edificis. Mètodes de càlcul (24.02.2016).
UNE-EN 15643-1: 2012
Sostenibilitat en la construcció. Avaluació de la sostenibilitat dels edificis. Part 1: Marc general (13.07.2015).

UNE-EN 15643-2: 2012
Sostenibilitat en la construcció. Avaluació de la sostenibilitat dels edificis. Part 2: Marc per a l'avaluació del comportament ambiental (13.07.2015).
UNE-EN 16309 + A1: 2015
Sostenibilitat en la construcció. Avaluació del comportament social dels edificis. Mètodes de càlcul (04.03.2015).
UNE-EN 15804: 2012 + A1: 2014
Sostenibilitat en la construcció. Declaracions ambientals de producte. Regles de categoria de producte bàsiques per a productes de construcció (12.022014).
UNE-EN 15942: 2013
Sostenibilitat en la construcció. Declaracions ambientals de producte. Format de comunicació negoci a negoci (12.06.2013).
UNE-EN 15643-3: 2012
Sostenibilitat en la construcció. Avaluació de la sostenibilitat dels edificis. Part 3: Marc per a l'avaluació del comportament social (28.11.2012).
UNE-EN 15643-4: 2012
Sostenibilitat en la construcció. Avaluació de la sostenibilitat dels edificis. Part 4: Marc per a l'avaluació del comportament econòmic (28.11.2012)
UNE-EN 15978: 2012
Sostenibilitat en la construcció. Avaluació del comportament ambiental dels edificis. Mètodes de càlcul (23.05.2012).
UNE-CEN / TR 15941: 2011 IN
Sostenibilitat en la construcció. Declaracions ambientals de producte. Metodologia per a la selecció i ús de dades genèriques (28.09.2011).

**Taula 4. Relacions internacionals amb la normativa AEN/CTN 198. Font: Elaboració pròpia.**

ISO / TC 59 / SC 14
ISO / TC 59 / SC 14 / WG 10
ISO / TC 59 / SC 17 - Construcció d'edificis. Sostenibilitat en la construcció
ISO / TC 59 / SC 17 / WG 1 - Construcció d'edificis. Sostenibilitat en la construcció. Principis Generals i Terminologia
ISO / TC 59 / SC 17 / WG 2 - Construcció d'edificis. Sostenibilitat en la construcció. Indicadors de sostenibilitat
ISO / TC 59 / SC 17 / WG 3 - Construcció d'edificis. Sostenibilitat en la construcció. Declaracions ambientals dels productes
ISO / TC 59 / SC 17 / WG 4 - Construcció d'edificis. Sostenibilitat en la construcció. Comportament mediambiental dels edificis
ISO / TC 59 / SC 17 / WG 5 - Construcció d'edificis. Sostenibilitat en la construcció. obra Civil
CEN / BT / WG 206 - Contribució de CEN a la iniciativa sobre mercats líders de la CE en sostenibilitat en la construcció
CEN / TC 350 - Sostenibilitat en la construcció

Els quatre nivells són el grau d'especificitat de les normes; al nivell 0 es descriu el marc general d'avaluació i les seves interrelacions; al nivell 1 es descriuen els grups d'indicadors que són objecte de l'avaluació; al nivell 2 es descriu amb detall, quin és el mètode de càlcul corresponent a cada indicador triat en la norma anterior i, al nivell 3, es troben les normes relatives a les declaracions ambientals del producte dels materials de la construcció.

Per columnes estan les 3 vessants de la sostenibilitat: mediambiental (WG1), econòmica (WG4) i social (WG5). El WG2 correspon al grup encarregat de treballar sobre el plantejament del cicle de vida i el WG3 corresponent al producte.

La norma UNE-EN 15643-2, referent al marc ambiental, analitzant els seus impactes i aspectes d'un edifici sobre l'ambient local regional i global. La informació obtinguda s'expressa mitjançant indicadors quantificats i aquests exclouen els impactes i aspectes lligats a la infraestructura local, els transports dels usuaris de l'edifici i els riscos ambientals. La norma UNE-EN 15978 de mètodes de càlcul, descriu quina és la informació mínima necessària a aportar a cada escenari o suposat ús.

La norma UNE-EN 15643-3, referent al marc social, marca unes categories genèriques d'indicadors que es completaran amb una norma de mètode de càlcul. Els indicadors són: accessibilitat, adaptabilitat, salut i confort, càrregues al veïnat, seguretat, materials (i serveis que proporcionen i implicació dels agents interessats). La norma UNE-EN 16309+A1 és l'encarregada de descriure els mètodes de càlcul d'aquest impacte.

La norma UNE-EN 15643-4, referent al marc econòmic, introdueix dos variants per realitzar l'avaluació econòmica; una basada en els costos del cicle de vida i l'altra en termes financers, macroeconòmics. La norma que descriu els mètodes de càlcul específics és la UNE-EN 16627.

## RESULTATS

Els resultats d'avaluació es poden presentar seguint la següent figura funcional:

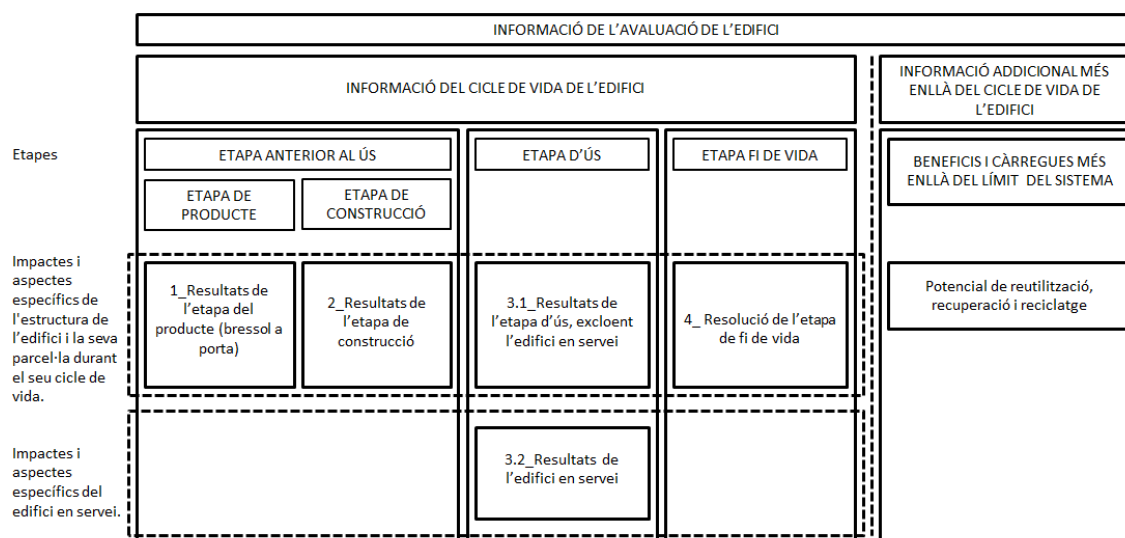


Fig. 8. Organització del resultat de l'avaluació en funció de les etapes del cicle de vida i grups d'informació.

Font: (AENOR. UNE-EN 15643-1, 2012). Elaboració: elaboració pròpia.

Com es pot comprovar, és interessant diferenciar els resultats amb els requisits de l'edifici en servei (específics al consum d'energia i aigua), subquadre 3.2, i els resultats de l'etapa d'ús excloent aquests consums, 3.1.

Els resultats dels impactes i aspectes produïts per a la reutilització, el reciclatge i la recuperació d'energia (valorització energètica), així com altres operacions de recuperació més enllà del cicle de vida de l'edifici es poden incloure com a informació addicional. Aquesta informació ha d'agrupar, si s'inclou, com informació sobre el potencial de reutilització, recuperació i reciclatge (subquadre figura 4).

La base de l'avaluació és la transparència i traçabilitat de la informació utilitzada per les diferents opcions i eleccions de l'avaluador durant tot el procés de càlcul (AENOR. UNE-EN 15978, 2012).

### **2.2.5. Normativa Espanyola ACV**

AENOR, Associació Espanyola de Normalització i certificació, és una entitat privada sense ànim de lucre i de caràcter associatiu i multisectorial. És reconeguda a nivell nacional, comunitari i internacional i té com objectiu "contribuir, a través del desenvolupament de normalització i certificació, a millorar la qualitat de les empreses, dels seus productes i serveis, així com protegir el medi ambient i el benestar de la societat." (AENOR, 2012)

La normativa europea que regula i estandarditza la metodologia de l'anàlisi del cicle són les normes ISO (International Organization for Standardization), concretament:

La família de Normes ISO 14000 contempla el ACV en la seva sèrie UNE-EN ISO 14040:2006 i en la UNE-EN ISO 14044:2000, que suposen una revisió tècnica de les anteriors normes anul·lades, com són la UNE-EN ISO 14041:1998, UNE-EN ISO 14042:2000 i la UNE-EN ISO 14043:2000 (Chacón Vargas, 2008). UNE-EN ISO 14040:2006, Gestió ambiental. Anàlisi de cicle de vida. Principis i marc de referència. Es descriuen les fases clau del procés de l'ACV.

UNE-EN ISO 14044:2006, Gestió ambiental. Anàlisi de cicle de vida. Requisits i directrius. Estableix els requisits i orientacions per portar a terme un ACV.

Es recomana utilitzar-les conjuntament

UNE-EN 15804:2012, Sostenibilitat en la construcció. Declaracions ambientals del producte. Regles de categoria de productes bàsiques per productes de construcció.

UNE-EN 15978:2012, Sostenibilitat en la construcció, avaluació del comportament ambiental dels edificis. Mètodes de càlcul.

Aquesta norma especifica el mètode de càlcul basat en l'anàlisi del cicle de vida i altra informació ambiental quantificada, que permet avaluar el comportament ambiental d'un edifici i indica com elaborar un informe i comunicar els resultats de l'avaluació. Aquesta norma és aplicable tant a edificis nous com a existents, així com en projectes de rehabilitació.



El mètode d'avaluació cobreix totes les etapes del cicle de vida de l'edifici i es basa en les dades obtingudes de les Declaracions ambientals de producte (DAP), els seus "mòduls d'informació" (Norma EN 15804) i la resta d'informació necessària i pertinent per realitzar l'avaluació. L'avaluació inclou tots els productes, processos i serveis de construcció relacionats amb els edificis, utilitzats al llarg del cicle de vida de l'edifici. La interpretació i els judicis de valor dels resultats de l'avaluació no estan dins del camp d'aplicació d'aquesta norma europea.

Segons la norma UNE-EN 15978:2012, per la seva aplicació, són necessàries les següents normes:

*UNE-EN 15603 Eficiència energètica dels edificis. Consum global d'energia i definició de les avaluacions energètiques.*

*UNE-EN 15643-1 Sostenibilitat en la construcció. Avaluació de la sostenibilitat dels edificis. Parteix 1: Marc general.*

*UNE-EN 15643-2 Sostenibilitat en la construcció. Avaluació de la sostenibilitat dels edificis. Parteix 2: Marc per a l'avaluació del comportament ambiental.*

*ISO 15392 Sostenibilitat en la construcció d'edificis. Principis generals.*

*ISO 15686-1:2010 Edificis i actius construïts. Planificació de la vida útil.*

*Parteix 1: Principis generals..*

### 2.3. ANÀLISI DEL CICLE DE VIDA

Va ser el SETAC qui va donar la definició d'ACV al 1993 dient que l'ACV és:

“Un procés objectiu per avaluar les càrregues ambientals associades a un producte, servei o activitat, identificant i descrivint quantitativament la matèria i energia usades i les emissions enviades al mitjà, i per avaluar els impactes associats a aquests usos de matèria i energia i a aquestes emissions. L'avaluació inclou el cicle de vida sencer del producte o activitat, incloent l'extracció i processament de matèries primeres, la fabricació, distribució, ús, reutilització, manteniment, reciclat i deposició final, i tots els transports implicats” (Conama 10, 2010).

A diferència d'altres metodologies, com l'Avaluació del Impacte ambiental (EIA) o l'Auditoria Ambiental (AA), el ACV estudia els aspectes mediambientals i els impactes al llarg de tota la vida del producte, servei o activitat, des de l'extracció de les matèries primes fins a la producció, ús i disposició dels productes sense límits geogràfics, funcionals o temporals des d'un punt de vista global (Zabalda Bribián, 2010).

Una de les característiques de l'ACV és que està basat en la idea de que tots els aspectes i propietats que hi participen dins del procés han de fer-ho de manera integrada ja que no es poden analitzar individualment.

L'ACV consta de 4 fases:

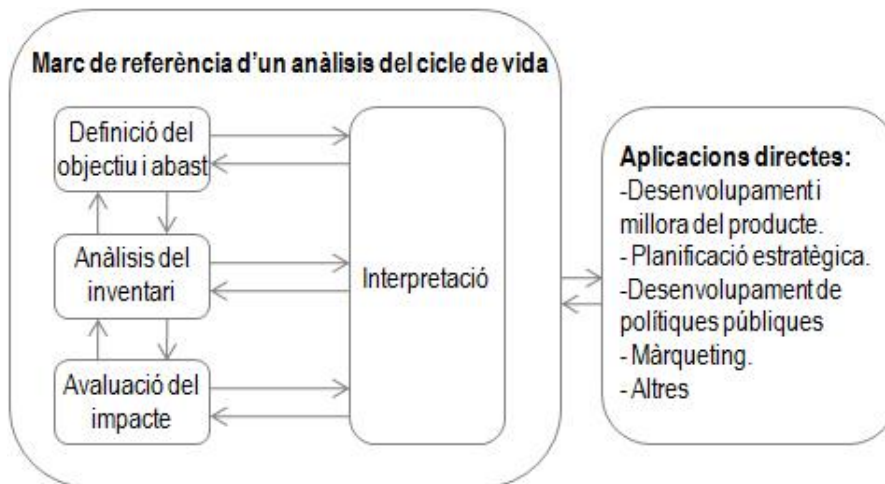


Fig. 9. Etapes d'un ACV. Font: (UNE-EN ISO 14040, 2006).

### Definició d'objectius i abast:

L'objectiu estableix l'aplicació i les raons per les quals es fa l'estudi, el públic a qui se li comunicaran els resultats i si els resultats utilitzats en comparatives es divulgaran al públic.

L'abast ha d'estar molt ben definit per assegurar que el nivell de detall de l'estudi es suficient per aconseguir l'objectiu establert. Els aspectes que s'inclouen dintre de l'abast són el sistema del producte a estudiar; les funcions del sistema del producte. També ha d'incloure la unitat funcional de referència i els límits del sistema<sup>3</sup>.

Taula 5. Etapes del cicle de vida d'un edifici. Font: (CEN/TC 350, 2012)

ETAPA	ASPECTES INCLOSOS
Producció de l'edifici	Matèries primes Transport fabricació
Construcció de l'edifici	Transport Processos on-site de construcció
Ús del edifici	Manteniment Reparació i reemplaçament Rehabilitació Consum d'energia final: calefacció, refrigeració, ventilació, aigua calenta sanitària i il·luminació. Consum de l'aigua
Disposició final de l'edifici	Desconstrucció Transport Reciclatge/reutilització Disposició final en abocador/ incineradora

<sup>3</sup> Entenem unitat funcional de referència a la quantificació de les funcions del sistema considerades en l'estudi

Els límits del sistema és centrar-se en l'edifici, els seus fonaments i obres externes dintre del perímetre de la parcel·la, així com les obres temporals associades a la construcció de l'edifici.

### Anàlisi de l'inventari del cycle de vida (ICV)

En aquesta fase es fa una recopilació de dades i procediments de càlcul per quantificar les entrades i sortides d'un sistema del producte.

A l'hora de fer la recollida de dades poden sorgir limitacions que s'han de tenir en compte en la fase de l'abast.

Després de la recollida de dades, es passa al procediment de càlcul que inclou la validació de les dades, la relació d'aquestes amb els processos unitaris i la relació de les dades amb el flux de referència de la unitat funcional.

Els elements a tenir en compte són les entrades i sortides (inputs/outputs).

Inputs/entrades: són els recursos, transport, energies... que es tenen en compte en cada procés.

Outputs/Sortides: emissions l'aigua, aire i terra i els residus que es tenen en compte en cada procés.

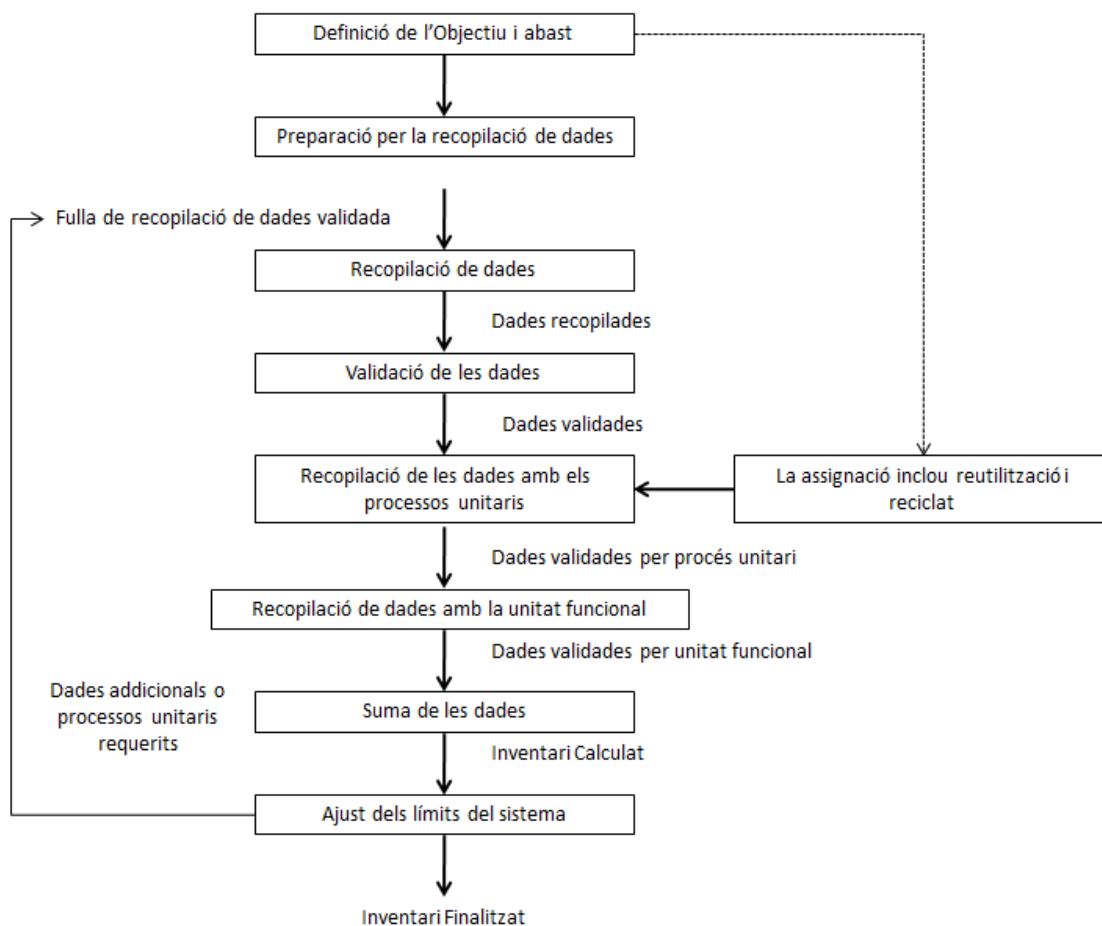


Fig. 10. Procediments simplificat per l'anàlisi del inventari. Font: (UNE-EN ISO 14044, 2006)

### 2.3.1. Història

La denominació d'Anàlisi del Cicle de Vida ACV, va ser donada per la comunitat internacional d'experts en el tema a l'any 1991.

Els aspectes que van desencadenar el interès pels ACV va ser, en un primer moment, la crisi del petroli al començament dels anys 70. La guerra de Yom Kippur (Chacón Vargas, 2008) va fer que la Opep (sigles d'Organització de Països Exportadors de Petroli) embargués el subministrament de petroli als països d'Europa i Estats Units, portant com a conseqüència un augment mundial del preu del petroli. Aquest fet va desencadenar en els països desenvolupats, una consciència de no dependre dels subministres fòssils. Amb aquests fets, van veure la necessitat de prendre mesures per a l'estalvi d'energia i desenvolupament de productes ambientalment responsables.

La metodologia dels ACV, té els seus orígens en la dècada dels 60 quan es va veure que la manera eficaç per tractar el tema de l'energia, des del punt de vista ambiental, era examinar tots els processos de la matèria primera, en las fases d'extracció, transformació, ús i reciclatge.

El primer estudi sobre ACV que es va portar a terme va ser de la mà de Harry Teasley al 1969 anomenat "Resources and Environmental Profile Analysis" (REPA), on es comparava el impacte ambiental de diferents envasos de Coca-Cola (Chacón Vargas, 2008).

Però no va ser fins l'època dels 90 quan la metodologia del ACV va començar a estar ben desenvolupada, destacant publicacions com "The LCA Sourcebook" (SustainAbility Limited, 1993) elaborada per SPOLD (siglas en anglès de Society for Promotion of Life-cycle Assessment Development) i "Guidelines for life Cycle Assessment: A "Code of Practique" (Consoli, 1993) elaborat pel SETAC (siglas en anglès de Society of Environmental Toxicology and Chemistry) al 1993 i al 1996 també va elaborar l'informe "Towards a Methodology for Life Cycle Impact Assessment" (SETAC, 1996) que va servir de base per l'elaboració de les primeres normes ISO (Internacional Organization for Standarditzation) sobre ACV (ISO 14040-14043) publicades entre 1997 i 1998. En el 2006 es dona l'última actualització de las normes ISO (Chacón Vargas, 2008).

En l'actualitat s'estan publicant guies metodològiques per tothom qui vulgui utilitzar la metodologia de l'ACV dintre d'un marc europeu comú i unes bases de dades públiques a l'abast de tothom. Molts països ja ho estan aplicant en diversos àmbits.

Una de les lleis més ambiciosa és la francesa "Grenelle de l'Environnement", on s'indica que a partir del juliol del 2011, els consumidors rebran informació sobre les emissions de gas d'efecte hivernacle, el consum de recursos naturals i altres impactes relatius al cicle de vida dels productes i els seus envasos (art. 228 que modifica el codi de Consum). Encara que abans hi haurà un període d'experimentació (Conama 10, 2010).

En el cas de l'edificació, està la norma "CEN/TC 350 - Sustainability of construction works" del Comitè Europeu de Normalització. Aquesta norma "és responsable del desenvolupament de mètodes estandarditzats per l'avaluació dels aspectes de sostenibilitat de les obres de construcció noves i existents i dels estàndards per la declaració de producte mediambiental dels productes de la construcció" (CEN, 2013).

El que es vol arribar en el sector de l'edificació és a zero emissions associades a la construcció, ús i manteniment de l'edifici. Es volen Zero Emission Building (ZEB), és a dir, edificis totalment sostenibles (Zabalza, 2010).

### 2.3.2. Declaracions Ambientals de producte (DAP)

Les Declaracions Ambientals del Producte (DAP) o Environmental Product Declarations (EPD, en anglès), és una ecoetiqueta que consisteix en una sèrie de dades quantificables relatives a una o varies etapes del cycle de vida d'un producte.

L'objectiu és potenciar la demanda i la producció dels productes que provoquen un menor impacte ambiental, i això es fa a través de la comparació de productes. Aquesta comparació s'ha de fer seguint una sèrie de regles en el desenvolupament de la realització d'aquestes ecoetiquetes.

La informació que conté una DAP està basada en la metodologia de l'Anàlisi del Cycle de Vida (ACV) que s'aplica seguint la norma UNE EN ISO 14040-44. També s'apliquen les Regles de Categoria del Producte (RCP) on es concreten els requisits per desenvolupar una DAP i l'estudi ACV vinculat (Construcción 21, 2012).

Hi ha diferents tipus de DAPs segons les fases del cycle de vida tingudes en compte:

- DAPs bressol-porta (mòduls A1-A3); són les més habituals. Pels material de la construcció inclou des de la seva producció fins els transport del material a l'obra.
- DAPs bressol-porta amb opcions; és com l'anterior però inclou una o varies etapes del cycle de vida.
- DAPs bressol-tomba (mòduls A1-C4, amb opcions del D); cobreixen totes les etapes del cycle de vida de l'edifici.

Taula 6. Continguts de la DAP. Font: (AENOR.UNE-EN 15804, 2013).

Nom i adreça dels fabricants
La descripció de l'ús del producte de construcció i de la unitat funcional o declarada del producte de construcció al que es refereixen les dades
La identificació del producte de construcció pel seu nom.
Descripció dels principals components i/o materials del producte
Nom del programa utilitzat amb el nom i adreça de l'administrador del programa i el logotip i la pàg. web
La data d'emissió de la declaració i el període de validesa de 5 anys
La informació que indica las etapes no considerades
Una declaració indicant que les DAP de productes de construcció poden no ser comparables si no son conformes a aquesta norma
Si una DAP es declara com el comportament ambiental medi de varis productes, s'ha d'indicar en la declaració, juntament amb una descripció de rang del resultats de EICV
La DAP és representativa per les instal·lacions, el fabricant o grup de fabricants i els representats
La declaració del material contingut en el producte, deu enumerar les substàncies contingudes en el producte que es relacionen en la llista candidata de substàncies molt preocupants sotmeses a autorització (Candidate LiS/ of Substances of Very High Concern for Olllhorisa/ion) quan el seu contingut supera els límits de registre davant de l'Agencia Europea de substàncies i Preparats Químics (ECHA)
Informació de on pot trobar-se material explicatiu

Les RCP queden recollides en la norma “UNE EN ISO 15804:2012; *Sostenibilitat en la construcció. Declaracions Ambientals del Producte. Regles de categoria de productes bàsiques per a productes de construcció*”. Segons aquesta normativa, la DAP hauria de proporcionar:

La norma internacional ISO 14020 marca l'ús de les ecoetiquetes i declaracions ambientals, establint, en aquests moments, tres tipus d'ecoetiquetes ambientals:

- La tipus I, indica un millor comportament mediambiental del producte en unes determinades característiques. Aquesta ecoetiqueta deu ser certificada per una empresa externa, segons diu la norma ISO 14024.
- La tipus II és una autodeclaració ambiental del producte per part del fabricant.
- La tipus III és una Declaració Ambiental del Producte (DAP) o EPD (Environmental Product Declaration). Existeixen diferents sistemes de DAP a nivell mundial, a nivell nacional se han creat les DAPc. Donen informació quantitativa molt detallada basada en indicadors.

Aquesta norma europea estableix les regles de categoria del producte (RCP) bàsiques per a les DAP de qualsevol producte i servei de construcció. L'avaluació dels resultats socials i econòmics a nivell de producte no està coberta en aquesta norma.

**Taula 7. Declaracions ambientals del producte a nivell mundial. Font: (Institute for Environment and Sustainability, 2013).**

SISTEMA	ENTITAT I PAIS	
Fitxes de Déclaration Environnementale et Sanitaire (FDEs)	AIMCC, França	<a href="http://www.inies.fr">www.inies.fr</a>
Umwelt-Deklarationen (EPD)	IBU, Alemanya	<a href="http://www.bau-umwelt.com">www.bau-umwelt.com</a>
Environmental Product Declaration	The Swedish Environmental Management Council, Suècia	<a href="http://www.environdec.com">www.environdec.com</a>
Environmental Profiles of Construction Products	BRE, Regne Unit	<a href="http://www.bre.co.uk">www.bre.co.uk</a>
Milieue Relevante product Informatie	NVTB, Holanda	<a href="http://www.mrpi.nl">www.mrpi.nl</a>
RT Environmental Declaration	RT Finlàndia	<a href="http://www.rts.fi">www.rts.fi</a>
Norwegian Environmental product Declaration	NHO, Noruega	<a href="http://www.epd-norge.no">www.epd-norge.no</a>
Déclaration sur les caracteristiques écologiques de produits utilisés dans la construction	SIA, Suïza	<a href="http://www.sia.ch">www.sia.ch</a>
EcoLeaf product Environmental Aspects Declaration	JEMAI, Japó	<a href="http://www.jemai.or.jp">www.jemai.or.jp</a>
Environmental Declaration of products Korea	EcoProducts institute, Corea	<a href="http://www.koeco.or.kr">www.koeco.or.kr</a>

Les Declaracions ambientals del producte, permeten disposar d'informació precisa dels impactes d'un producte determinat (ALARCÓN BARRIO, 2012).

### Vida útil de referència d'un edifici

La vida útil de referència pot estar basada en les dades recollides com a dades mitjanes o al inici o al final de la vida útil.

Taula 8. Vida útil de referència. Font: (AENOR.UNE-EN 15804, 2013).

PARÀMETRE	UNITAT
Vida útil de referència	Anys
Propietats declarades del producte (en porta), acabats, etc.	Unitats apropiades
Paràmetres de disseny de l'aplicació, incloent les referències de les pràctiques adequades	Unitats apropiades
Estimació de la qualitat de treball, quan s'instal·la segons la recomanació del fabricant	Unitats apropiades
Ambient exterior (per aplicacions en exteriors), per exemple la intempèrie, els contaminants, la radiació UV y l'exposició al vent, la orientació de l'edifici, el sombrejat, la temperatura	Unitats apropiades
Ambient interior (per aplicacions d'interior), per exemple la temperatura, la humitat, l'exposició a químics	Unitats apropiades
Condicions d'ús, per exemple la freqüència d'ús, la exposició mecànica	Unitats apropiades
Manteniment, per exemple la freqüència requerida, el tipus i la qualitat i la substitució dels components reemplaçables	Unitats apropiades

Després de verificar-se, una DAP és vàlida per un període de 5 anys des de la data de la seva expedició, només s'avaluarà de nou i actualitzarà quan sigui necessari per reflectir els canvis en la tecnologia o altres circumstàncies.

### 2.3.3. Projectes d'ACV desenvolupats en edificació

A continuació es mostren uns quadres resum de projectes relacionats amb l'Anàlisi del Cicle de Vida en l'edificació, els quals ajuden a comprendre la importància d'aquests anàlisis en el procés constructiu per tal d'apropar-nos a un sistema edificatori amb criteris més sostenibles.

<b>CÍCLOPE</b>	<b>PROJECTE</b>
	<p>Projecte Singular Estratègic Ciclope: Anàlisi de l'impacte ambiental dels edificis al llarg del seu cicle de vida, en termes quantificables de consum energètic i emissions de GEI associats.</p> <p>Consta de 5 subprojectes:</p> <p>SP1: Red temàtica per la difusió i el foment de l'Anàlisi de Cicle de Vida per la edificació.</p> <p>SP2: Metodologia i eines d'avaluació del impacte ambiental i econòmic dels edificis (La Càtedra UNESCO va liderar aquest subprojecte).</p> <p>SP3: Anàlisis de Cicle de Vida sectorials i Declaracions Ambientals de Productes de la construcció.</p> <p>SP4: Disseny, construcció i fi de vida dels edificis.</p> <p>SP5: Avaluació dels impactes energètics i mediambientals derivats de la fase d'exploració d'un edifici.</p>
	<b>ANY DE REALITZACIÓ</b>
	2009-2010
	<b>PARTICIPANTS/PROMOTORS</b>
	Finançat pel Ministeri de Ciència i Innovació i cofinançat amb Fons Europeu de Desenvolupament Regional "FEDER". Van participar 6 coordinadors i 22 socis.
	<b>OBJECTIUS</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Generar nou coneixement per millorar la qualitat i l'eficàcia en la construcció.</li> <li>- Desenvolupar noves normes que afavoreixin la legislació.</li> <li>- Augmentar la competitivitat dintre del sector de la construcció</li> <li>- Donar valor afegit als productes i processos constructius.</li> <li>- Fomentar l'ús de materials, productes i processos ambientals sostenibles.</li> <li>- Convertir-se en un referent a nivell europeu i ambiental</li> </ul>
	<b>RESULTATS ESPERATS</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Metodologia d'anàlisi i avaluació d'impactes ambientals i econòmics dels edificis al llarg de tot el seu cicle de vida, fins la seva desconstrucció.</li> <li>- Eina informàtica d'ús fàcil pel càlcul de consum energètic i les emissions GEI al llarg del Cicle de Vida dels edificis.</li> <li>- Base de dades amb informació ambiental sobre la producció de materials de construcció, dels processos constructius, del ús i manteniment dels edificis i la seva rehabilitació i els processos de desconstrucció i gestió dels residus.</li> </ul>

Ref: (UNESCO, 2010)



<b>SOFIAS</b>	<b>PROJECTE</b>
	<p>SOFIAS: Software de Funcions Integrades per una Arquitectura Sostenible. Software per assistir als professionals del sector de la construcció en el disseny ecològic de nous edificis o rehabilitacions per reduir el consum total d'energia i les emissions de gas d'efecte hivernacle.</p> <p>El software combinarà online les funcions d'avaluació, assistència al disseny ecològic i emissió de certificats energètics i ambientals (petjada de carboni, consum d'energia primària i declaració ambiental de l'edifici).</p>
	<b>ANY DE REALITZACIÓ</b>
	2011-2014
	<b>PARTICIPANTS/PROMOTORS</b>
	Finançat pel Ministeri d'Economia y Competitivitat por un període de 3 anys i cofinançat pel Fons Europeo de Desenvolupament Regional "FEDER"
	<b>OBJECTIUS</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dissenyar i desenvolupar un prototip experimental de software per assistir als professionals del sector en el disseny i rehabilitació d'edificis amb un menor impacte mediambiental al llarg de tot el seu cicle de vida.</li> <li>- Fomentar l'eficiència energètica en els edificis nous i rehabilitats amb perspectiva de cicle de vida.</li> <li>- Afavorir l'intercanvi d'informació entre els diferents professionals del sector.</li> <li>- Desenvolupar un mòdul de simulació per calcular els paràmetres òptims que l'edifici avaluat deuria complir de cara a reduir al màxim el seu consum d'energia primària i costos econòmics del cicle de vida.</li> <li>- Crear plantilles per l'elaboració de certificats ambientals relatius al cicle de vida de l'edifici.</li> <li>- Recopilar informació ambiental quantitativa, verificada i consistent sobre els principals productes i processos que intervenen en el cicle de vida dels edificis.</li> <li>- Identificar les millors tecnologies disponibles i les principals estratègies d'ecodisseny aplicables a l'edificació, avaluant-les des de un punt de vista ambiental i econòmic.</li> </ul>
<b>RESULTATS ESPERATS</b>	
<p>Projecte en construcció.</p> <p>Un cop finalitzat, oferirà al usuari una plataforma software, disponible online i fàcil d'utilitzar que donarà informació rigorosa sobre els impactes ambientals dels seus projectes arquitectònics al llarg del seu cicle de vida.</p>	

Ref: (MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN, 2013)

<b>EnerBuiLCA</b>	<b>PROJECTE</b>
	EnerbuiLCA: Life Cicle Assessment for Energy Efficiency in Buildings. Creat per fomentar la sostenibilitat en la construcció i rehabilitació d'edificis d'habitatges o ús terciari promovent així els Edificis Cero Energia al llarg del seu cicle de vida. Es desenvolupa una eina informàtica on-line que utilitza una base de dades amb informació sobre els productes de la construcció i solucions constructives representatives d'Espanya, França i Portugal.
	<b>ANY DE REALITZACIÓ</b>
	2011-2012
	<b>PARTICIPANTS/PROMOTORS</b>
	S'emmarca en el Programa de Cooperació Territorial de l'Espai Sudoest Europeu SUDOE-Interreg IV B, cofinanciat pel Fons Europeu de Desenvolupament Regional (FEDER) de la Unió Europea amb una duració de dos anys.
	<b>OBJECTIUS</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Formar tècnics en l'aplicació de l'Anàlisi del Cicle de Vida (ACV) i promoció del seu ús per el disseny d'edificis més sostenibles.</li> <li>- Fomentar la I+D+i en el sector de la construcció, augmentant la col·laboració i intercanvi d'informació entre centres d'investigació i empreses</li> <li>- Establir un marc per la implementació de base de dades amb informació ambiental i tècnica de materials de la construcció.</li> <li>- Crear una xarxa temàtica per la transferència de tecnologia i coneixement entre les empreses del sector, els centres d'investigació i l'administració.</li> <li>- Col·laborar entre sectors productius relacionats per plantejar estratègies de sostenibilitat conjuntes i identificar necessitats i sinergies.</li> <li>- Fomentar l'activitat econòmica sostenible en el sector de l'edificació.</li> </ul>
<b>RESULTATS ESPERATS</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Desenvolupament d'una xarxa Temàtica de Cooperació SUDOE sobre l'ACV en l'edificació.</li> <li>- Accions divulgatives, jornades de presentació de resultats i 12 cursos/tallers de formació.</li> <li>- Manual explicatiu de l'Anàlisi del Cicle de Vida aplicat al sector de l'edificació.</li> <li>- Realització de l'Eina Informàtica EnerBuiLCA per desenvolupar un auto diagnòstic del cicle de vida d'un edifici, seleccionant els materials i els equipaments més adequats.</li> <li>- Creació d'una Base de Dades amb informació ambiental i tècnica dels principals materials de construcció incorporada a l'eina informàtica d'ACV.</li> <li>- Aplicació de l'eina informàtica EnerBuiLCA en un conjunt de 20 edificis pilots(GT5), representatius de l'àrea SUDOE.</li> </ul>	

Ref: (SUDOE, 2012)

<b>EeGuide</b>	<b>PROJECTE</b>
	EeBGuide – Guia operativa sobre l'Anàlisi de Cicle de Vida per la Eficiència Energètica en Edificis. Aquesta guia permetrà avaluar i comparar el comportament energètic de noves estratègies, facilitant la selecció de les millors opcions als professionals del sector.
	<b>ANY DE REALITZACIÓ</b>
	Entre el 2011-2012
	<b>PARTICIPANTS/PROMOTORS</b>
	Finançat pel Sèptim Programa Marc de la Comissió Europea sota la Iniciativa d'Edificis Energèticament Eficients
	<b>OBJECTIUS</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Desenvolupar una guia operativa per aplicar la metodologia de l'Anàlisi del Cicle de Vida a edificis i productes de la construcció i que contindrà:</li> <li>- Una llista exhaustiva dels elements que han de ser considerats.</li> <li>- Solucions per enfocar aquests elements, incloent exemples pràctics i instruccions operatives.</li> <li>- Desenvolupar i organitzar cursos de formació.</li> <li>- Desenvolupar casos d'estudi per demostrar l'aplicabilitat de la guia operativa.</li> </ul>
<b>RESULTATS ESPERATS</b>	
<p>Projecte en curs. S'espera:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Una guia operativa amb directrius i exemples clars, compatible amb el ILCD Handbook elaborat per la Comissió Europea.</li> <li>- Casos d'estudi d'aplicació de l'ACV en edificis (nous i existents) i productes de la construcció per demostrar l'aplicabilitat de la guia.</li> <li>-Cursos de formació</li> <li>- Plataforma en línia (<a href="http://www.eebguide.eu">www.eebguide.eu</a>) com centre de referència per la consulta i l'aportació d'opinions per part del públic interessat.</li> </ul>	

Ref: (EeBGuide, 2012)

<b>EdeaRenov</b>	<b>PROJECTE</b>
	EDEA-RENOV: Desenvolupament de l'Eficiència energètica en la arquitectura: rehabilitació, Innovació y TICs. Té com a finalitat realitzar un mapa energètic de la Comunitat Autònoma d'Extremadura, l'elaboració d'estudis energètics en els barris socials de Santa Engracia, San Lázaro i en quatre habitatges existents representatives d'Extremadura, a més assajar sistemes d'estalvi energètic.
	<b>ANY DE REALITZACIÓ</b>
	2011-2013
	<b>PARTICIPANTS/PROMOTORS</b>
	Conselleria de Foment, Habitatge, Ordenació del Territori i Turisme del Govern d'Extremadura, cofinanciat pel Programa LIFE+09 de la Comissió Europea.
	<b>OBJECTIUS</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Elaborar un mapa energètic i climàtic de d'habitatges existents a Extremadura, avaluar l'entorn urbà, la tipologia edificatòria i tots els aspectes referents a l'edifici.</li> <li>- Avaluar el parc d'habitatges d'Extremadura, que, juntament amb l'estudi paramètric del potencial de rehabilitació, servirà com a base de dades a l'hora de plantejar una eina informàtica d'ajuda a la presa de decisions en rehabilitació.</li> <li>- Catalogar mesures i estratègies d'estalvi energètic específiques de rehabilitació energètica que ofereixin, en cada cas, la solució més idònia tan en termes energètics com econòmics.</li> <li>- Desenvolupar una eina informàtica que es proposa caracteritzar l'edificació objecte d'estudi i avalua els impactes associats a les diferents tècniques de rehabilitació.</li> <li>- Desenvolupar mòduls formatius per professionals de la rehabilitació energètica, cursos i jornades.</li> </ul>
<b>RESULTATS ESPERATS</b>	
<p>Projecte en execució</p> <p>Beneficis socials: millora de la qualitat de vida, equilibri en les despeses energètiques per família i disminució de la demanda energètica i la dependència dels combustibles fòssils</p> <p>Beneficis econòmics: Major valor de la propietat, dinamització de l'activitat empresarial i creació de treball.</p> <p>Beneficis ambientals: reducció de la contaminació i de les emissions de CO<sub>2</sub>, menor ús de matèries primes i recursos no renovables.</p>	

Ref: (Consejería de Fomento, Vivienda, Ordenación del Territorio y Turismo del Gobierno de Extremadura, 2013)

### 2.3.4. Base de dades internacionals i nacionals

Moltes empreses i organitzacions, degut a la complexitat de la realització d'un estudi d'ACV, han desenvolupat bases de dades amb informació del inventari del cycle de vida. Algunes poden ser gratuïtes i altres estan subjectes a llicències.

Les bases de dades que es poden utilitzar en estudis d'ACV són (Zabalza Bribián, 2011):

**Taula 9. Bases de dades possibles a utilitzar per estudis d'ACV. Font: (Institute for Environment and Sustainability, 2013).**

BASE DE DADES	CONTINGUT	ENTITAT DESENVOLUPADORA	Nº DE PROCESSOS
ELCD core database v.II (2009)	Materials, transformació de l'energia, transport i gestió de residus	Diverses entitats, associacions i organitzacions europees.	316
U.S. Life cycle inventory database v.1.6.0 (2008)	Fluxos d'energia i materials per els processos unitaris més comuns	National Renewable Energy laboratory (Estat Units)	355
US IO database (2003)	Dades Input-Output per Estats Units	CML, University of Leiden (Països Baixos)	481
Danish IO database (1999)	Dades Input-Output per Dinamarca	2.0 LCA Consultants (Dinamarca)	793
Ecoinvent v1.2 (2005)	Gran varietat de processos incloent la energia, transport, materials de construcció, productes químics, agricultura, gestió de residus,... de Suïza i Alemanya.	Ecoinvent centre (Suïza)	2700
Ecoinvent v2.2 (2007)			4000
IVAM LCA Data v.4.0.6 (2004)	Dades holandeses sobre materials, transport, energia i tractament de residus.	IVAM Environmental research (Holanda)	1350
Boustead Model v5.0.12 (2006)	Amplia base de dades de materials, producció de combustibles i energia.	Boustead consulting limited (Regne Unit)	-
Athena Database v.4 (2009)	Consums energètics i emissions de productes de la construcció	Athena Institute (Canadà)	1200
Industry Data (2001)	Diverses dades publicades per associacions industrials	Varies associacions internacionals, com l'associació PlasticsEurope	74
Idemat (2001)	Base de dades Holandesa, feta a partir de diferents fonts.	Delft technical University (Països Baixos)	508
Buwal 250 (1997)	Materials generals, energia, transport, residus,...	Swiss Institute of Packaging (Suïza)	248

ETH-ESU (1996)		Amplia base de dades Suïza centrada en energia, transport i residus.	ETH-ESU (Suïza)	1200
GEMIS (2009)	4.5	Base de dades gratuïta que engloba processos energètics i de transport, materials, processos de reciclatge i de tractament de residus	Öko-Institut (Alemanya)	-
Franklin (1996)		Base de dades d'Estats Units sobre energia, transport i materials generals	Franklin Associates Ltd. (Estats Units)	78
Banco Bedec (2009)		Cost energètic i emissions de CO <sub>2</sub> d'elements d'edificació, urbanització, enginyeria civil,...	ITEC (Espanya)	-
LCA sostenipra v.1.0 (2007)		Producció de Biomassa, ús de fusta, reciclatge, arquitectura sostenible.	SosteniPra- Universitat Autònoma de Barcelona	-
Quartz Open database		Productes i materials de construcció. Base de dades lliure. <a href="http://quartzproject.org/">http://quartzproject.org/</a>	Flux, HBN, Google, ThinkStep	102

### 2.3.5. Eines específiques d'ACV

S'han desenvolupat varies aplicacions específiques d'ACV, amb l'objectiu de facilitar-ne l'ús entre el sector de la indústria i la construcció.

Aquestes aplicacions estan adaptades als estudis d'ACV en edificis, facilitant l'entrada de dades i la interpretació de les dades obtingudes

Taula 10. Eines d'ACV. Font: (European Commission, 2013). Elaboració: Pròpia

<b>OpenLCA</b>	<b>DESENVOLUPADOR</b>
	GreenDelta consulting / Xarxa de socis i col·laboradors
	<b>SOFTWARE WEBSITE</b>
	<a href="http://www.openlca.org/">http://www.openlca.org/</a>
	<b>VERSIONS DISPONIBLES</b>
	Projecte desenvolupat des del 2006. Versió 1.4 i posteriors. Programari de codi obert sota llicència Mozilla Public Licence, MPL 2.0.
	<b>DESCRIPCIÓ</b>
	<p>Programa modular per l'avaluació de la sostenibilitat i modelatge del cicle de vida, basat en 3 pilars:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Permet la visualització de models complexos de forma flexible , en un llenguatge de programació estàndard, utilitzant únicament les possibilitats del codi obert.</li> <li>- Creació d'una comunitat de manteniment i desenvolupament per la contribució de la programació.</li> <li>- Construcció d'una sèrie de mòduls permetent que els usuaris creïn els seus propis.</li> </ul>
	<b>BASES DE DADES DISPONIBLES</b>
	OpenLCA Nexus es la website on es proporcionen les bases de dades de pagament i gratuïtes: <a href="https://nexus.openlca.org/">https://nexus.openlca.org/</a> .
<b>FORMATS IMPORTACIÓ/EXPORTACIÓ</b>	
XML/altres	

<b>eVerdEE v.1.0</b>	<b>DESENVOLUPADOR</b>
	ENEA - Italian National Agency for New Technology, Energy and the Environment
	<b>SOFTWARE WEBSITE</b>
	<a href="http://www.ecosmes.net/">http://www.ecosmes.net/</a>
	<b>VERSIONS DISPONIBLES</b>
	Finançat pel Ministeri de Ciència i Innovació i cofinançat amb Fons Europeo de Desenvolupament Regional "FEDER". Van participar 6 coordinadors i 22 socis.
	<b>DESCRIPCIÓ</b>
	Eina web que investiga l'avaluació del cycle de vida. Adaptada a la ISO 14040.
	Els impactes es quantifiquen en base a 10 categories:
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Consum dels recursos minerals</li> <li>- Consum de biomassa</li> <li>- Consum d'aigua potable</li> <li>- Consum d'energies no renovables</li> <li>- Canvi climàtic</li> <li>- Acidificació</li> <li>- Eutrofització</li> <li>- Oxidació fotoquímica</li> <li>- Esgotament de la capa d'ozó</li> </ul>
	I dos indicadors ambientals:
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Total de residus</li> <li>- Residus perillosos</li> </ul>
<b>BASES DE DADES DISPONIBLES AMB L'EINA</b>	
Base de dades principal: DIM 1,0	
<b>FORMATS IMPORTACIÓ/EXPORTACIÓ</b>	
XML/-----	



<b>GEMIS version 4.4</b>	<b>DESENVOLUPADOR</b>
	Oeko-Institut (Institute for applied Ecology), Darmstadt Office
	<b>SOFTWARE WEBSITE</b>
	<a href="http://iinas.org/gemis-de.html">http://iinas.org/gemis-de.html</a>
	<b>VERSIONS DISPONIBLES</b>
	-----
	<b>DESCRIPCIÓ</b>
	GEMIS és un model d'anàlisi de flux de cicle de vida i de materials complet amb una base de dades integrada. El model s'aplica als fluxos directes i indirectes, els fluxos d'energia (fòssil, nuclear i renovables), materials, serveis de transport, el reciclatge i tractament de residus. També els costos monetaris poden ser integrats. Els indicadors ambientals són les emissions a l'aire (SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , partícules, HCl, HF, H <sub>2</sub> S, NH <sub>3</sub> , CO, COVDM), gasos d'efecte hivernacle, efluents líquids (AOX, DBO, DQO, N, P, sals inorgàniques), residus sòlids, ús del sòl i l'ús dels recursos d'energia primària. A més, es calculen els costos i els impactes del treball (directes i indirectes).
	<b>BASES DE DADES DISPONIBLES AMB L'EINA</b>
	Gemis 4,4
<b>FORMATS IMPORTACIÓ/EXPORTACIÓ</b>	
----/--	

<b>GaBi Software/DXF</b>	<b>DESENVOLUPADOR</b>
	PE International GmbH
	<b>SOFTWARE WEBSITE</b>
	www.gabi-software.com
	<b>VERSIONS DISPONIBLES</b>
	<p>GaBi 4.2 Per instal·lacions de la indústria, la consultoria i la investigació.</p> <p>GaBi 4,2 acadèmia: Ús no comercial. Per tesis, seminaris...</p> <p>GaBi 4,2 Edu: Per l' ensenyament a les escoles / universitats.</p> <p>GaBi 4,2 Alumne: Versió gratuïta per estudiants sense ús comercial.</p> <p>GaBi 4,2 Temporal: Ús per un període limitat.</p> <p>GaBi 4,2 Llicència de prova (sense cost): Versió lliure per propòsits únicament de prova.</p> <p>GaBi DFX: per aplicació industrial (automotriu i electrònica) i comercial</p> <p>GaBi DFX acadèmia: per aplicacions d'investigació</p>
	<b>DESCRIPCIÓ</b>
	<p>Software líder en l'avaluació de l'anàlisi del cicle de vida, Enginyeria del Cicle de Vida (LCE), Green House Gas Accounting, Benchmarking i l'eficiència energètica dels productes y Empresas.</p> <p>Permet crear models basats en cadena de processos físics, juntament amb les funcions bàsiques de LCI modelatge, anàlisi de dades, el càlcul d'impacte, etc. Per una anàlisi detallada de l'analista, GaBi ofereix l'anàlisi d'escenaris, la variació de paràmetres, anàlisi de sensibilitat i un usuari totalment controlat.</p> <p>Eina pel desenvolupament i el compliment de productes sostenibles. Inclou diferents regulacions com les directives de la UE.</p> <p>Ajuda a GaBi 4,2 en el disseny per el compliment de la normativa, disseny per la preservació del medi ambient, disseny per al reciclatge i disseny per el desmuntatge</p>
	<b>BASES DE DADES DISPONIBLES AMB L'EINA</b>
	<p>Base de dades principal:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Gabi bases de dades de 2006 : Un gran nombre de dades amb al voltant de 1000 processos.</li> </ul> <p>Bases de dades addicionals</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ecoinvent "Integrat"</li> <li>- Ecoinvent dades v1.3 Simple : Còpia exacta de la base de dades Swiss ecoinvent, llest per utilitzar en el format de base de dades GaBi per al seu ús en la GaBi 4.2. No es compatible amb altres bases de dades com Gabi 2006.</li> <li>- GaBi 4 edu bases de dades;</li> <li>- GaBi bases de dades de 2006 mòduls d'extensió</li> <li>- GaBi bases de dades 2006 magra</li> <li>- GaBi bases de dades de 2006 estudiants</li> </ul>
	<b>FORMATS IMPORTACIÓ/EXPORTACIÓ</b>
EcoSpold 1, Excel / EcoSpold 1, Excel	

SimaPro 7	<b>DESENVOLUPADOR</b>
	PRé Consultants BV
	<b>SOFTWARE WEBSITE</b>
	www.pre.nl/SimaPro o www.simapro.com
	<b>VERSIONS DISPONIBLES</b>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Analyst: Versió complerta per al professional de l'Anàlisi del Cicle de Vida. També disponible en versió multiusuari, inclou llicència Eco-inventar.</li> <li>- Classroom: versió educació per 40 usuaris. És equivalent a la versió compacte per varis usuaris.</li> <li>- Compact: Interfície d'usuari simplificada. També disponible com versió multiusuari, inclou llicència Eco-inventar.</li> <li>- Developer: característiques addicionals per als usuaris que vulguin desenvolupar assistents basats en eines d'ACV, establir vincles entre SimaPro i un altre software, etc... També disponible en versió multiusuari, inclou llicència Eco-inventar.</li> <li>- Faculty: un sol usuari, llicència temporal, pot ser distribuït a tots els estudiants que pertanyen a la facultat, és equivalent a la versió compacte.</li> <li>- PhD: usuari únic per investigadors; es comparable amb la versió Analyst.</li> </ul>
	<b>DESCRIPCIÓ</b>
	Software utilitzat en tot el món amb moltes funcions avançades de fàcil ús. Flexibilitat en el maneig de diferents mètodes d'avaluació d'impacte. Per als principiants, disposa d'un assistent per ajudar a definir el cicle de vida e introduir les dades més importants. És possible enllaçar amb fonts de dades externes. Els resultats que s'obtenen són sempre transparents.
	<b>BASES DE DADES DISPONIBLES AMB L'EINA</b>
	<p>Base de dades principal:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Base de dades SimaPro: Conté tots els complements en bases de dades, i una biblioteca amb onze mètodes de valoració d'impacte.</li> </ul> <p>Bases de dades addicional:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- BUWAL250</li> <li>- Dutch input output data</li> <li>- ESU ETH data</li> <li>- IDEMAT</li> <li>- USA input output data</li> <li>- Danish Food data</li> <li>- Ecoinvent Data v1.3</li> <li>- Franklin USA data</li> <li>- Industry data</li> <li>- IO-database for Denmark 1999</li> </ul>
<b>FORMATS IMPORTACIÓ/EXPORTACIÓ</b>	
csv, EcoSpold 1, Excel / csv, EcoSpold 1, Excel	

<b>EIO-LCA</b>	<b>DESENVOLUPADOR</b>
	Wassily Leontief – Green Design Institute de la Carnegie University
	<b>SOFTWARE WEBSITE</b>
	<a href="http://www.eiolca.net/">http://www.eiolca.net/</a>
	<b>VERSIONS DISPONIBLES</b>
	Hi ha una versió específica sobre sistemes d'aire acondicionat, anomenat AIR, calculant els costos i impactes ambientals potencials associats.
	<b>DESCRIPCIÓ</b>
	Calcula els materials i els recursos energètics requerits per a les activitats econòmiques i les emissions ambientals.
	<b>BASES DE DADES DISPONIBLES AMB L'EINA</b>
	-----
<b>FORMATS IMPORTACIÓ/EXPORTACIÓ</b>	
xml, csv	

<b>Umberto</b>	<b>DESENVOLUPADOR</b>
	ifu Hamburg GMBH
	<b>SOFTWARE WEBSITE</b>
	<a href="http://www.umberto.de/">http://www.umberto.de/</a> o <a href="https://www.ifu.com/">https://www.ifu.com/</a>
	<b>VERSIONS DISPONIBLES</b>
	Umberto NXT Efficiency: és una eina per crear fluxos de materials i energia d'un sistema de producció de manera transparent. Umberto NXT LCA: programari per a Anàlisi de Cicle de Vida, utilitza la base de dades Ecoinvent 3 i LCI Gabi, crea models gràfics clars i concisos del cicle de vida del producte. Umberto NXT CO2: eina per a la determinació ràpida i fàcil de l'impacte climàtic produït per empreses i productes. Umberto NXT Universal: combina les perspectives ambientals i de costos en un model.
	<b>DESCRIPCIÓ</b>
	Herramienta muy potente y flexible para aplicar el ACV y realizar análisis de flujos de materiales y energía dentro de la industria.
	<b>BASES DE DADES DISPONIBLES AMB L'EINA</b>
	Umberto library 5.5.
<b>FORMATS IMPORTACIÓ/EXPORTACIÓ</b>	
Ecospold y Excel/ Ecospold y Excel	

## 2.4. IMPACTES AMBIENTALS en l'edificació

Els impactes ambientals els trobem descrits i especificats, principalment, a la normativa publicada "UNE-EN 15643-2:2012. Marc per l'avaluació del comportament ambiental" (AENOR, 2012), elaborada pel comitè tècnic AEN/TC 198 Sostenibilitat en la construcció.

Es defineix el impacte ambiental com: "la dimensió ambiental de la sostenibilitat es limita a l'avaluació dels impactes i aspectes ambientals d'un edifici sobre l'ambient local, regional i global. L'avaluació es basa en una anàlisi del cicle de vida i la informació ambiental quantificable addicional s'expressa amb ajuda d'indicadors quantificats. Això exclou l'avaluació de la influència d'un edifici sobre els impactes i aspectes ambientals lligats a la infraestructura local més enllà de la parcel·la, i sobre els impactes i aspectes ambientals lligats al transport dels usuaris de l'edifici. També exclou l'anàlisi de riscos ambientals (Sostenibilidad en la construcción. AEN/CTN 198, 2012)

Per altra banda, les certificacions no obligatòries prenen com a base aquesta normativa i l'adapten pels seus objectius per definir els seus propis impactes i índex.

En aquest apartat s'analitzarà els diferents indicadors que proposa la normativa els quals seran, previ selecció, la base a tenir en compte en la part dels impactes ambientals pel model d'optimització que es realitzarà en el desenvolupament de la tesi doctoral.

### 2.4.1. Objectius

Quantificar el comportament ambiental de l'objecte de l'avaluació mitjançant la recopilació d'informació ambiental.

Depenent del context, l'ús previst de l'avaluació, pot incloure:

- Assistència en el procés de presa de decisions com les comparacions del comportament ambiental de diferents opcions de disseny, de rehabilitació, reconstrucció i/o nova construcció i identificació del potencial de millora en el comportament ambiental.

- Declaració del comportament respecte a requisits legals

- Declaració del comportament ambiental d'un edifici per utilitzar-lo en certificació, declaració del comportament ambiental, etiquetat i màrqueting.

- Recolzament al desenvolupament de polítiques.

L'objecte d'avaluació és l'edifici, incloent els seus fonaments i obres externes dintre del perímetre de la parcel·la de l'edifici, al llarg del seu cicle de vida.

## 2.4.2. Anàlisi dels impactes ambientals durant el cicle de vida en l'edificació

És un anàlisi multicriteri on s'avalua tot allò que afecta a un sistema.

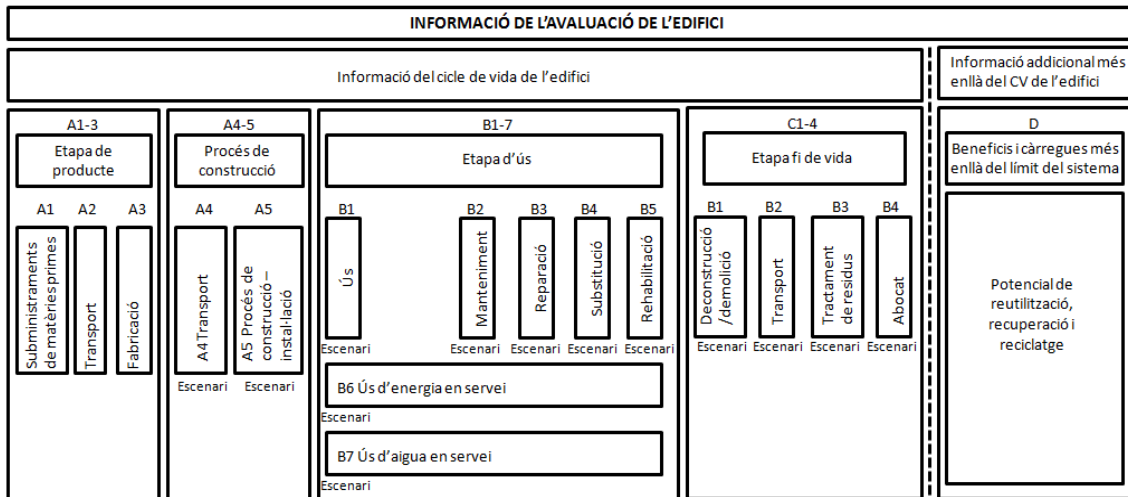


Fig. 11. Esquema dels mòduls d'informació per les diferents etapes de l'avaluació de l'edifici. Font: (AENOR. UNE-EN 15978, 2012).

Els mòduls A1 a C4 cobreixen els impactes i aspectes ambientals que estan directament vinculats a processos i operacions que tenen lloc dintre del límit del sistema de l'edifici i el mòdul D proporciona els beneficis nets relatius a l'exportació d'energia i als materials secundaris, als combustibles secundaris o productes secundaris resultants de la reutilització, reciclatge i valorització energètica que tenen lloc més enllà dels límits del sistema.

### MÒDULS A1-A3

Cobreixen els processos del bressol a la porta pels materials i serveis utilitzats en construcció.

### MÒDULS A4-A5

L'etapa del procés de construcció cobreix els processos de la porta a la fàbrica dels materials utilitzats en la construcció a la finalització de la obra de construcció.

El mòdul A4 inclou:

Taula 11. Processos ambientals associat al mòdul A4. Font: (AENOR. UNE-EN 15978, 2012).  
Elaboració: elaboració pròpia

El transport de materials i productes des de la porta de la fàbrica a l'obra, incloent qualsevol transport, emmagatzematge intermedi i distribució.
El transport dels equips de construcció cap a i des de la obra.
Tots els impactes i aspectes relacionats a pèrdues degudes al transport (producció, transport i gestió de residus dels productes i materials que s'han danyat o perdut en el transport.

El mòdul A5 inclou:

**Taula 12. Processos ambientals associat al mòdul A5. Font: (AENOR. UNE-EN 15978, 2012).  
Elaboració: elaboració pròpia**

Obres en el terreny (moviments de terra) i millores del paisatge.
Emmagatzematge del productes, incloent el subministrament de calefacció, refrigeració...
Transport de materials, productes, residus i equips en l'obra
Obres temporals, incloent les obres temporals emplaçades fora de l'obra que siguin necessàries pels processos d'instal·lació en construcció
Producció i transformació d'un producte en l'obra
Subministrament de calefacció, refrigeració, ventilació...durant el procés de construcció
Instal·lació dels productes a l'edifici incloent materials auxiliars no comptabilitzats en la DAP dels productes
Ús d'aigua per la refrigeració de la maquinària de construcció o de neteja en l'obra
Procés de gestió de residus d'altres residus generats a l'obra. Inclou tots els processos fins l'abocat final o fins que s'aconsegueixi l'estat de fi de residu
Producció, transport i gestió de residus de productes i materials perduts durant el procés de construcció/instal·lació

### MÒDULS B1-B7

Cobreix el període des de la finalització de l'obra de construcció fins a la seva desconstrucció.

El mòdul B1 i B2 inclou:

**Taula 13. Processos ambientals associats als mòduls B1-B2. Font: (AENOR. UNE-EN 15978, 2012).  
Elaboració: elaboració pròpia**

Els impactes i aspectes que es presenten per les condicions normals d'ús dels components dels edificis.
La producció i transport dels components i productes auxiliars utilitzats en el manteniment
Tots els processos de neteja de l'interior i exterior de l'edifici
Tots els processos pel manteniment pel comportament funcional i tècnic de l'estructura de l'edifici, dels sistemes tècnics integrats i les qualitats estètiques dels components interiors i exteriors de l'edifici

El mòdul B3 inclou:

Processos de reparació dels components de l'edifici durant l'etapa d'ús:

**Taula 14. Processos ambientals associat al mòdul B3. Font: (AENOR. UNE-EN 15978, 2012).  
Elaboració: elaboració pròpia**

Producció de les parts o components reparats i els productes auxiliars
El transport de les parts o components reparats i dels productes auxiliars, incloent els impactes i els aspectes de la producció dels materials perduts durant el transport
Els processos de reparació de les parts o components reparats i els productes auxiliars
La gestió de residus i l'etapa de fi de vida de les parts o components eliminats i dels productes auxiliars

El mòdul B4 inclou:

**Taula 15. Processos ambientals associat al mòdul B4. Font: (AENOR. UNE-EN 15978, 2012).  
Elaboració: elaboració pròpia**

La producció dels components substituïts i dels productes auxiliars
El transport dels components substituïts i dels productes auxiliars, els impactes i aspectes de la producció dels materials perduts durant el transport
El procés de substitució dels components substituïts i dels productes auxiliars
La gestió de residus i l'etapa fi de vida dels components eliminats i dels productes auxiliars

El mòdul B5 inclou:

**Taula 16. Processos ambientals associat al mòdul B5. Font: (AENOR. UNE-EN 15978, 2012).  
Elaboració: elaboració pròpia**

La producció i el transport dels components nous de l'edifici
La construcció com a part del procés de rehabilitació
Gestió de residus del procés de rehabilitació
L'etapa de fi de vida dels components de l'edifici substituïts

El mòdul B6 inclou:

**Taula 17. Processos ambientals associat al mòdul B6. Font: (AENOR. UNE-EN 15978, 2012).  
Elaboració: elaboració pròpia**

Calefacció
Subministrament domèstic d'agua calenta
Aire condicionat
Ventilació
Il·luminació
Energia utilitzada per les bombes, els controls i els automatismes
Ús d'energia d'altres sistemes tècnics integrats de l'edifici necessaris per al seu comportament tècnic i funcional

El mòdul B7 inclou:

Els processos integrats en l'edifici que consumeixen aigua en servei. Son els processos que proporcionen:



**Taula 18. Processos ambientals associat al mòdul B7. Font: (AENOR. UNE-EN 15978, 2012).  
Elaboració: elaboració pròpia**

Aigua potable
Aigua sanitària
Aigua calenta sanitària
Reg de zones enjardinades associades, teulades verdes, murs verds
Aigua per calefacció, refrigeració, ventilació i humectació
Altres usos específics dels sistemes integrats en l'edifici com fonts, piscines, saunes

### MÒDULS C1-C4 i D

L'etapa de fi de vida comença quan l'edifici es retirat del servei i no està previst que tingui un altre ús. La demolició o desconstrucció de l'edifici es pot considerar com un procés amb múltiples sortides que proporciona una font de materials, productes i elements d'edificació a eliminar, recuperar, reciclar o reutilitzar.

Inclouen:

**Taula 19. Processos ambientals associats als mòduls C1-C4 i D. Font: (AENOR. UNE-EN 15978, 2012). Elaboració: elaboració pròpia**

C1	La desconstrucció incloent el desmantellament o demolició de l'edifici, incloent la classificació inicial dels residus en l'obra.
C2	Transport dels materials utilitzats com a part del tractament de residus
C3	El tractament de residus, es a dir, la recol·lecció de fraccions procedent de la desconstrucció i el tractament de residus de fluxos materials per la reutilització, el reciclatge i la valorització energètica
C4	Abocat de residus, incloent el pretractament físic i la gestió de l'abocador
D	Quantifica els beneficis i càrregues ambientals nets obtinguts de la reutilització, reciclatge i valorització energètica dels fluxos nets dels materials i energia exportats.

### QUANTIFICACIÓ DE L'EDIFICI I EL SEU CICLE DE VIDA

La quantificació dels materials i productes es determina en base a la descripció de l'objecte de l'avaluació o amb les quantitats reals i els escenaris per cada mòdul del cicle de vida de l'objecte de l'avaluació.

La quantitat neta s'especifica d'acord amb els plànols del projecte i/o els plànols de la obra construïda i correspon a les unitats netes de productes, materials, components i elements que, junts, constitueixen l'edifici.

Per comptabilitzar la quantitat bruta, s'han de tenir en compte les pèrdues que es produeixen com a resultat d'una sèrie de factors que inclouen:

- Pèrdua/deteriorament en trànsit
- Pèrdua/deteriorament en l'obra
- Pèrdues en el tractament normal de productes, materials, components... en l'obra
- Pèrdues de disseny degudes a la diferencia entre les dimensions del producte i les del projecte.
- Requisits de comanda de quantitats mínimes.

Per a tots els components que poden ser reparats o substituïts, és necessari definir la vida útil estimada (ESL) i la informació sobre els processos de reparació, substitució i abocat.

El número de substitucions, està directament vinculat a la seva vida útil estimada. Només es permès un número sencer de substitucions.

L'equació a continuació, permet calcular el número de substitucions  $N_R(j)$  de productes, components o elements en funció de la vida útil requerida de l'edifici  $R_{eqSL}$ .

$$N_R(j) = E [R_{eqSL}/ESL(j) - 1]$$

On:

$E [R_{eqSL}/ESL(j)]$  és una funció que arrodoneix  $R_{eqSL}/ESL(j)$  al valor numèric superior

$ESL(j)$  és la vida útil estimada del producte  $j$

$N_R(j)$  és el número de substitucions del producte

$R_{eqSL}$  és la vida útil requerida per l'edifici

### **Avaluació de l'impacte del cicle de vida (AICV)**

En aquesta fase s'avalua com són de significatius els impactes ambientals utilitzant els resultats del ICV (Impactes Cicle de Vida). Aquest procés implica la associació de les dades del inventari amb les categories d'impactes ambientals específics i amb els indicadors d'aquestes categories per entendre millor els impactes. Aquí, es proporciona informació per la fase d'interpretació del cicle de vida.

Aquesta separació en elements és útil per varis motius: cada element es diferencia i es pot definir amb claredat; la fase de definició de l'objectiu i abast pot considerar per separat cada element del AICV; es pot fer per a cada element una avaluació de qualitat del mètodes i altres suposicions i decisions que es prenen en aquesta fase; dintre de cada element es dona transparència als judicis de valor per una revisió crítica i l'informe.

Arribats a aquest punt, es pot tornar a fer una revisió dels objectius i abast marcats en un principi per veure si s'estan complint o s'han de canviar o modificar si la avaluació indica que no es poden portar a terme.

### **Interpretació del cicle de vida**

En aquesta fase, els descobriments de l'anàlisi del inventari i de l'avaluació del impacte es consideren junts. S'han de proporcionar resultats coherents amb l'objectiu i l'abast definits. S'han d'extreure conclusions, explicar limitacions i donar recomanacions.

La interpretació del cicle de vida, intenta donar una lectura comprensible, completa i coherent de la presentació de resultats de l'ACV (Anàlisi del Cicle de Vida), sempre en concordança amb la definició de l'objectiu i l'abast.

Superades aquestes etapes, es essencial informar de les conclusions i resultats arribats de la millor manera possible perquè arribin al públic que s'havia definit.

### 2.4.3. Indicadors

L'objectiu de la Directiva 2001/81/CE, del Parlament Europeu i del Consell, de 23 d'octubre de 2001, sobre sostres nacionals d'emissió de determinats contaminants atmosfèrics, és limitar les emissions de contaminants acidificants i eutrofitzants i de precursors d'ozó amb la finalitat de protegir la salut humana i el medi ambient.

Les categories d'impactes recomanades pel CEN són:

**Taula 20. Categories d'impactes per ACV en edificis. Font: (CEN/TC 350, 2012)**

CATEGORIA D'IMPACTE	UNITAT
Escalfament global potencial	Kg CO <sub>2</sub> -equivalents
Destrucció de la capa d'ozó estratosfèric	Kg CFC-11-equivalents
Acidificació de la terra i l'aigua	Kg SO <sub>2</sub> -equivalents
Eutrofització	Kg PO <sub>2</sub> -equivalents
Formació d'ozó troposfèric	Kg C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> -equivalents
Residus radioactius	Kg
Ús d'energia primària renovable/ no renovable	MJ
Ús dels recursos d'aigua dolça	m <sup>3</sup>
Ús de recursos renovables/no renovables(diferents de l'energia primària)	Kg
Ús de recursos reciclats/reutilitzats (diferents de l'energia primària)	Kg
Materials per reciclatge o per valorització energètica	Kg
Residus perillosos i no perillosos per disposició final	Kg

\* Aquests impactes són els que s'han tingut en compte com a camps d'entrada per la base de dades utilitzada en el model de simulació proposat.

Els impactes d'un edifici es quantifiquen a través dels indicadors.

L'ús d'indicadors ambientals s'ha estès en diferents àmbits, encara que no existeix una definició única ja que depèn de la institució i els objectius que es vulguin aconseguir. Una de les definicions més consolidades és la que dona la OCDE, diu que un indicador ambiental és un paràmetre que proporciona informació per descriure un fenomen, ambient o àrea.

### 2.4.4. Proposta de metodologia d'ACV segons la normativa espanyola

Les metodologies d'avaluació del impacte són els càlculs sistemàtics que s'utilitzen per obtenir des d'un flux d'inventari del cicle de vida (LCI), com el diòxid de carboni o el diòxid de sofre, fins al impacte mediambiental que provoca. Els resultats d'aquests càlculs solen mesurar tant els efectes del punt mitjà com del punt final (els efectes del punt final de vegades es denominen efectes dels danys). Per exemple, el gràfic següent mostra com alguns efectes del punt mitjà es corresponen amb els efectes del punt final respectius (SolidWorks Sustainability, 2013).

Les metodologies més comuns utilitzades en els estudis d'ACV són:

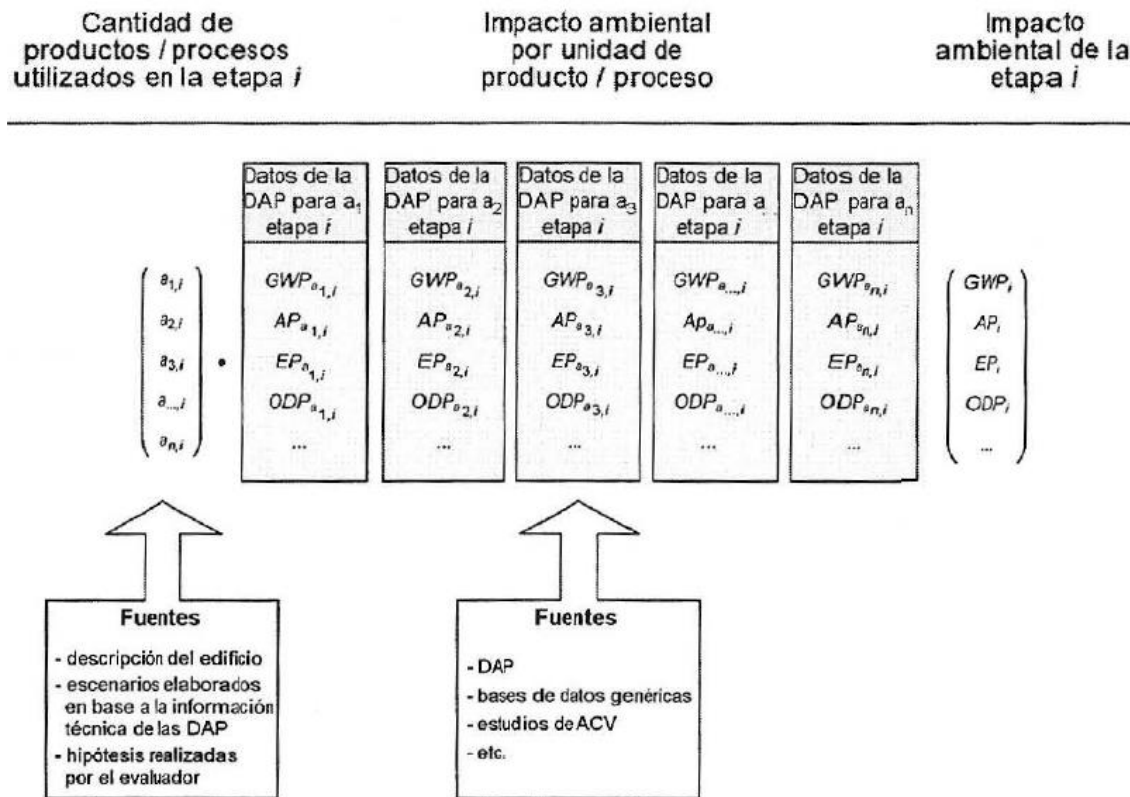
**Taula 21. Metodologies utilitzades en ACVs. Font: (Zabalza Bribián, 2011).**

METODOLOGIA	CARACTERÍSTIQUES	ENTITAT DESENVOLUPADORA
CML 92	Mètode d'impacte intermedi molt utilitzat amb una caracterització simple i diverses opcions de normalització	CML (Holanda)
CML 2 baseline 2000	És el mètode CML 92 amb models més avançats	CML (Holanda)
EPS 2000	Mètode orientat a danys que considera la monitorització com a ponderació.	IVL (Suècia)
Ecoindicador 95	Mètode de distància al objectiu, basat en objectius científics. Inclou models relacionats amb els danys.	Pré (Holanda)
Ecoindicador 99	És una actualització del mètode anterior i està orientat als danys. Utilitza indicadors de categoria d'impacte final.	Pré (Holanda)
IMPACT 2002+	Mètode semblant al Ecoindicador 95, està orientat als danys però amb els factors de toxicitat recalculats.	EPFL (Suïza)
TRACI 2002	Mètode d'impacte intermedi desenvolupat per US EPA	US EPA (Estats Units)
Ecopunts 97 i 2006	Mètode de distància al objectiu, basat en els objectius de la política suïssa. La versió 2006 és una actualització de la 97.	E2, ESU service (Suïza)
EDIP 97 i 2003	Mètode de caracterització i normalització. La versió 2003 és una actualització de la 97.	EDIP-TDU (Dinamarca)
LIME	Mètode japonès que inclou diverses categories d'impacte intermedi i final.	AIST (Japó)
LUCAS	Mètode d'impacte intermedi que adapta alguns models de caracterització de TRACI 2002 i IMPACT 2002+	CIRAIG (Canadà)
RECIPE	Mètode que integra i actualitza els mètodes Ecoindicador 99 i CML2, incloent categories d'impacte intermedi i final	RUN, Pré, CML i RIVM (Holanda)
MEEUP	Mètode d'impacte intermedi enfocada al disseny ecològic del producte.	VhK (Holanda)

Les metodologies d'avaluació poden incloure tan models d'impacte intermedi com final. Els intermedis estan orientats als problemes i mostren els resultats com la contribució als diferents problemes ambientals, en canvi, els models d'impacte final, orientat als danys, avaluen els danys reals produïts com a conseqüència dels problemes ambientals.

### Mètode de càlcul

Els valors per cada un dels indicadors anomenats a l'apartat anterior, es calculen per cada mòdul de les etapes del cicle de vida, utilitzant el principi de càlcul matricial.



Para  $i = [A1 \text{ a } A3, A4, A5, B1, B2, B3, B4, B5, B6, B7, C1, C2, C3, C4]$  y  $[D]$ .

Fig. 12. Principi de càlcul matricial dels impactes ambientals per al mòdul  $i$  del cicle de vida de l'edifici i fonts de dades pertinents. Font: (AENOR. UNE-EN 15978, 2012)

El principi bàsic d'aquest càlcul matricial consisteix en multiplicar cada producte i servei quantificat en un mòdul del cicle de vida de l'edifici, amb el seu respectiu valor per cada indicador ambiental.

$$EP_i = \tilde{a}_j \times M$$

On:

$EP_i$  és el valor de l'indicador del mòdul  $i$  de l'edifici

$\tilde{a}_j$  és el vector que conté les quantitats brutes de tots els productes i serveis utilitzats en el mòdul  $j$  de l'edifici

$M$  és la matriu que conté en les seves columnes els valors dels indicadors ambientals per unitat de tots els productes i serveis utilitzats en el mòdul  $i$  de l'edifici.

## 2.5. IMPACTES ECONÒMICS en l'edificació

Els impactes econòmics els trobem descrits i especificats, principalment, a la normativa publicada “UNE-EN 15643-4:2012. Marc per l'avaluació del comportament econòmic” (AENOR, 2012), elaborada pel comitè tècnic AEN/TC 198 Sostenibilitat en la construcció.

Es defineix el impacte econòmic com: “Qualsevol canvi en les condicions econòmiques, bé sigui negatiu o positiu, produït de forma completa o parcial pels aspectes econòmics (aspectes de l'obra de construcció, de part de l'obra, dels processos o dels serveis relacionats amb els seu cicle de vida que pot alterar les condicions econòmiques), al llarg del seu cicle de vida” – definició derivada de les definicions d'impacte i impacte econòmic de la Norma ISO 15392 (Comitè Tècnic ISO/TC 79. Subcomitè SC 17, 2008)-.

Per altra banda, les certificacions no obligatòries prenen com a base aquesta normativa i l'adapten pels seus objectius per definir els seus propis impactes i índex.

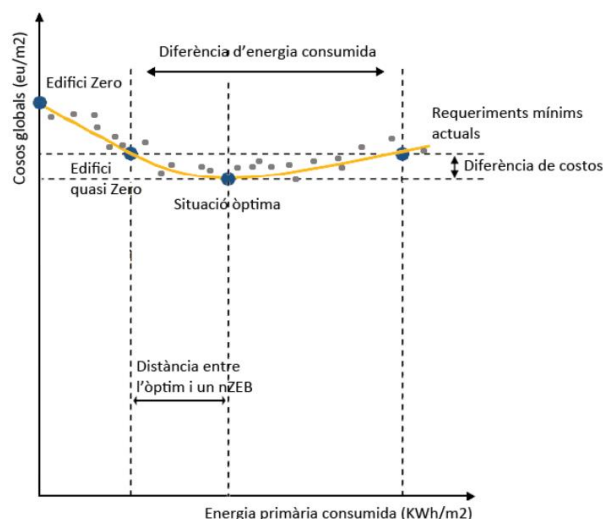


Fig. 13. Relació òptima entre benefici-cost. Font: (BPIE - Buildings Performance Institute Europe -, 2012).  
Elaboració: elaboració pròpia.

En aquest apartat s'analitzarà els diferents indicadors que proposa la normativa els quals seran, previ selecció, la base a tenir en compte en la part dels impactes econòmics pel model d'optimització que es realitzarà en el desenvolupament de la tesi doctoral.

### 2.5.1. Objectius

“El propòsit de la normativa és plantejar un marc metodològic amb els principis, requisits i directrius per l'avaluació del comportament econòmic d'una edificació” (AENOR, 2012). Per tant, la normativa ens ofereix les línies generals a seguir però no estableix metodologies d'assignació de valor; tenint en compte que aquesta **metodologia concreta de càlcul, s'està desenvolupant pel grup de treball WI 003500 17 (Sostenibilitat en la construcció. Declaracions ambientals del producte. Avaluació del comportament econòmic dels edificis).**

Aquest marc metodològic és d'aplicació, ja sigui per edificis d'obra nova com existents, per la seva vida útil restant (servei i manteniment) i l'etapa de fi de vida (demolició, reciclatge i reutilització). Té en compte:

- Analitza i avalua el cost del cycle de vida i altres aspectes econòmics, tots expressats mitjançant indicadors quantitius.
- S'atenen els aspectes econòmics relatius a l'entorn construït en la parcel.la de l'edifici.
- S'exclouen l'avaluació dels riscos econòmics i els càlculs de retorn de la inversió de l'edifici.
- No s'inclouen els aspectes econòmics més enllà de la parcel.la, com ara els impactes econòmics associats a les infraestructures locals o als resultants del transport dels usuaris o als referents als projectes de construcció de la comunitat local.

Per tant, l'objectiu és determinar els impactes econòmics produïts pel cost d'un edifici o part de l'obra durant el seu cycle de vida, mentre compleixi amb els requisits tècnics i funcionals<sup>4</sup>.

### 2.5.2. Anàlisi del impacte econòmic durant el cycle de vida en l'edificació

L'avaluació del comportament econòmic de l'edifici, el cycle de vida comença amb la decisió de construir, rehabilitar, renovar, ampliar, mantenir o demolir.

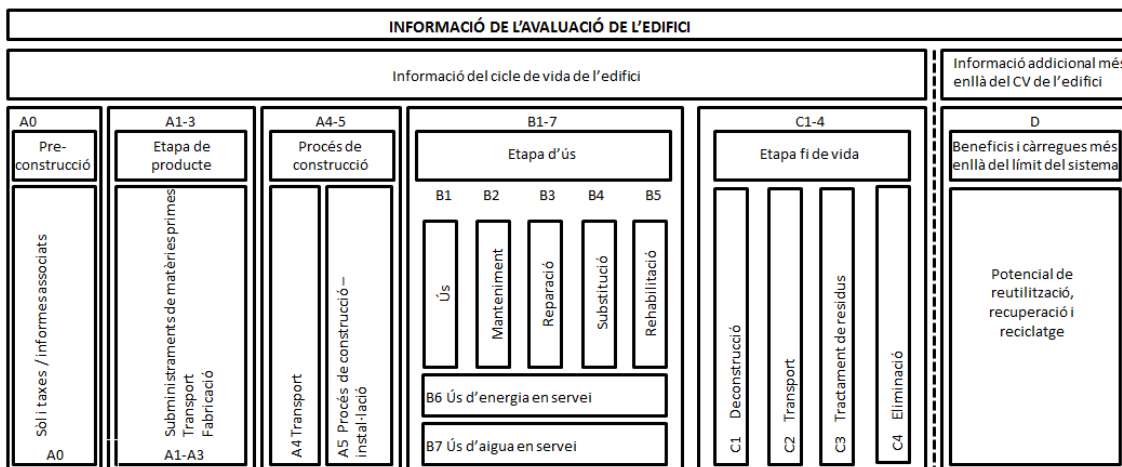


Fig. 14. Mòduls d'informació aplicats a l'avaluació del comportament econòmic d'un edifici<sup>5</sup>. Font: (AENOR, 2012). Elaboració: elaboració pròpia.

<sup>4</sup> NOTA: Poden incloure, per exemple, els requisits sobre seguretat estructural, protecció davant incendis, qualitat de l'aire interior, seguretat, adaptabilitat, eficiència energètica, accessibilitat, capacitat per a la seva desconstrucció, capacitat de reciclatge, capacitat de manteniment, durabilitat i vida útil de l'edifici o d'un sistema acoblament (part de l'obra). Alguns d'aquests requisits tècnics i funcionals s'inclouen en categories d'avaluació del comportament social.

<sup>5</sup> La informació assignada al mòdul apropiat s'hauria de prendre de fonts adequades, per exemple seguint els procediments de la Norma ISO 15686-5 o mitjançant dades històriques de costos.

### MÒDULS A0, A1-A5

El mòdul A0 inclou els costos previs a l'etapa de producte i edificació, tenint en compte els costos associats per despatx (serveis professionals) i costos del sol (compra o lloguer).

Del mòdul A1-A5 podem incloure els següents costos:

**Taula 22. Costos associats als mòduls A1-A5. Font: (AENOR, 2012). Elaboració: elaboració pròpia**

Costos dels productes subministrats en la porta de la fàbrica llestos per a la construcció
Costos en que s'incorre entre la fàbrica i l'obra
Taxes professionals - qualsevol taxa pagada a l'equip del projecte per treballar-hi, incloent viabilitat, planificació i projecte
Obres temporals i auxiliars: activitats per netejar i preparar el solar per a la construcció i proporcionar infraestructura i serveis (gas, electricitat i aigua) dins de la parcel·la del edifici
Construcció del actiu - tots els aspectes de distribució i construcció de l'edifici, incloent directament els aparcaments associats amb el solar
Adaptació inicial i condicionament de l'actiu - condicionament o modificació d'edificis nous
Paisatgisme, obres exteriors al solar
Impostos i altres costos associats als permisos per a construir
Subvencions i incentius

### MÒDULS B1-B5

Els costos relacionats en aquest punt són:

**Taula 23. Costos associats als mòduls B1-B5. Font: (AENOR, 2012). Elaboració: elaboració pròpia**

Costos de les assegurances vinculats a l'edifici
Arrendament i lloguer a pagar a tercers
Costos reglamentaris cíclics
Impostos
Subvencions i incentius
Ingressos per la venda d'actius o elements que no siguin part dels residus per eliminació final
Ingressos de tercers durant l'ús
Reparacions i substitucions de components menors 1 petites zones
Substitució o rehabilitació de sistemes i components importants
Adaptació o posterior condicionament d'actius-condicionament o modificació d'edificis existents
Neteja
Manteniment del terreny
Redecoració
Controls sobre l'eliminació de residus al final de la fase d'arrendament (excloent l'eliminació final de la fi de vida)



Fi de l'arrendament
Adaptacions previstes o rehabilitacions planejades l'actiu en servei
Costos de gestió dels serveis que ofereix l'edifici

NOTA. El impacte econòmic resultant per la manipulació de residus generats per aquestes activitats s'inclou en el mòdul on es produeixin. La llista dels mòduls C1-C4 i D tracta els costos de subministrament d'aigua i energia, incloent, també l'eliminació de residus.

### MÒDULS B6-B7

Els costos relacionats en aquest punt són:

**Taula 24. Costos associats als mòduls B6-B7. Font: (AENOR, 2012). Elaboració: elaboració pròpia**

Costos d'energia en servei (per defecte és deguda a l'ús tal com defineixen les normes relacionades de la Directiva d'eficiència energètica dels edificis)
Costos d'aigua en servei
Impostos
Subvencions i incentius

NOTA. La informació sobre el consum d'energia en servei caldria obtenir dels mòduls d'informació pertinents o mitjançant el càlcul de l'energia subministrada per a ús en calefacció, refrigeració, ventilació, aigua calenta sanitària, il·luminació i automatització i control de l'edifici.

### MÒDULS C1-C4 I D

Els costos relacionats en aquest punt són:

**Taula 25. Costos associats als mòduls C1-C4 i D. Font: (AENOR, 2012). Elaboració: elaboració pròpia**

Desconstrucció, desmantellament, demolició
Tots els costos de transport associats amb el procés de desconstrucció i eliminació de l'actiu construït
Taxes i impostos
Costos i / o ingressos per la reutilització, reciclatge i valorització energètica en el fi de vida
Ingressos per la venda del sòl

NOTA. La vida útil estimada d'un edifici o d'un sistema acoblament (part de l'obra) s'ha d'establir d'acord amb les regles específiques de les normes europees de producte i ha de considerar les regles i directrius recollides en les Normes ISO 15686-1, ISO 15686 -7 i ISO 15686-8 i ISO / TS 15686-9.

NOTA. Anotar que per alguns projectes, a part de les etapes anteriorment comentades, cal incloure els ingressos produïts per instal·lacions, per exemple, d'energia renovable ja que no es pot justificar la seva instal·lació sense tenir en compte el seu impacte econòmic positiu i els costos energètics que evita.

NOTA. Els quadres anteriors es troben desglossats dins de la Norma UNE-EN 15643-4:2012, en l'apèndix B.

### 2.5.3. Indicadors

El marc metodològic inclou dos indicadors bàsics del comportament econòmic:

- COST al llarg del cycle de vida. Cal recopilar dades de costos. Les variants de l'edifici no es diferencien en quant a la seva funcionalitat ni respecte a qualsevol flux d'entrada produït per l'edifici. Aquest concepte no inclou les variacions de mercat d'habitatges real; només el cost relatiu a l'edifici al llarg del seu cycle de vida.
- VALOR FINANCER al llarg del seu cycle de vida. Concepte que ens relaciona el major valor de ingressos (aplicant la taxa de descompte) menys el cost al llarg del seu cycle de vida. Aquest concepte és proper a l'enfocament a rendes aplicables a la valoració de propietats i inclou els fluxos d'ingressos relacionats amb el mercat edificat. Per tant, per aquesta avaluació cal recopilar també dades d'ingressos.

La normativa proposa un grup de indicadors potencials per un futur; és una suggerència , per tant, no és definitiva ni completa:

**Taula 26. Proposta de indicadors econòmics potencials. Font: (AENOR, 2012). Elaboració: elaboració pròpia**

<b>D.1.1 Ràtio valor de mercat enfront de cost del capital</b>
Càlcul de la relació entre el valor de mercat i el cost del capital en el moment en què es completa l'obra.
<b>D.1.2 Indicadors per a la comprovació del valor / estabilitat futur del valor econòmic</b>
a) Opció 1 d'avaluació: tècniques de classificació de la propietat (similar als procediments de classificació de crèdit aplicats a la indústria de serveis financers).
b) Opció 2 d'avaluació: anàlisi del escenari financers i / o l'anomenada simulació Monte-Carlo, modelitzant la desviació esperada respecte del valor actual de l'edifici amb la variació de les condicions futures.
<b>D.1.3 Indicadors representatius del risc econòmic</b>
L'avaluació de riscos és essencialment avaluar l'estabilitat del valor, analitzat des d'un altre punt de vista. És per tant una avaluació amb els mateixos mètodes descrits en l'apartat C.2.4.
<b>D.1.4 Costos externs</b>
Alguns països tenen factors de costos que permeten tenir en compte la contribució de costos relacionats amb el CO <sub>2</sub> o costos relacionats amb la salut, resultat de la construcció d'un edifici o de la conseqüència dels seus impactes ambientals.

<b>D.1.5 Aspectes econòmics de resultat.</b> Els següents aspectes poden utilitzar per expressar el valor o el risc d'aspectes rellevants sense mesurar en si el valor o el risc a llarg termini:
- Disseny per modificació o adaptació (retrofitting) (per exemple conductes sobredimensionats);
- Riscos intrínsecs a la localització;
- Nivell d'eficiència energètica (relatiu al risc d'un alt cost de l'energia);
- Provisions per a la futura adaptabilitat a canvis d'ús o d'usuaris (ús flexible de l'espai, per exemple edificis comercials distribuïts en sistemes en xarxa, cases amb habitacions d'ús no específic ("ús neutral"), per exemple habitacions de mides similars);
- Temes d'accessibilitat;
- Eficiència espacial (ràtio àrea neta davant àrea bruta-definits de forma diferent en els diferents països de la UE);

#### **2.5.4. Proposta de metodologia segons la Directiva 2012/27/UE**

Tal i com es pot recollir en l'informe publicat per BPIE (BPIE - Buildings Performance Institute Europe -, 2012) i s'anuncia de forma general en la Directiva 2012/27/UE, en l'annex IX "Anàlisi de costos i beneficis; principis generals de l'anàlisi de costos"; i reflectit en el document que estableix el marc metodològic comparatiu per calcular els nivells òptims de rendibilitat dels requisits mínims d'eficiència energètica dels edificis i dels seus elements (Diari Oficial de la Unió Europea, 2012), s'insta els estats membres a utilitzar i aplicar la metodologia de càlcul harmonitzat proposada per calcular els nivells òptims de rendibilitat necessaris (aplicable a edificis de nova construcció o existents i comparar amb els requisits mínims nacionals d'eficiència energètica, fixats sota els reglaments nacionals.

Aquest reglament que complementa la Directiva 2010/31/UE del parlament europeu i del consell, ens determina que: és competència dels Estats membres decidir si el càlcul final del resultat de l'optimització és el calculat des d'una perspectiva macroeconòmica (atenent els costos i beneficis que representen per a la societat en el seu conjunt les inversions en eficiència energètica) o simplement com una actuació financera (entès únicament com una inversió financera). "Els requisits mínims d'eficiència energètica nacionals no han de ser inferiors en més d'un 15% al resultat dels càlculs de l'optimització de costos que es prengui com a referència nacional"; per tant, el nivell òptim de rendibilitat ha de situar-se dins del rang de nivells de rendiment en el que el balanç cost-benefici calculat durant el cicle de vida útil sigui positiu.

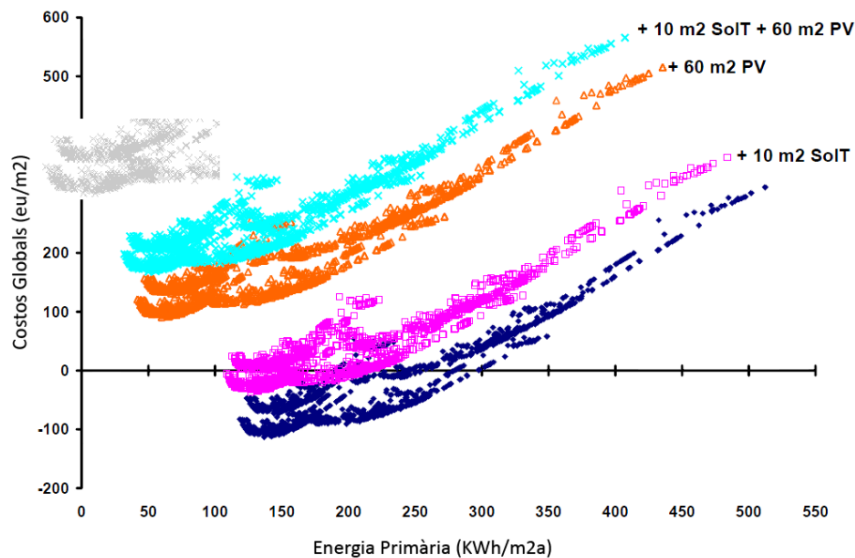


Fig. 15. Diferents paquets de situacions d'estudi. Font: (Hamdy, Hasan, & Siren, 2011). Font: elaboració pròpia.

Pel càlcul d'optimització, l'eficiència energètica es calcula d'acord amb el marc general comú que disposa l'annex I de la Directiva 2010/31/UE; i, per altra banda, l'anàlisi de sensibilitat ha d'atendre, com a mínim, l'evolució dels preus de l'energia i la taxa d'actualització, així com, idealment, l'evolució futura dels preus de la tecnologia per a l'ús d'aquesta dada en la revisió dels càlculs. Per al càlcul a nivell macroeconòmic s'hauran d'excloure els impostos i taxes aplicables.

Elements que cal definir:

- Any inicial del càlcul
- Període de càlcul (annex I del reglament citat)
  - Trenta anys per edificis públics i residencials
  - Vint anys per edificis comercials i no residencials
- Costos d'aplicació (annex I del reglament citat)
- Preus de costos del carboni (annex II del reglament citat)
- Determinar el cicle de vida útil
- Taxa d'actualització
- Costos dels vectors energètics, dels productes, sistemes, manteniment, explotació i mà d'obra
- Determinar els factors de conversió d'energia primària
- Evolució dels preus de l'energia

Els tipus de costos mínims a tenir en compte:

- Costos d'inversió inicials
- Costos de funcionament (inclouen costos de la substitució periòdica, dels elements dels edificis, si es dóna el cas, els guanys procedents de l'energia produïda)
- Costos d'energia (són els costos globals de l'energia, que inclou el preu de l'energia i de les tarifes de capacitat i de xarxa)
- Costos d'eliminació (si procedeix)

A més, pel càlcul a nivell macroeconòmic, els Estats membres establiran els següents costos:

- Costos d'emissions de gasos d'efecte hivernacle (mostraran els costos d'exploració del CO<sub>2</sub>, expressats en tones equivalents de CO<sub>2</sub>).

La norma UNE EN 15459:2008 "Eficiència energètica d'edificis. Procediment d'avaluació econòmica dels sistemes energètics dels edificis", annex A (taula A.1), determina les dades econòmiques dels elements de l'edifici referents al seu cicle de vida útil estimada (cicle de vida i costos de manteniment).

### CÀLCUL DEL COST GLOBAL A NIVELL FINANCER

Segons el reglament, els preus que s'hauran de tenir en compte inclouran el IVA i altres impostos aplicables i despeses. És convenient que les subvencions es tinguin també en compte.

El cost global de l'edifici i dels seus elements es calcularà sumant totes les tipologies de costos anotats anteriorment i s'aplicarà la taxa d'actualització. Al resultat obtingut se li afegirà el valor residual actualitzat de la següent manera:

$$C_g(\tau) = C_I + \sum_j \left[ \sum_{i=1}^{\tau} C_{a,i}(j) \times R_d(i) \right] - V_{f,\tau}(j)$$

- $\tau$  és el període de càlcul
- $C_g(\tau)$  és el cost global (referit a l'any inicial  $\tau_0$ ) al llarg del període de càlcul
- $C_I$  costos d'inversió inicials del conjunt de mesures  $j$
- $C_{a,i}(j)$  cost anual durant l'any  $i$  del conjunt de mesures  $j$
- $V_{f,\tau}(j)$  valor residual de conjunt de mesures  $j$  i del període de càlcul (actualitzat a l'any inicial  $\tau_0$ )
- $R_d(i)$  factor d'actualització aplicable a l'any  $i$ , basat en la taxa d'actualització  $r$ , calculada com segueix:

$$R_d(p) = \left( \frac{1}{1 + r/100} \right)^p$$

On  $p$  és el número d'anys des de l'inici i  $r$  és la taxa d'actualització real.

### CÀLCUL DEL COST GLOBAL A NIVELL MACROECONÒMIC

Segons el reglament, els preus hauran d'excloure tots els impostos aplicables, així com l'IVA, despeses i subvencions.

$$C_g(\tau) = C_I + \sum_j \left[ \sum_{i=1}^{\tau} C_{a,i}(j) \times R_d(i) \right] + C_{c,i}(j) - V_{f,\tau}(j)$$

- $C_{c,i}(j)$  cost de les emissions de CO<sub>2</sub> del conjunt de mesures  $j$  durant l'any  $i$ .

En posterior anàlisi, el nivell de detall disponible permetrà l'agregació de despeses i ingressos addicionals. Anàlisi posterior optatiu que caldrà definir clarament.

Els preus mínims per tona equivalent de CO<sub>2</sub> tindran un valor de 20 € fins els 2025, de 30€ fins el 2030 i de 50€ pels anys següents, segons indica el reglament.

La taxa d'actualització es determinarà amb base a un anàlisi de sensibilitat amb relació de com a mínim de dues taxes diferents, de les quals una del 3% en termes reals.

*NOTA: en l'annex III del citat reglament es troben els models que els Estats membres podran utilitzar per la realització de l'informe (models per edificis d'obra nova o existent d'edificis residencials, públics, comercials o no residencials; on es poden anotar dades relacionades a les seves característiques, dades energètiques, mesura adaptades, etc...).*

## 2.6. IMPACTES SOCIALS en l'edificació

Els impactes socials els trobem descrits i especificats, principalment, a la normativa publicada "UNE-EN 15643-3:2012. Marc per l'avaluació del comportament social" (AENOR. UNE-EN 15643-3, 2012), elaborada pel comitè tècnic AEN/TC 198 Sostenibilitat en la construcció.

Es defineix l'impacte social com: "Qualsevol canvi en la societat o en la qualitat de vida, tant negatiu com positiu, produït de forma completa o parcial pels aspectes socials; entesos com l'aspecte de l'obra o part d'ella, dels processos o serveis relacionats amb el seu cicle de vida que pot produir canvis en la societat o en la qualitat de vida".

NOTA. Definició derivada de les definicions d'impacte i impacte econòmic de la Norma ISO 15392-.

Per altra banda, les certificacions no obligatòries prenen com a base aquesta normativa i l'adapten pels seus objectius per definir els seus propis impactes i indicadors (apartat 10.4 Certificats ambientals i energètics).

En aquest apartat s'analitzarà els diferents indicadors que proposa la normativa els quals seran, previ selecció, la base a tenir en compte en la part dels impactes socials en l'estudi d'optimització que es realitzarà en el desenvolupament de la tesi doctoral.

### 2.6.1. Objectius

Proporcionar els principis específics i els requisits per l'avaluació d'edificis en el que respecta el comportament social, tenint en compte les tècniques i funcionals del cas d'estudi.

Per tant, els objectius de l'avaluació són "determinar els impactes i aspectes de l'edifici i de la seva parcel·la; i permetre el client, a l'usuari i al projectista prendre decisions i seleccionar alternatives que ajudin a respondre els objectius en matèria de contribució a la sostenibilitat dels edificis".

La proposta de la metodologia de càlcul es reflecteix en la normativa PrE-16309, referent a "L'avaluació de l'acompliment social dels edificis. Mètodes" (CEN/TC 350, 2011).

La metodologia presentada per la norma, pot servir per avaluar, a part de l'edifici o elements d'aquest, barris o conjunts construïts més amplis.

Principalment cobreix les etapes d'ús/manteniment, del B1-B7, la resta de consideracions són optatives.

### 2.6.2. Anàlisi dels impactes socials durant el cicle de vida en l'edificació

L'avaluació del comportament social, passa per l'anàlisi de les diferents etapes proposades per la normativa de sostenibilitat.

Taula 27. Aspectes socials en les etapes del cicle de vida d'una obra de construcció. Font: (AENOR. UNE-EN 15643-3, 2012).

		ETAPA DE CICLE DE VIDA DE L'EDIFICI			ETAPA DE CICLE DE VIDA DE L'EDIFICI			ETAPA DE CICLE DE VIDA DE L'EDIFICI		
		Abans de l'ús / Etapa de producte			Ús / Operacions			Després de l'ús / Etapa del fi de vida		
		Planejament / Projecte llicitat	Producció dels productes i components de l'edifici	Transport (productes a l'obra)	Construcció	De l'estructura de l'edifici durant l'etapa d'ús; incloent manteniment,	Dades d'operació de l'usuari i del sistema de	Deconstrucció	Transport de residus	Eliminació
IMPLICACIÓ EN / IMPLICACIÓ DE	Usuari de l'edifici	- Procediments de planejament integrats - participació de l'usuari - implicació de les parts interessades				- Accessibilitat - Adaptabilitat - Salut i confort - Manteniment - Seguretat de persones i bens	- Salut i confort - Seguretat de persones i bens - Manteniment	- Materials perillosos, accidents, sorolls i pols	- Soroll, tràfic o pols	
	Veïnat	- Participació del veïnat - implicació de les parts interessades		- Tràfic i soroll	- Tràfic i soroll - Normes socials de processos de construcció	- Càrregues al veïnat	- Càrregues al veïnat	- Materials perillosos, accidents, sorolls i pols	- Soroll, tràfic o pols	
	Societat	- Quantitat de processos de planejament urbà (reunions amb les parts interessades) - Origen dels materials - Efectes sobre l'economia i ocupació regional	- Normes socials i condicions de treball durant l'extracció i processat de matèries primeres - I durant la fabricació de productes - Efectes sobre l'economia i ocupació regional	- Tràfic (soroll, altres) al llarg de les rutes de transport	- Normes socials i empreses implicades (Responsabilitat Social Corporativa) Serveis socials en l'obra (banys, cuina) - Implicació de les parts interessades	- Infraestructura (transport públic, altres) - Disponibilitat social i eficiència de costos - Implicació de les parts interessades		- Materials perillosos, accidents, sorolls i pols que afecten als treballadors en l'obra - Disseny per la facilitat de deconstrucció	- Tràfic al llarg de les rutes de transport	- Aspectes de salut de productes i components - Disseny per la reutilització o reciclabilitat

### 2.6.3. Indicadors

La dimensió social de la sostenibilitat es concentra en l'avaluació d'aspectes i impactes d'un edifici expressats amb indicadors quantificables. Les categories de comportament social són les següents:

- Accessibilitat. Apartat definit en el 7.2 de la normativa.
- Adaptabilitat. Apartat definit en el 7.3 de la normativa.
- Salut i confort. Apartat definit en el 7.4 de la normativa.
- Càrregues al veïnat. Apartat definit en el 7.5 de la normativa.
- Manteniment. Apartat definit en el 7.6 de la normativa.
- Seguretat. Apartat definit en el 7.7 de la normativa.
- Font dels materials i serveis (optatiu / per versions futures de la norma)
- Implicació de les parts interessades (optatiu / per versions futures de la norma)

NOTA: la norma desenvolupada no estableix regles sobre com els diferents esquemes d'avaluació poden proporcionar mètodes d'assignació de valor. Tampoc prescriuen nivells, classes o referències comparatives (*benchmarks*) per mesurar el comportament. Per tant, les regles d'avaluació dels aspectes socials no s'inclouen en aquest marc, ara bé, sí que tenen en compte les conseqüències de les decisions o accions que influeixen en el comportament social.

## **ACCESSIBILITAT**

Mesura de la capacitat d'accés a persones amb necessitats específiques o a certs serveis de l'edifici.

L'avaluació haurà d'incloure els següent aspectes:

- Accessibilitat de persones amb necessitats específiques
  - Aproximació a l'edifici (espais reservats per usuaris amb necessitat especial, subministrament de sistemes d'orientació tàctils, visuals i d'àudio...).
  - Entrada i moviment en l'interior de l'edifici (ample mínim de portes, provisió de baranes, pendent i amplada de rampes o passadissos, disposició, dimensions i operativitat dels ascensors...).
- Accessibilitat als serveis de l'edifici (previsió de sistemes de comunicació, subministrament i l'operativitat dels interruptors i sistemes de control, disposició i operativitat de les instal·lacions sanitàries...).

L'avaluació pot fer-se d'acord amb la norma ISO / DIS 21542 o les normes elaborades al CEN BT WG 207.

## **ADAPTABILITAT**

Mesura la capacitat de l'edifici per adaptar-se als requeriments dels residents i als canvis d'aquests requeriments en el temps.

L'avaluació haurà d'incloure els següent aspectes:

- Capacitat d'acomodar-se als requisits de l'usuari individual
- Capacitat d'acomodar-se al canvi en els requisits de l'usuari
- Capacitat d'acomodar-se als canvis tècnics
- Capacitat d'acomodar-se als canvis d'ús

Com exemple, es poden citar les següents mesures per aplicar: Minimització dels elements interns de càrrega (columnes, parets internes), Facilitat de demolició / desconstrucció d'elements constructius interiors, redundància en la capacitat de suport de càrrega, Accessibilitat / desconstrucció de canonades i cables, provisió d'espai per a canonades i cables addicionals necessaris per a un canvi d'ús, Les provisions per a futurs equips possible (per exemple, ascensors)...

## **SALUT I CONFORT**

L'avaluació haurà de considerar els següents aspectes:

- Característiques acústiques (impacte i els nivells ambientals en l'edifici i interior d'habitatges d'acord amb la norma EN 12354, impacte fora de l'edifici, reverberació).
- Característiques de la qualitat de l'aire interior (concentració de gasos i substàncies, concentració de CO<sub>2</sub> d'acord amb la norma EN 15251, taxa de ventilació, risc de formació de floridura d'acord amb la norma EN-ISO 13788...).



- Característiques del confort visual
  - Il·luminació artificial: il·luminació (lx), valor d'enlluernament (UGR) i índex de reproducció cromàtica (RA) d'acord amb la norma EN 12464-1 (capítol 6). En la norma EN 15251 hi ha valors recomanats per il·luminació.
  - Contribució de llum de dia: factor de llum natural (%), connexió visual amb l'entorn exterior.
- Característiques dels espais: número i superfícies de totes les habitacions, alçada dels sostres, nombre i superfície dels banys, nombre i volum dels compartiments d'emmagatzematge, àrea a l'aire lliure (terrasses, jardí), sales comunes (tipus i àrea), nombre i dimensions de zones de pas i circulació.
- Característiques tèrmiques: s'avalua a través dels índex PMV-PDD<sup>6</sup> que figura en la norma UNE-EN ISO 7730.
- Característiques de qualitat de l'aigua (per revisions futures)
- Característiques electromagnètiques (per revisions futures)

### **CÀRREGUES AL VEÏNAT**

L'avaluació haurà de considerar els següents aspectes:

- Soroll: so emès en l'etapa de construcció (dB), aïllament acústic i barreres de so externs per l'etapa de disseny.
- Emissions a l'aire exterior, sòl i aigua.
  - Emissions de contaminants procedents dels tubs d'escapament o xemeneies: SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, partícules de suspensió PM10, CO, O<sub>3</sub>
  - Alliberament de substàncies perilloses regulades a sòl i l'aigua (d'acord amb els mètodes de prova que s'estan desenvolupant al CEN / TC 351).
- Brillantor i ombres produïdes per l'entorn: brillantor nocturn i diürn, determinació d'hores d'ombra produïdes pel barri
- Impactes i vibracions (d'acord amb la norma ISO 2631).
- Efectes del vent

### **MANTENIMENT**

L'avaluació haurà de considerar els següents aspectes:

- Operacions de manteniment incloent els aspectes de la salut i confort per a l'usuari de l'edifici i les càrregues al veïnat.
  - Provisió d'un pla d'explotació, de manteniment i neteja programat en el llibre de registre de l'edifici.
  - Higiene i servei per als usuaris per les accions durant el manteniment.
  - Freqüència i el temps que es necessita per al manteniment regular programat.

---

<sup>6</sup> El índex PMV és el vot medi estimat (PMV-predicted mean vote) i reflecteix el valor medi dels vots emesos per un grup nombrós de persones respecte a una situació donada en una escala de sensació tèrmica de 7 nivells y el percentatge de persones insatisfetes (PPD-predicted percentage dissatisfied) és el percentatge d'aquestes persones que considerarien la sensació tèrmica provocada per l'entorn com a desagradable. (Mas, 2015)

- Facilitat d'ús de l'edifici, mentre que les tasques de manteniment es realitzen.

Caldrà atendre factors inclosos en la norma ISO 15686-1. -2, -7 i -8, com ara:

- Resistència als contaminants, a la corrosió
- Efectes meteorològics
- Neteja necessària
- Facilitat d'accés
- Accessibilitat sense necessitat de desmuntar / eliminació d'altres components de l'edifici.

Entenem el manteniment com la "Combinació de totes les accions tècniques i administratives associades durant la vida útil per conservar un edifici o part de l'obra en un estat en què pugui dur a terme les funcions requerides (inclou la neteja, conservació rutinària, pintat, reparació, reposició d'elements de l'obra de construcció, etc...). (AENOR. UNE-EN 15643-3, 2012).

### **SEGURETAT**

L'avaluació de la seguretat i dels bens haurà de considerar els següents aspectes:

- Resistència al canvi climàtic: Pluja, vent, neu, inundacions, radiació solar, temperatura. Aquests poden sorgir a partir d'una major intensitat degut al canvi climàtic.
  - Pluja: augment de la resistència a la pluja torrencial, sensors de pluja per tancar les finestres, dimensions cada vegada més grans dels ràfecs, canalons, tipus de sostre, sòl millorat la capacitat de drenatge...
  - Vent: augment de la resistència estructural, mesures per millorar l'estanquitat de l'envoltant de l'edifici contra el vent, mesures per prevenir el despreniment dels revestiments o elements de la façana, mesures per millorar la suavitat, la forma de l'edifici...
  - Neu: augment de la resistència estructural, mesures per evitar la neu que cau dels sostres, dimensions cada vegada més grans dels ràfecs, canalons, tipus de sostre, mesures per reforçar l'envoltant de l'edifici en contra de conduir neu, mesures perquè els usuaris tinguin sostres lliures de neu...
  - Resistència a les inundacions: barreres contra les inundacions, l'adequació de la superfície i drenatge d'aigües pluvials, estanquitat de l'envoltant de l'edifici i soterranis, provisió d'àrees d'inundació de sacrifici, facilitat de restabliment després de les inundacions...
  - Radiació solar: ombrejat, filtres UV, orientació de l'edifici, zonificació, aire condicionat, sistemes de ventilació, reduïda grandària de la finestra en els aspectes que enfronta el sud en climes càlids, massa tèrmica...
- Resistència a accions accidentals: Terratrèmols, explosions, foc, impactes de trànsit.
  - Resistència als terratrèmols: augment de l'estabilitat estructural, instal·lació d'amortidors o altres mesures similars que assegurin flexibilitat i resistència als cops, instal·lació de vidre resistent als cops, instal·lació d'emergència vàlvules de tall de gas i aigua...

- Resistència a l'explosió: augment de l'estabilitat estructural, evitació de gasos explosius en els edificis, instal·lació de vidre resistent als cops, disposició interna dels refugis...
- Resistència al foc: classificació més estricta de reacció al foc segons EN 13501-1, utilització de materials / disseny que donarà com a resultat nivells reduïts de gasos tòxics, classes superiors de resistència al foc d'elements constructius que els exigits per la normativa vigent, instal·lació o millora dels sistemes de control de fum, de detecció d'incendis, de sistemes d'extinció optimització de la mida de fum i foc compartiments, disseny millorat dels mitjans d'evacuació, millorar l'accés i facilitats per als bombers...
- Seguretat de les persones i dels bens davant el vandalisme i els intrusos: sistemes de tancament d'alta seguretat, il·luminació correcte de les vies de circulació, barreres contra la intrusió deliberada de trànsit, resistència a l'impacte de l'envoltant de l'edifici per protegir contra el vandalisme, resistència al foc de l'envoltant de l'edifici per protegir contra el vandalisme / incendi, assegurar l'emmagatzematge de residus per minimitzar els riscos de vandalisme / incendi, superfícies pintades resistents...
- Seguretat dels bens davant interrupcions de subministraments: presència d'equips de suport per a la calefacció i l'electricitat, lliure i segura circulació a l'interior de l'edifici i l'evacuació de l'edifici en cas d'interrupció de l'electricitat, Mesures per utilitzar els serveis de manera manual en cas d'interrupció de l'electricitat.

#### **FONT DELS MATERIALS I SERVEIS** (optatiu)

Cal considerar:

- Responsabilitat i traçabilitat dels productes i serveis

#### **IMPLICACIÓ DE LES PARTS INTERESSADES** (optatiu)

Cal considerar:

- Possibilitat de les parts interessades de involucrar-se en la presa de decisions

#### **2.6.4. Proposta de metodologia segons la normativa**

Les dades utilitzades per l'avaluació del comportament social i per verificar la seva qualitat, han de complir els requisits de la norma UNE-EN 16309.

Per garantir la transparència i la coherència del flux d'informació:

- Els indicadors han de ser quantitatius o, en cas contrari, quantificables (per exemple basats en un llistat descriptiu sense judicis de valor).
- Els indicadors d'aspectes i impactes socials utilitzats a nivell de producte han de ser aplicables a nivell d'edifici.
- Els indicadors del comportament social per productes individuals només han d'aplicar-se a una avaluació del comportament social.

El procediment general per determinar els aspectes rellevants d'acompliment social el trobem detallat en la següent figura:

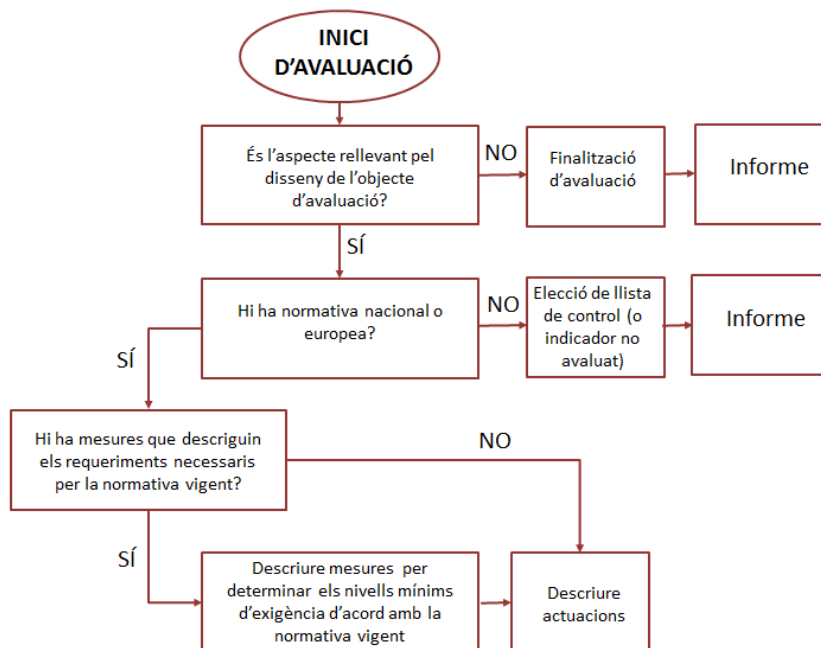


Fig. 16. Concepte d'avaluació de l'acompliment social dels edificis. Font: (AENOR. UNE-EN 15643-3, 2012).

En la Norma, s'indiquen les dades d'usuari i control específiques per a cada indicador, en format llistat de qüestions que cal obtenir resposta. És una proposta de conjunt de preguntes amb resposta afirmativa o negativa (per tal que no doni motiu a la subjectivitat).

Els **resultats** de l'avaluació han d'organitzar-se en els dos grups principals següents:

- Impactes i aspectes específics de l'estructura de l'edifici i de la seva parcel·la.
  - Resultats de l'etapa de planificació i de l'etapa de producte, abans de l'etapa de construcció.
  - Resultats de l'etapa de construcció fins a la recepció de l'edifici.
  - Resultats de l'etapa d'ús (després de la recepció de l'edifici) excloent els resultats de l'edifici en servei.
  - Resultats de l'etapa de fi de vida de l'edifici.
- Impactes i aspectes específics de l'edifici en servei. Aquest període comença quan l'edifici és entregat als usuaris i continua fins la seva etapa de fi de vida.

NOTA: es poden incloure com informació addicional els impactes o aspectes que van més enllà del cicle de vida de l'edifici.

## 2.7. PROGRAMES INFORMÀTICS DE SIMULACIÓ

### 2.7.1. Mètodes de càlcul

En termes generals, per realitzar un càlcul de simulació energètica mitjançant simulació, cal reduir el sistema real de càlcul a un model abstracte que permeti, de forma senzilla la manipulació dels seus components i propietats, i obtenir resultats fiables; sense necessitat de ser construït i, així, evitar un temps i cost econòmic innecessari per comprovar que el model plantejat és l'idoni.

Per tant, els mètodes de càlcul, per una banda han de ser capaços de caracteritzar els requeriments energètics, les necessitats de confort, gestió, màquines i per una altra, caldrà definir el components que integren l'edifici, com són els tancaments exteriors i finestres. A més, han de tenir en compte l'entorn i la zona climàtica i els obstacles circumdants al mateix model. Així, les relacions existents entre les diferents parts així com amb l'entorn venen regides per les lleis de transferència de calor (conducció, convecció, radiació i transferències de massa (ASHRAE, 2009) (M.J.Morán & H.N. Shapiro, 2006).

CONDUCCIÓ: Transferència de calor d'un cos a un altre mitjançant el contacte directe, sense flux net de massa. Present a sòlids i líquids. Per un cos isotròpic on existeix un camp de temperatures  $T(x,t)$ , el calor transferit per unitat d'àrea és:

$$q_x = -k \cdot \left( \frac{\partial T}{\partial x} \right)$$

On  $k$  [W/mK] correspon a la conductivitat tèrmica del material. Així, el calor transmès per una paret plana amb un gruix  $e$  i una àrea  $A$  és:

$$Q = kA \left[ \frac{T_1 - T_2}{e} \right]$$

On  $T_1 - T_2$  és la diferència de temperatures de les superfícies interna i externa de la paret.

CONVECCIÓ: Transferència mitjançant un fluid que porta la calor d'una zona a una altra de menor temperatura.

$$Q = h \cdot A \cdot (T_1 - T_2)$$

On  $h$  [W/m<sup>2</sup>K] s'anomena quocient convectiu del fluid participant.

**COEFICIENT GLOBAL DE TRANSFERÈNCIA:** terme que permet calcular de forma més directa la transferència de calor que es transfereix linealment a través d'un element atenent l'aire que l'envolta.

$$R_{eq} = \sum R_i = \frac{1}{h_1 A} + \frac{L}{kA} + \frac{1}{h_2 A}$$

$R_{eq}$ =Resistència equivalent del sistema

$h_1$ = coeficient convectiu exterior

$A$ = àrea del element

$L$ = gruix de l'element

$k$ = coeficient conductiu de l'element

$h_2$ = coeficient convectiu interior

On la transferència global és:

$$U = \frac{1}{R_{eq} A}$$

Per tant, la transferència de calor global queda expressat com:

$$Q = U \cdot A \cdot (T_1 - T_2)$$

**RADIACIÓ D'ONA CURTA:** energia aportada pel sol sobre l'edifici. Depèn de la radiació directa incident ( $I$  [ $W/m^2K$ ]), l'angle de incidència de la radiació solar ( $\theta$ ) i de la radiació difusa que impacta a l'edifici ( $D$  [ $K/m^2K$ ]). És d'alta freqüència i de major densitat:

$$R_{total} = I \cdot \cos \theta \cos A_z + D$$

On  $A_z$  és la direcció cardinal en la qual apunta la normal a la superfície receptora;  $A_z=0$  ; correspon al Nord.

**RADIACIÓ D'ONA LLARGA:** prové de l'escalfament de l'edifici, el qual emet radiació cap la volta celeste. La transferència de calor a causa de la diferència de temperatures entre l'edifici i el seu entorn es determina utilitzant la llei Stefan-Boltzman.

$$Q_{1-2} = A_1 \cdot f_{1-2} \cdot \epsilon \cdot \sigma (T_1^4 - T_2^4)$$

$A_1$ = àrea de la superfície radiant

$f_{1-2}$ = factor de forma entre dos cossos.

$\epsilon$  = emissivitat de la superfície radiant

$\sigma$  = constant de Stefan-Boltzman

Resumint, es poden anotar tres tipus de mètodes per realitzar les simulacions energètiques (Sivila, 2011):

- **Mètode estàtic (mètode Graus Dies):** mètodes aproximats que no permeten realitzar una anàlisi detallada de la demanda de l'edifici a partir de valors globals. Moltes vegades es basen amb gran quantitat de base de dades.

$$GD = \int (T_b - T_0) dt$$

$GD$  = és la suma de totes les diferències entre les temperatures

$T_b$  = temperatura base que es vol mantenir una zona climatitzada

$T_0$  = temperatura exterior en funció del temps

- **Mètode de les sèries temporals radiants:** A partir dels càlculs de guanys d'energia, condicions climàtiques, perfils de càrrega... i utilitzats en la formulació com a termes independents, estableix uns valors estimats de demanda global de l'edifici, separant els diferents usos energètics: calefacció, refrigeració i il·luminació. Procediment simplificat que incrementa un 5-10% les càrregues que augmenta si la superfície vidriada és major (existeix un factor corrector) (Nigusse, 2007). L'expressió general de càlcul de càrregues és:

$$C_{càrrega}(n) = [C + (1 - C) \cdot RTS(0)] \cdot G(n) + \sum_{j=1}^{23} (1 - C) \cdot G(n - j) \cdot RTS(j)$$

$C_{càrrega}(n)$  = càrrega (W) en el instant "n"

$G(n)$  = guanys (W) en el instant "n"

$C$  = percentatge d'energia (tant per ú) que és convector respecte el total intercanviat per la contribució.

$RTS$  = percentatge decalat en el temps de com es transforma l'energia intercanviada per radiació en convecció a l'aire.

- **Mètode Dinàmic (mètode de balanç d'energia):** són els més exactes però els més complexos (control de càrregues tèrmiques i dels equips mitjançant simulació horària -règim transitori-). Dins d'aquest grup podem trobar els unizona i els multizona (grup on pertanyen els softwares explicats en aquest document, per exemple EnergyPlus). Els espais multizona intercanvien calor entre l'entorn i també entre les zones interiors del propi model (els unizona només amb l'entorn). Es basa en la primera llei de la termodinàmica (Llei de conservació d'energia) i àlgebra matricial (IDAE, 2008). L'expressió general per calcular els guanys de les càrregues és:

$$Q_{tat,càrregues\ int.} + Q_{tat,infiltració,ventilació} + Q_{tat,equips} + Q_{tat,sys} \\ = \frac{\Delta m_{aire\ intern} \cdot C_f}{\Delta t}$$

$Q_{tat,càrregues\ int.}$  = aportació de calor per càrregues internes

$Q_{tat,infiltració,ventilació}$  = aportació de calor per infiltració i ventilació

$Q_{tat,equips}$  = aportació de calor per part dels equips

$Q_{tat,sys}$  = aportació de calor per part dels sistemes

$\Delta m_{aire\ intern}$  = Increment mig aire intern

$C_f$  = calor específic

$\Delta t$  = increment de temps



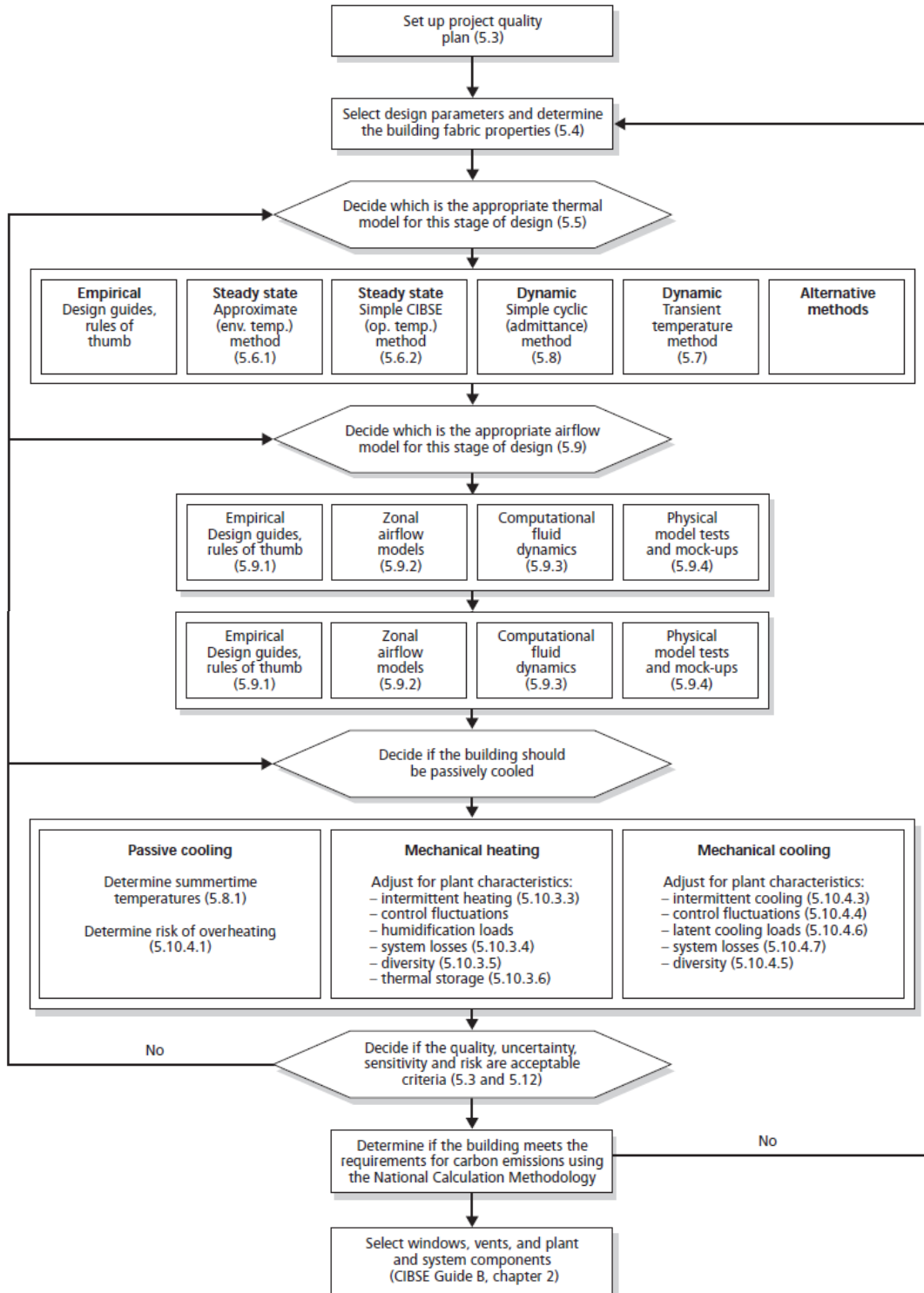


Fig. 17. Diagrama de les metodologies pel modelatge tèrmic i dimensionat de fluxos. Font: (CIBSE Guide A, 2006, pág. 174).

### 2.7.2. Motors de càlcul

Es poden identificar diferents programes amb els seus corresponents mètodes de càlcul que es basen, en general, en les directrius del "American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE, 2012) o de "Chartered Institution of Building Services Engineers" (CIBSE, 2012). Hi ha tants softwares, de pagament o gratuïts per l'usuari, que permetin realitzar el càlcul energètic que moltes vegades es fa difícil saber quin cal utilitzar (U.S. Department of Energy, 2013), per quina utilitat és millor i si el mètode de càlcul utilitzat per cadascun és el que requerim per l'objectiu que estem cercant o necessitem un de més exhaustiu o rigorós.

En aquest apartat cal destacar l'estudi que es va realitzar el 2005, anomenat *Contrasting the Capabilities of Building Energy Performance Simulation Programs* (Crawley, Kummert, Hand, & Griffith, 2005), el qual analitzava un conjunt de softwares de simulació destacats, anotant les seves capacitats i característiques més destacades.

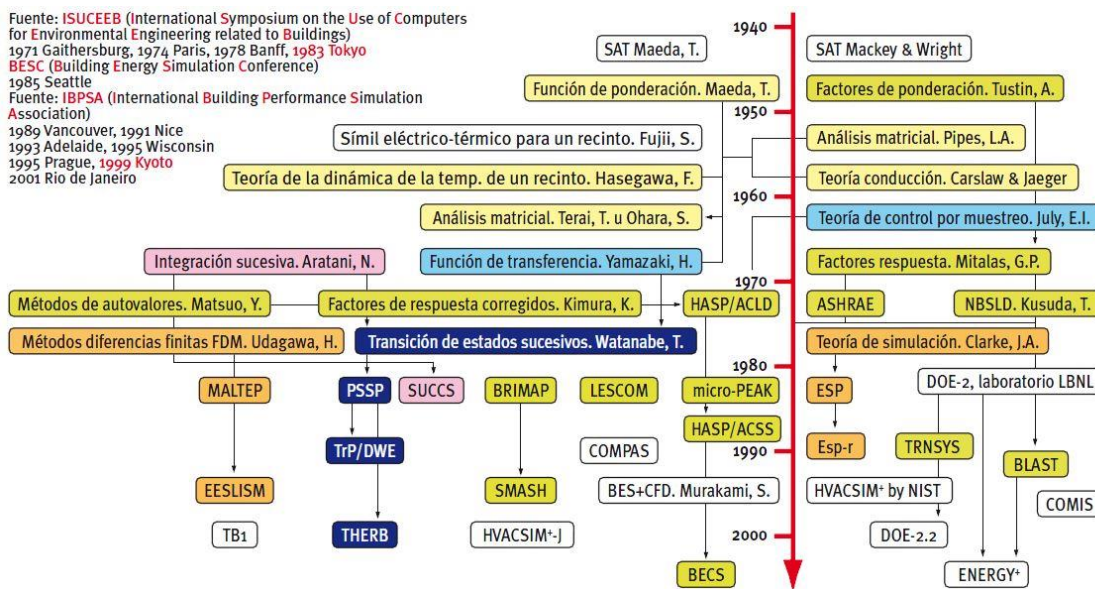


Fig. 18. Exemples de mètodes, autors i programes. Font: (IDAE, 2008).

Taula 28. Taules comparatives entre diferents softwares de simulació. Font: (Crawley, Kummert, Hand, & Griffith, 2005).

Table 1 General Modeling Features	BLAST	BSim	DeST	DOE-2.1E	ECOTECH	Ener-Win	Energy Express	Energy-10	EnergyPlus	eQUEST	ESP-r	HAP	HEED	IDA ICE	IES <VE>	PowerDomus	SUNREL	Tas	TRACE	TRNSYS
Multi-sided polygons		X <sup>22</sup>	X	X	X	P			X	X	X <sup>21</sup>		X	X	X				X	
Import building geometry from CAD programs		X <sup>22</sup>	P		X		X <sup>23</sup>		X	X	X	P <sup>33</sup>		X <sup>24</sup>	X	X <sup>25</sup>			X	X <sup>26</sup>
Export building geometry to CAD programs					X				X <sup>23</sup>	X <sup>23</sup>	X <sup>23</sup>				X				X	X <sup>26</sup>
Import/export model to other simulation programs					X				X <sup>23</sup>	X <sup>26</sup>										
Number of surfaces, zones, systems, and equipment unlimited		X <sup>21</sup>	X		X				X	X <sup>22</sup>	X <sup>23</sup>	X <sup>24</sup>	X <sup>25</sup>	X	X	X			X	X <sup>26</sup>
Simple building models for HVAC system simulation														X					X	X <sup>26</sup>
Import calculated or measured loads			E		3				X	X	X			X					X	X <sup>26</sup>
Simple models (single lumped capacitance per zone)						X					X								X	X <sup>26</sup>

**Table 3**  
*Building Envelope, Daylighting and Solar*

	BLAST	BSim	DsT	DOE-2.1E	ECOTECH	Ener-Win	Energy Express	Energy-10	EnergyPlus	eQUEST	ESP-r	HAP	HEED	IDA ICE	IES <VE>	PowerDomus	SUNREL	Tas	TRACE	TRNSYS
Airflow windows					X				X		X <sup>103</sup>			O	X	X	X	X		X
Surface conduction																				
▪ 1-dimension	X	X	X <sub>P</sub>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
▪ 2- and 3-dimension																				
Ground heat transfer																				
▪ ASHRAE simple method <sup>104</sup>																				
▪ 1-dimension	P	X	X	P	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
▪ 2- and 3-dimension slabs																				
▪ 2- and 3-dimension basements			P						X <sup>106</sup>	X	X	X	X	O	O <sup>107</sup>	O <sup>107</sup>	R	R	R	O <sup>105</sup>
Variable thermophysical properties					X				X		I			X		R	X			
Phase change materials			O								I			O		R	X			E
Building integrated photovoltaic system accounts for heat removed from surfaces layers which have defined electrical characteristics		X							X	X	X					P				E

**Table 4**  
*Infiltration, Ventilation, Room Air and Multizone Airflow*

	BLAST	BSim	DsT	DOE-2.1E	ECOTECH	Ener-Win	Energy Express	Energy-10	EnergyPlus	eQUEST	ESP-r	HAP	HEED	IDA ICE	IES <VE>	PowerDomus	SUNREL	Tas	TRACE	TRNSYS
Single zone infiltration	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X	X	X
Automatic calculation of wind pressure coefficients		X	P							P <sup>108</sup>					X		X	X		
Natural ventilation <sup>109</sup>		X	P						X	P <sup>110</sup>	X			X	X	X	X	X		O <sup>111</sup>
Hybrid natural and mechanical ventilation		X	P			X			X		I			X	X	X	X	X		O <sup>111</sup>
Window opening for natural ventilation controllable <sup>112</sup>			X <sup>113</sup>			X			X		X			X	X <sup>114</sup>	P	X	X		O <sup>111</sup>
Multizone airflow (via pressure network model)		X	P						X		X			X	X		X	X		O <sup>111</sup>
Displacement ventilation									X <sup>115</sup>		X <sup>116</sup>			X	X		X	X		O <sup>117</sup>
Mix of flow networks and CFD domains			X								E									
Contaminants, mycotoxins (mold growth)		P									R <sup>118</sup>					P				

**Table 9**  
*Environmental Emissions*

	BLAST	BSim	DsT	DOE-2.1E	ECOTECH	Ener-Win	Energy Express	Energy-10	EnergyPlus	eQUEST	ESP-r	HAP	HEED	IDA ICE	IES <VE>	PowerDomus	SUNREL	Tas	TRACE	TRNSYS
Power plant energy emissions	X		P	X		X		X	X	X	X	X	X	X	X				X	X
On-site energy emissions	X	X	P	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				X	X
Major greenhouse gases (CO <sub>2</sub> , CO, CH <sub>4</sub> , NO <sub>x</sub> )	X	P	P	X	X	X	X	X	X	X	X	X <sup>304</sup>	X	X	X				X	X
Carbon equivalent of greenhouse gases	X			X		X		X	X	X	X	X	X	X	X				X	X
Criteria pollutants (CO, NO <sub>x</sub> , SO <sub>x</sub> , PM, Pb)									X		X <sup>305</sup>			X	X				X	I
Ozone precursors (CH <sub>4</sub> , NMVOC, NH <sub>3</sub> )									X		X			X	X				X	
Hazardous pollutants (Pb, Hg)									X		X			X	X				X	
Water use in power generation									X		X			X	X				X	X
High- and low-level nuclear waste									X		X			X	X				X	X
Pollutant emissions factors <sup>306</sup>									X		X			X	X				X	X

**Table 11**  
*Economic Evaluation*

	BLAST	BSim	DsT	DOE-2.1E	ECOTECH	Ener-Win	Energy Express	Energy-10	EnergyPlus	eQUEST	ESP-r	HAP	HEED	IDA ICE	IES <VE>	PowerDomus	SUNREL	Tas	TRACE	TRNSYS
Energy Costs																				
▪ Simple energy and demand charges		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				X	X
▪ Complex energy tariffs <sup>217</sup>		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				X	X
▪ Scheduled variation in all rate components			X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				X	X
▪ User selectable billing dates				X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				X	X
Life-cycle costs																				
▪ Component and equipment cost estimating			X	X	X	X	X	X	X	X	P <sup>219</sup>	X	X	X	X				X	X
▪ Standard life-cycle costing <sup>219</sup>						X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				X	X

**Table 12**  
*Results Reporting*

	BLAST	BSim	DsT	DOE-2.1E	ECOTECH	Ener-Win	Energy Express	Energy-10	EnergyPlus	eQUEST	ESP-r	HAP	HEED	IDA IES	IES <VE>	PowerDomus	SUNREL	Tas	TRACE	TRNSYS
Standard reports	X		X	X	X	X	X	X	X	X	X <sup>211</sup>	X	X	X	X				X	X
User-defined reports	X <sup>212</sup>	X	X		X			X	X	X	X	X	X	X	X				X	X
User-selectable report format																				
▪ Comma-separated value						X		X	X	X	X	X	X	X	X				X	X
▪ Text		X	X		X			X	X	X	X	X	X	X	X				X	X
▪ Word																			X	X
▪ Tab-separated value		P	X		X		X	X	X	X	X	X	X	X	X				X	X
▪ HTML		X			X		X	X	X	X	X	X	X	X	X				X	X
▪ Graph																			X	X
▪ Statistics																			X	X
Load, system, and plant variables reportable at time step with daily, monthly, and annual aggregation	X <sup>213</sup>	X	X			X		X	X	X	X	X	X	X	X				X	X
Standardized binned variable report																				
▪ Time-binned variable				P				X	X	X	X	X	X	X	X				X	X
▪ Variable versus variable								X	X	X	X	X	X	X	X				X	O <sup>118</sup>
Meters																				
▪ Energy end-uses <sup>213</sup>	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				X	X
▪ Peak demand	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				X	X
▪ Peak demand period user-selectable <sup>214</sup>																			X	X
▪ Consumption by energy source	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				X	X
▪ Components user-assignable to any meter		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				X	X
▪ Multiple levels of sub-metering		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				X	X
Auto-sizing report			X	X				X	X	X	X	X	X	X	X				X	X
Automatic generation of energy balance checks <sup>217</sup>								X	X		X			X	X <sup>218</sup>				X	X

Així, podem destacar el motor de càlcul DOE-2.1E el qual ha donat l'aparició de varis softwares comercials com ara el PowerDoe, DOE-2 o eQUEST (Hirsch, 2013) de lliure distribució, el BLAST (NREL, 2012), ESP-r (Strathclyde, 2012), TRNSYS (Universidad de Wisconsin, TRNSYS 13.1, 2012), ECOTECT Analysis (Autodesk Analysis, 2013) y IES<VE> (Limited, 2012); aquests tres darrers de pagament.

Mencionar el popular software internacional EnergyPlus (U.S. Department of Energy, 2013), també de lliure distribució per l'usuari, basat amb DOE2 i BLAST, dotant-lo d'una potencialitat notables; el qual ha passat les probes pertinents de Capacitació de Simulació Energètica BESTEST (EE.UU., 2012). Pròpiament, aquest software, s'ha convertit en la base d'altres simuladors que interactuen amb aquest motor de càlcul, de tal manera que són un visor molt més amigable, com ara el EPlus ( U.S. Department of Energy, 2013) o Simergy (Simulation Research Group, 2013), de lliure distribució, o d'altres en l'àmbit comercial com el DesignBuilder (DesignBuilder Software Ltd, 2013), el mòdul Cype Instalaciones que permet exportar el modelatge directament a EnergyPlus (CYPE Ingenieros S.A., 2013) o el framework ODS Studio, que treballa a la vegada amb Blender-EnergyPlus-Radiance-OpenFoam (ODS Engineering. , 2013).

**En aquest document es dedica un apartat exclusiu per explicar el funcionament específic d'aquest software – EnergyPlus - i el per què de la proposta de la seva selecció com a motor de càlcul principal per les simulacions.**

### 2.7.3. EnergyPlus

El software EnergyPlus (U.S. Department of Energy, 2013), basat amb llenguatge de programació Fortran 90 (Drury B. Crawleya, y otros, 2001), està mantingut i desenvolupat quasi en la seva totalitat pel Departament d'Energia del EEUU (U.S. Department of Energy, 2013), i, concretament, per la secció d'Eficiència energètica i Energies renovables (U.S. Department of Energy, 2013).

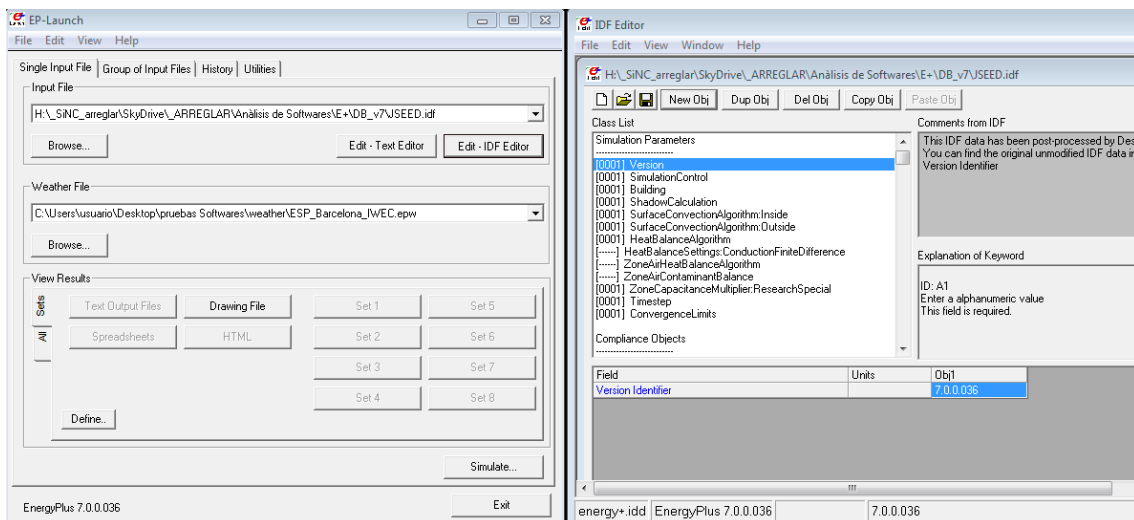


Fig. 19. Visió general del software EnergyPlus v.7.0. Font: Cas d'estudi propi.

Software amb constant evolució i reconegut internacionalment, en pocs anys ha passat de la versió 1.0 fins la 8.5 actual (a setembre 2016), està basat i desenvolupat per mòduls, el qual permet introduir noves funcionalitats i garantir la integritat de cada part i que no generin conflictes entre elles.

Està basat en els programaris BLATS i DOE2:

- BLAST (Building Systems Laboratory, 1999): Building Loads Analysis and System Thermodynamics desenvolupat pel U.S. Army Construction Engineering Research (USA CERL) i la Universitat de Illinois. Conjunt de mòduls amb l'objectiu de predir el consum energètic, l'actuació dels sistemes energètics i els costos associats als edificis. Algun dels mòduls més importants són: Predicció de càlcul de càrregues de l'espai, simulador de sistemes d'aire i Planta central. En el primer mòdul calcula les càrregues per hora en una zona de l'edifici utilitzant les dades d'entrada definides per l'usuari (construcció i gestió) i les dades meteorològiques. En el segon mòdul utilitza els resultats anteriors per calcular l'aigua calenta, vapor, gas, aigua freda i les demandes elèctriques de l'edifici. I, en el tercer mòdul simula el funcionament de les calderes, equips de generació i sistemes d'energia solar (calculant el consum de combustible i d'energia elèctrica mensualment i anualment).
- DOE-2.1E (Winkelmann, y otros, 1993): patrocinat pel departament d'Energia del EEUU i desenvolupat pel "Laboratori de Lawrence Berkeley" (LBLN) amb l'objectiu de predir el consum energètic i cost econòmic dels edificis. Està format per mòduls: un d'entrada de dades (processador BDL) i quatre mòduls més de simulació (LOAD, SYSTEMS, PLANT i ECON). El primer calcula els components sensibles i latents de les càrregues horàries per a cada espai de l'edifici a temperatura constant; que passen el segon mòdul SYSTEMS que analitza el comportament dels sistemes secundaris; i, aquests resultats arriben al tercer mòdul, PLANT, on es calculen el comportament de les calderes o torres de refrigeració. Amb el darrer mòdul podem obtenir els costos de l'energia.

Per tant, EnergyPlus, engloba els dos programaris anteriors esmentats, de tal manera que aconsegueix millorar l'abast de la seva potencialitat alhora que permet, amb l'estructura modular, l'addició de característiques i enllaços a altres programes. Alguns d'aquests nous processos possibles gràcies a la integració dels dos motors de càlcul són Controls del sistema realistes, Humitat d'adsorció i desorció en elements de construcció, Calefacció radiant i refrigeració, càlcul del flux d'aire entre les zones, el temps de simulació pot arribar fins a 1 minut.

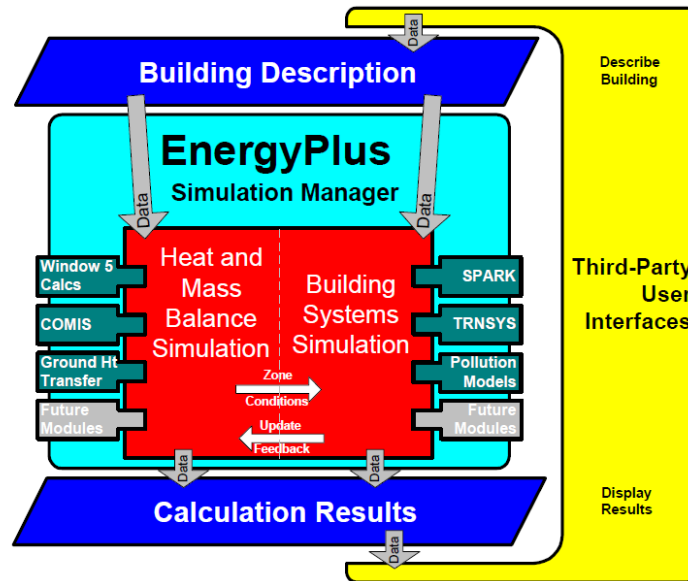


Fig. 20. Imatge dels diferents mòduls en que es basa EnergyPlus. Font: (Drury B. Crawleya, y otros, 2001).

EnergyPlus es basa en dos mòduls principals (University of Illinois and Lawrence Berkeley National Laboratory, 2012):

- mòdul de simulació dels sistemes dels edificis: comunica els balanços d'energia amb els diferents mòduls de sistema de calefacció, refrigeració i aigua calenta.
- mòdul de simulació de balanç màssic i de transferència de calor: gestiona els mòduls de balanços de calor i actua com a visor entre el primer i segon mòdul. Per la realització d'aquest mòdul es va desenvolupar el IBLAST – versió de recerca del BLAST que integra els sistemes HVAC i la simulació de les càrregues de l'edifici.

EnergyPlus, integra en el seu procés de càlcul, un sistema de pas de temps variable - adaptatiu- a la rapidesa que reacciona una zona, que consisteix en veure la rapidesa que la *temperatura local* canvia al pas general de l'*increment de temperatura*; d'aquesta manera aconseguim un procés de càlcul molt més exacte que altres programes (Wetter & Polak, 2003).

I pel càlcul del consum general tenim:

$$\text{Consum} = \int_{\text{anual}} \frac{\text{Demanda}_{\text{calefacció}}}{\eta_{\text{sistema calefacció}}} + \int_{\text{anual}} \frac{\text{Demanda}_{\text{refrigeració}}}{\eta_{\text{sistema calefacció}}} + \int_{\text{anual}} \frac{\text{Demanda}_{\text{ACS}}}{\eta_{\text{sistema calefacció}}} + \int_{\text{anual}} \frac{\text{Demanda}_{\text{il.luminació}}}{\eta_{\text{sistema calefacció}}}$$

Entenent la resposta del sistema de climatització amb resposta per calefacció, el COP (Coefficient of Performance) com:

$$\text{COP} = |Q_1/W| = T_1/(T_1-T_0);$$

on  $Q_1$  = watts;  $T_1$ =temp. cosigna;  $T_0$  = temp. ambient

I per la refrigeració tenim el EER (Eficiència de l'Efecte de Refrigeració):

$$EER = |Q_0/W| = |Q_1/W|_{-1} = COP_{-1} = T_0/(T_1-T_0);$$

on  $Q_0$ =watts;  $T_1$ =temp. cosigna;  $T_0$  = temp. ambient

Breument, mencionar que el model que utilitza EnergyPlus per definir les màquines de climatització permet actuar diferents sistemes en una mateixa zona. Defineix tres bucles que, mitjançant un mètode iteratiu, calcula cada part per separat fins que obté convergència en els "punts de contacte" dins de cada bucle (IDAE, 2008, pág. 70).

Respecte la il·luminació natural, EnergyPlus la calcula de la següent manera (Escrivà, 2010) (University of Illinois and Lawrence Berkeley National Laboratory, 2012, págs. 159, 191, 199):

- La radiació directa: només té en compte les ombres generades pels alers i voladissos sobre les obertures (Minimal shadowing), el segon també té en compte les ombres generades per la pròpia geometria de l'edifici i considera la radiació directa sobre el terra de la zona directa (Full exterior) i el tercer i més complert, té en compte, a més, la distribució correcta de la llum en els elements del seu interior (Full exterior interior).
- La radiació difusa: considera la distribució de la radiació en el cel anisotròpica. Per tenir-ho en compte caldrà aplicar el valor "1" a la variable "SkyRadianceDistribution".
- Respecta la radiació reflectida podem trobar dos tipus: la radiació reflectida pura i l'especular. EnergyPlus és un dels pocs softwares que calcula aquests dos tipus .

EnergyPlus permet ser utilitzat directament, previ la creació de l'arxiu base del model o mitjançant softwares-visors que generen les dades d'entrada (arxiu \*.idf). És a dir, l'arxiu d'entrada de dades un arxiu de text (ASCII text file) editable amb qualsevol editor de textos.

Com ja s'ha comentat, podem trobar softwares comercials que es basen amb aquest software i, entre els visors més destacats, podem trobar l'impulsat pel departament d'energia del EEUU, "plug-in" de lliure distribució per l'aplicació Sketchup de Google, anomenat OpenStudio (Energy, EnergyPlus Energy Simulation Software, 2012), programat sota el framework "*ruby on rails*", fet que ha facilitat l'aparició d'una comunitat de desenvolupadors que van incorporant novetats al visor i generador de la forma de l'edifici; i el software, gratuït per l'usuari Simergy, desenvolupat pel LBNL (Lawrence Berkeley National Laboratory), Departament d'Energia dels EEUU (Simulation Research Group, 2013) – del que el mateix autor del present escrit és "*beta-tester*". Fins i tot, podem trobar taules \*.csv, senzilles de creació per poder generar aquest arxiu d'entrades, tot i que no són de massa utilitat ja que en la seva majoria han quedat obsoletes, en versions antigues del EnergyPlus i les configuracions

Mencionar que el codi mare del programa s'ha alliberat darrerament i si és d'interès, pot ser adquirit per tal de realitzar modificacions directament.

**Taula 29. Característiques necessàries que cal definir en els materials per les simulacions en EnergyPlus.**  
Font: Elaboració pròpia.

DADES EnergyPlus	
<b>MaterialType</b>	Mass_NoMass_AirGap
Roughness	string
Thickness	m
Conductivity	W/m-K
Resistance	m <sup>2</sup> -K/W
Density	kg/m <sup>3</sup>
Specific Heat	J/kg-K
Thermal Absorptance/Emittance	%
Solar Absorptance	%
Visible Absorptance	%

En la taula anterior, s'observen les característiques bàsiques que cal introduir per definir els paraments i materials; i, així, poder realitzar els càlculs de consums de l'espai on estan aplicats.

A part de les característiques avantatjoses anteriorment esmentades (codi lliure, generació d'entrades de dades amb visors de lliure accés, gran potencialitat de càlcul reconegut internacionalment i possibilitat d'integració amb d'altres co-simuladors); dir que el propi motor DOE2 ja ha estat utilitzat pel programari oficial CALENGER GT (per tant vàlida encara més el seu ús), i el propi autor, beta tester de EnergyPlus, ha desenvolupat una eina conjuntament amb la UPC d'optimització que l'ha integrat com a principal motor de càlcul (s'explicarà en l'apartat 5.8.5 OptimalSIM).

#### 2.7.4. Eines on-line / SmartPhone

Via on-line existeixen un conjunt de webs amb les eines corresponents que fan càlculs energètics, basant-se amb base de dades i càlculs de tipologies realitzats.

En general són eines senzilles i de fàcil utilització per realitzar una primera aproximació de demanda i consum. No s'ha trobat cap eina via internet que estigui validada per tal de que les dades extretes serveixin per realitzar un anàlisi complet del cicle de vida atenent la norma europea de sostenibilitat per la construcció.

En la següent taula es pot veure la relació d'algunes de les eines més destacades per la seva senzillesa d'utilització i/o potencialitat:



**Taula 30. Relació on s'exposen diverses eines de simulació energètica via on-line. Font: Elaboració pròpia.**

NOM	DESCRIPCIÓ	REFERÈNCIA
U.S. - NREL	Simulador basat amb el software EnergyPlus, que permet dissenyar l'arxiu *.idf per càlcul.	(U.S. Department of Energy, 2016)
NREL - Model market	Servei gratuït que permet realitzar una simulació anual del model mitjançant EnergyPlus, previ introducció de les dades	(Alliance for sustainable Energy, LLC, 2016)
MIT Design Advisor	Eina senzilla que permet realitzar la simulació de l'edifici de forma àgil i eficaç. Motor de càlcul propi i possibilitat d'optimització.	(MIT, 2016)
Autodesk Green Building Studio	Portal que permet obtenir gran quantitat de resultats a part del consum energètic de l'edifici. Té una gran potencialitat. Sistema amb motor de càlcul propi de Autodesk. Actualment de pagament.	(Autodesk, 2016)
GreenSpaceLive – Building simulation on the cloud	Consultoria energètica que, amb un sistema al núvol, et permet generar el model idf de forma senzilla, realitzar els càlculs, retornant els resultats.	(Green Space Live, 2016)
EEB HUB Simulation Platform	Plataforma al núvol, orientada a diferents perfils d'usuaris que, segons el nivell de definició escollit, permet generar un model per analitzar el consum energètic y la qualitat lumínica.	(U.S. Department of Energy Innovation Hub., 2016)
Virtual Purse	Web App, desenvolupada per un consorci de centres universitaris, que permet aixecar de forma ràpida zones urbanes per analitzar el seu consum energètic.	(Vila, 2016)
E4RSim	Web App, finançada pel programa de cooperació SUDOE, on, a través de definir l'edifici de forma visual amb geometria 3D, permet obtenir els resultats de consums energètics i econòmics relacionats.	(Sudoe, 2016)
Fundació laboral de la Construcció	Aplicació educativa que gràcies a la base de dades permet practicar les operacions orientades a la rehabilitació i millora de l'eficiència energètica sobre un bloc d'habitatges model.	(Fundación Laboral de la Construcción, 2016)
Calculadora energètica	Aplicació molt senzilla que permet realitzar una aproximació molt general del consum energètic de l'edifici.	(OCU, 2016)
ICAEN	Simulador senzill de mesures de rehabilitació energètica d'edificis residencials. Dóna una primera aproximació de les possibles opcions de rehabilitació tenint en compte l'estalvi energètic, el cost econòmic i el temps d'amortització de les mesures que es desenvolupin.	(Institut Català d'Energia, 2016)
Home Energy Performance Pro	És de les poques aplicacions per SmartPhone que permet realitzar una auditoria de l'habitatge obtenint l'etiqueta energètica.	(Qreative Medias Ltd, 2016)

## 2.8. EINES INFORMÀTIQUES D'OPTIMITZACIÓ

Per examinar el rendiment energètic de l'edifici s'utilitzen nombrosos recursos per al modelat del prototip, el dissenyador passa molt temps dissenyant el model virtual. Només després d'estudiar diverses iteracions del disseny, es pot identificar una bona solució. Sense entrar a analitzar totes les possibilitats, el dissenyador no pot garantir que la solució adoptada sigui la millor, o almenys una de les millors solucions.

La majoria de paquets de simulació de programari comercial i/o lliure, pensats en l'anàlisi energètic, permeten calcular l'anàlisi anual d'energia de l'edifici, però no optimitzar el procés. No s'optimitzen els resultats, ni els passos anteriors, com ara el disseny, la construcció o processos finals de demolició (Fonseca, Fonseca, Garrido, Colls, & Casanovas, 2012).

Comencen a haver una sèrie d'aplicacions i programes que sí estan pensats per l'optimització. Tot i que, encara amb limitacions, poden ser útils per atendre els processos energètics i costos en la fase d'ús i manteniment. Per altra banda, com ja s'ha vist en l'apartat d'impacte ambiental (5.4), existeixen softwares per calcular el ACV dels materials i comencen a haver softwares que apunten a resoldre la problemàtica del cicle de vida global de l'edifici.

No obstant això, a data de desembre del 2016, no existeix cap paquet de simulació que integri l'optimització i totes les fases de l'edifici (disseny-construcció-ús-desconstrucció).

### 2.8.1. Mètodes de càlcul – Algorismes d'optimització

Els algorismes d'optimització es poden utilitzar per combinar les necessitats ambientals, econòmiques i socials. En general, una solució  $S_1$  és òptima quan no existeix una altre solució  $S_2$  que no millori un objectiu sense empitjorar un altre (Romero, 1996).

El problema d'optimització, en general, pot ser enunciat com: una funció  $f(x)$ , subjecta a  $g(x) \leq b$ ; on  $f: R^n \rightarrow R, x \in R^n, g: R^n \rightarrow R^m, b \in R^m$ ; on  $f$  s'anomena funció objectiu, i és una funció definida d'un domini de  $R^n$  sobre  $R$ , i representa una descripció matemàtica de l'objectiu que es pot aconseguir amb els problemes plantejats.

El *conjunt d'oportunitats* és el conjunt de punts  $x \in R^n$  que verifiquen totes i cada una de les restriccions i al mateix temps pertanyen al domini de definició de la funció – normalment a aquest grup es defineix com  $S$ .

Per tant, el problema de la programació matemàtica consisteix en escollir aquell o aquells valors de les variables instrumentals pertanyents al conjunt d'oportunitats  $S$ , és a dir,  $x \in R^n$ , que proporcionen el major o menor valor de la funció objectiu (Academic Press Inc, 2000).

El models es poden classificar en:

- Segons naturalesa de les dades: models deterministes o estocàstics.
- Segons la variable temporal: el problema es pot considerar com un cas dinàmic o estàtic.
- Atenent els objectius del problema, es pot parlar d'un únic objectiu o multiobjectiu (multicriteri).

- Segons tinguin o no restriccions, es pot parlar de problemes sense restriccions ( $X=R^n$ ) o amb restriccions de igualtat  $X = \{x \in R^n / g_i(x) = 0; i = 1, 2, \dots, m\}$  o restriccions de desigualtat  $X = \{x \in R^n / g_i(x) \leq 0; i = 1, 2, \dots, k\}$ . Aquests models tenen gran aplicació en el camp de l'eficiència energètica.
- Segons la linealitat de les funcions que intervenen, es pot classificar en models lineals o no lineals.
- Atenent a la continuïtat de les variables, també es poden classificar en problemes discrets o continus.

En el cas que  $x$  no pertanyi a  $R^n$  o  $f(x)$  no sigui convexa, no tindrem una prova d'optimització global, i, a conseqüència, els resultats poden ser erronis.

Així, un dels grans problemes de l'optimització és determinar per cada cas concret, quin és l'algorisme més idoni que s'ajusta als criteris de partida. Per la realització d'aquests càlculs, els algorismes d'optimització que en general s'utilitzen són (GenOpt, 2011):

#### Cas Diferenciable continu $P_c, n=1$

Algorisme Simplex de Nelder i Mead amb l'extensió de O'Neil (Tomick, 1995).

Algorisme Paramètric (GenOpt, 2011, secció 7.1, pàgina 62)

Algorisme discret Gradient Armijo (Rasúa, 2009).

#### Cas Variable dependent $P_{cg}, n>1$ o diversos mínims locals

Algorisme Híbrid: secció 5.5

Algorisme Hooke-Jeeves amb múltiples punts de sortida (Hooke & Jeeves, 1961): secció 5.2.2

Algorisme d'optimització Particle Swarm (Eberhart & Kennedy, 1995): secció 5.4

#### Cas amb Variables discretes $P_d$

Algorisme d'optimització Particle Swarm: secció 5.4

#### Cas per Variables continues i discretes $P_{cd}$ i $P_{cdg}$

Algorisme d'optimització Particle Swarm: secció 5.4

Algorisme Híbrid: secció 5.5

### 2.8.2. Programes d'Optimització per eficiència energètica en edificació

En l'actualitat, s'han fet esforços per desenvolupar enfocaments i mètodes per l'avaluació d'edificis (Arantes, 2011), mètodes per integrar la llum natural i el rendiment tèrmic (Andreas Sattrup, 2011) o sistemes d'optimització multiobjectiu per al disseny urbà (Bruno, 2011) que tenen els diferents aspectes en compte quan es crea un sistema d'optimització d'energia (Fonseca, Fonseca, Garrido, Colls, & Casanovas, 2012).

Previ a l'optimització (o un altre camí a seguir) hi ha la parametrització (Wetter, Michael, 2008, pág. 63), on es simulen la gran quantitat de situacions possibles que es volen analitzar (normalment són les que realment es podran portar a terme si el model es construí). Per resoldre aquesta problemàtica de múltiples situacions podem destacar

l'aplicació Jeplus (Zhang, 2013), de lliure distribució, aplicació que agafa com a dades d'entrada els arxius \*.idf del EnergyPlus i es pot determinar una sèrie de situacions relativament amb facilitat, així, avaluar tots els casos concrets (d'entre els casos analitzats, es pot determinar quin és l'òptim).

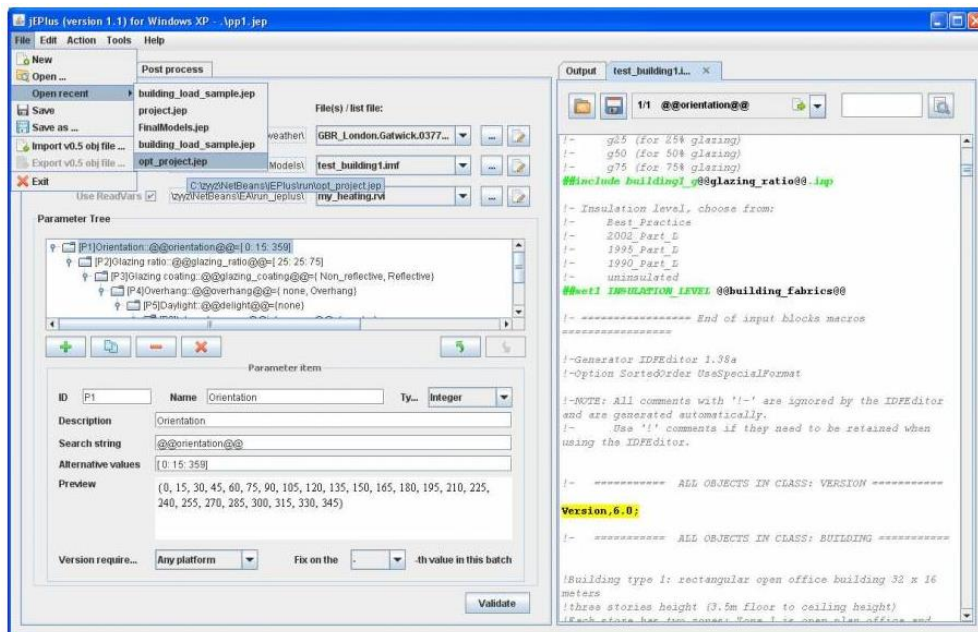


Fig. 21. Interface general de JePlus. Font: (Zhang, 2013).

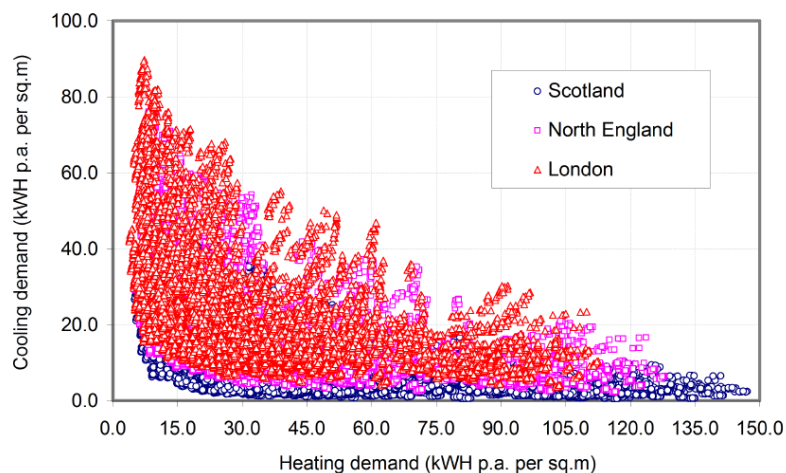


Fig. 22. Cas d'estudi amb JePlus, amb 34.560 situacions. Font: (Yi & Ivan, 2010).

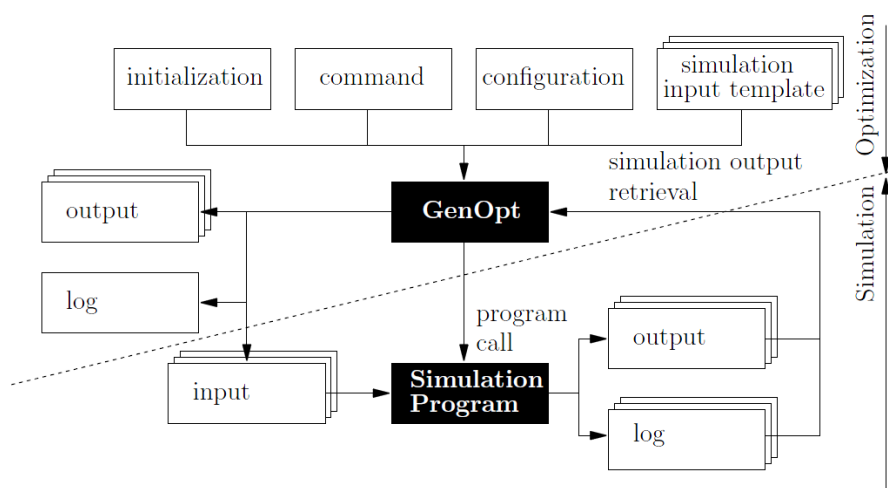
Per altra banda, cal dir que el mateix programari EnergyPlus, té una aplicació EpCompare (U.S. Department of Energy, 2013), que et permet comparar diferents resultats a la vegada. Moltes vegades, la limitació de la parametrització sistematitzada és el problema de cost potència-temps en computació que requereix (Yi & Ivan, 2010).

Com a software comercial, cal mencionar en aquest apartat, el mòdul DEFT del software IES <VE>, pensat per poder calcular l'índex de rendiment de l'edifici, comparant diferents variables a la vegada (tot i que pròpiament no optimitza, pots generar diferents situacions de forma àgil i intuïtiva).

Per tant, d'entre els programes que existeixen per abordar el problema d'optimització, podem destacar el GenOpt (GenOpt, 2011), un programa d'optimització per minimitzar una funció de cost que és avaluat per un programa de simulació externa, o OptEPlus (Laboratory, 2011), una aplicació enfocada al sector terciari. En línia amb aquestes aplicacions trobem el BEopt (BeOpt, 2012) que utilitza una tècnica de recerca seqüencial per automatitzar el procés d'identificació d'un disseny òptim pel que fa a l'ús d'energia, Dakota (Sandia Corporation, 2015), kit de disseny d'anàlisi per a l'optimització i aplicacions, o MOBO, programa d'optimització multi-objectiu per analitzar el comportament de l'edifici (Palonen, Hamdy, & Hasan, 2015). A nivell de softwares comercials, es pot anotar el TrnOpt (Universidad de Wisconsin, TRNSYS 13.1, 2012), programa d'interfície que permet als usuaris de TRNSYS utilitzar ràpidament i fàcilment l'eina d'optimització amb GenOPT mitjançant combinacions de variables contínues i discretes; i del software comercial DesigBuilder, recentment trobem AdOpt (Yi Zhang, 2013), que encara està en base experimental.

### **GENOPT**

Programa, escrit amb llenguatge JAVA, que engloba un conjunt d'algorismes d'optimització que permet calcular el mínim d'una funció la qual és avaluada per un programa extern, com ara EnergyPlus, Trnsys, IDA-ICE, SPARK o DOE-2.



**Fig. 23. Interfície entre GenOpt i el programa de simulació que avalua la funció de cost.**  
Font: (Simulation Research Group, 2009).

Tant els arxius d'entrada com de sortida són de tipus text, facilitant el procés de preparació del cas d'estudi per l'investigador.

Les variables independents poden ser variables contínues (pot presentar problemes de màxims o mínims) o discretes (o ambdues). A més, es pot implementar restriccions sobre les variables dependents utilitzant funcions de barrera.

Es pot llençar en paral·lel per reduir el temps de càlcul (no cal configuració especial per part de l'usuari).

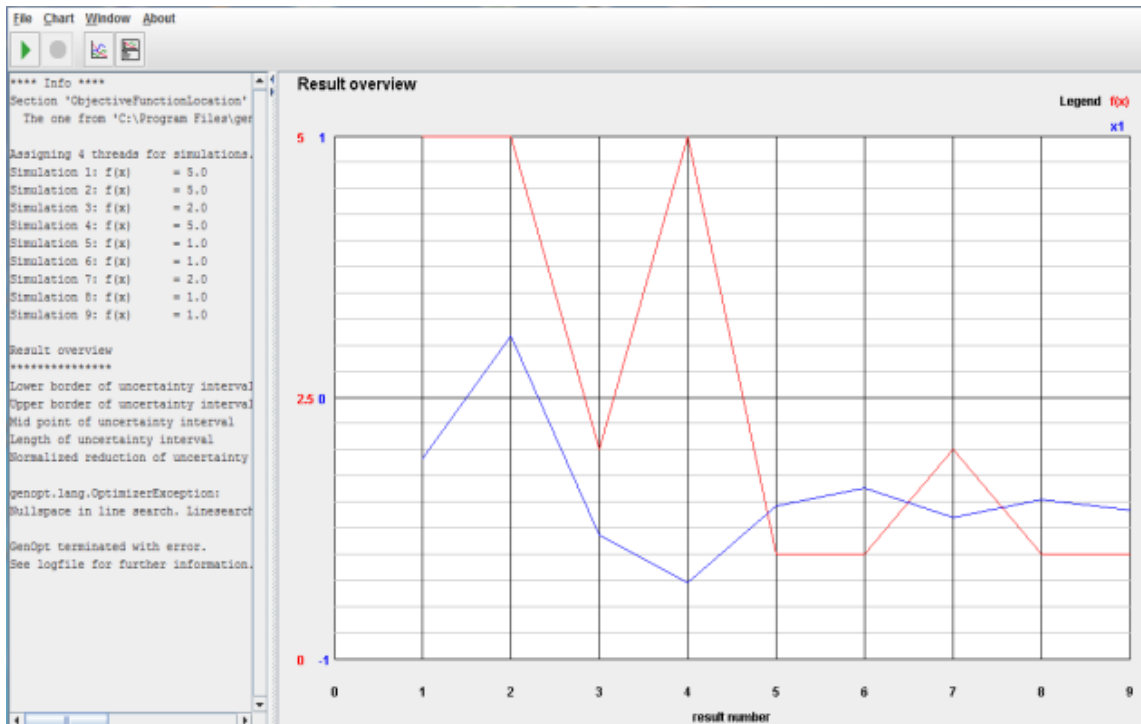


Fig. 24. Visió general del funcionament de programa GenOpt durant el progrés de l'optimització. Font: (GenOpt, 2011).

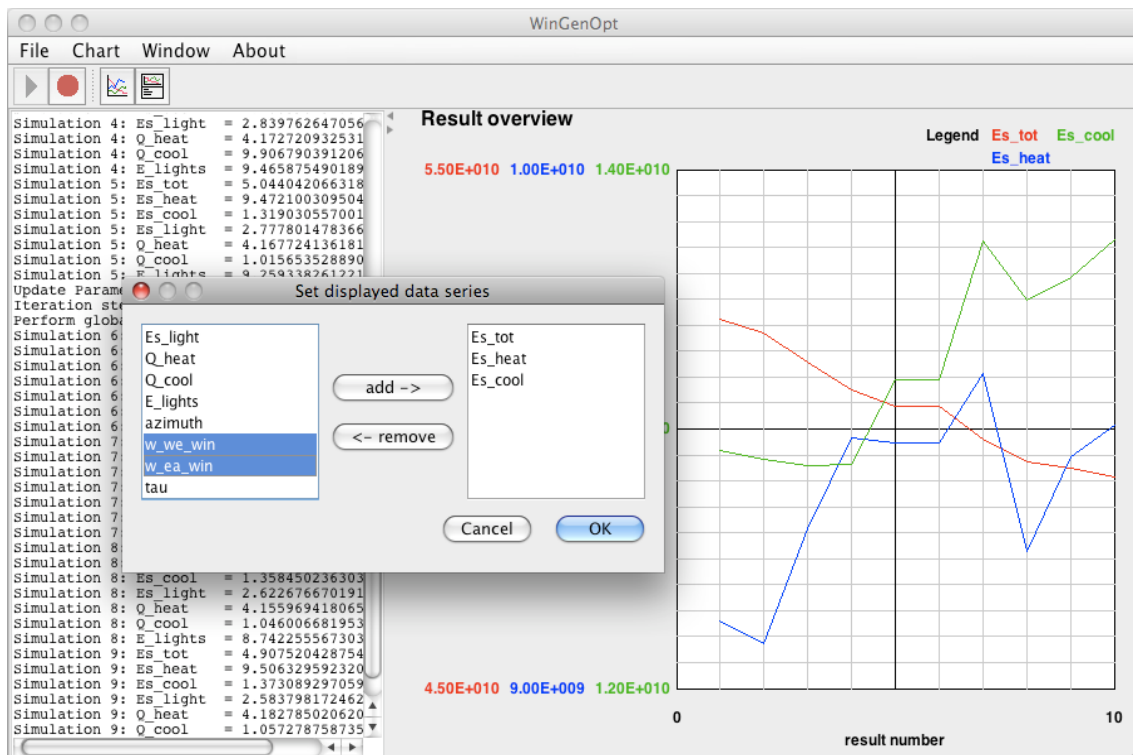
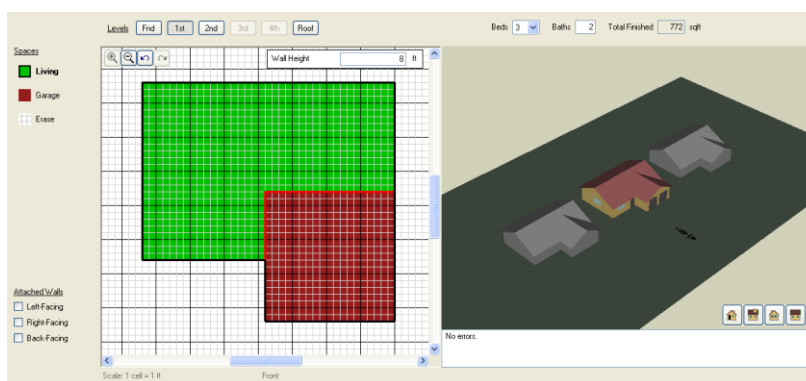


Fig. 25. Visió general del funcionament de programa GenOpt durant el progrés de l'optimització (2) . Font: (GenOpt, 2011).

Disposa d'un conjunt d'algorismes d'optimització que poden ser ampliat fàcilment sense la necessitat de conèixer els detalls de l'estructura del programa. Alguns d'aquests algorismes a destacar són: Hooke-Jeeves, algorisme discret Armijo, Swarm Optimization (per variables contínues i discretes), de Nelder i Mead Simplex o Golden Section i Fibonacci per minimització unidimensional (per més informació mirar l'apartat 5.8.1).

## **BEOPT**

BeOpt, Optimització Energètica en l'Edificació, és un programa desenvolupat pel departament National Renewable Energy Laboratory – U.S. Department of Energy, escrit amb JAVA, el qual proporciona eines per avaluar i trobar l'òptim de rendibilitat energètica i cost per l'edificació residencial (obra nova o existent) per aproximar-se a un NZEB (Net Zero Energy Building).



**Fig. 26. Pantalla de resultats per múltiples casos d'estudi. Font: (BeOpt, 2012).**

El procés de càlcul pot ser respecte parametrització o mitjançant un sistema de recerca seqüencial de variables i situacions per trobar l'òptim (proporcionant opcions realistes de construcció i alternatives de disseny) (Gestwick, y otros, 2011). Per la realització dels càlculs utilitza els motors EnergyPlus o DOE-2 o Trnsys. S'utilitzen els protocols ASHRAE, referents a l'habitatge. Per tant, el BeOpt es pot utilitzar per trobar el mínim cost de disseny atenent els criteris d'estalvi d'energia, avaluar opcions discretes de construcció o identificar disseny pròxims a l'òptim.

Com s'observa en el gràfic següent, el procés d'optimització consisteix en cercar d'entre totes les categories (tipologies de parets, tipus de sostre, tipus d'obertures, tipus de tancaments, etc...) l'opció més rendible en cada punt al llarg d'un camí seqüencial segons una ruta d'aproximació a energia zero. A partir del cas de referència es realitzen les primeres simulacions per tal de millorar els resultats de l'edificació base. A partir dels resultats, es seleccionen els òptims, per tal de redefinir el cas de referència i tornar a repetir el procés.

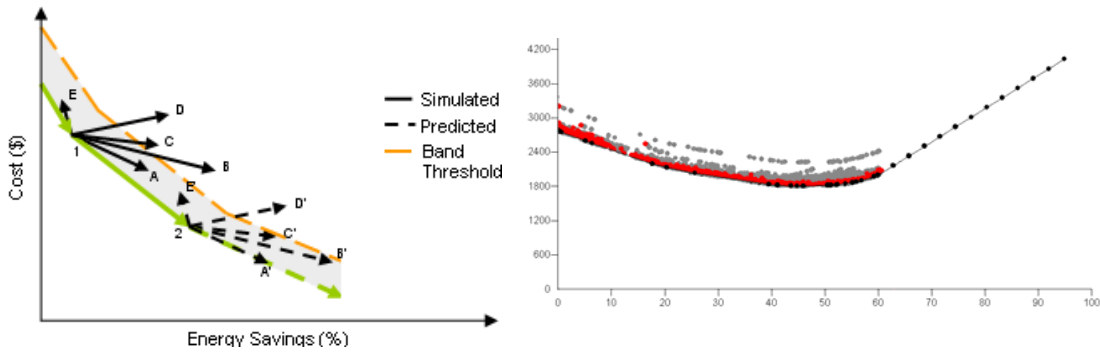


Fig. 27. Procés de càlcul de seqüenciació per arribar a l'òptim. Font: (Horowitz & Christensen, 2008).

Aquest procés pot donar a una sèrie de situacions d'error (on alguna situació posterior pot arribar a millorar situacions considerades òptimes anteriorment (figura següent esquerra). En aquests casos, BeOpt adoptarà el millor cas i retornarà a la situació de partida on s'ha produït la disfunció de la corba. O, podem trobar d'altres casos (figura següent dreta) on una situació genera gran estalvi amb referència al altres resultats, essent possible la generació d'una corba d'òptim errònia.

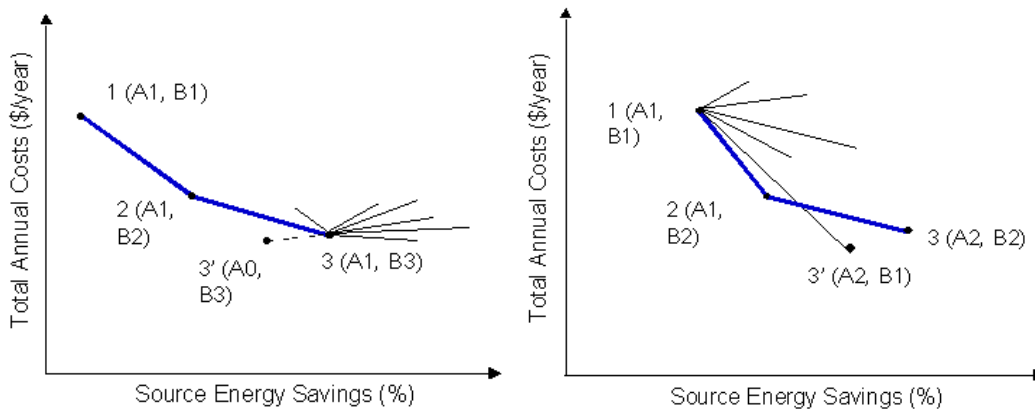


Fig. 28. Procés de càlcul de seqüenciació per arribar a l'òptim. Font: (BeOpt, 2012).

En aquest cas, BeOpt també ho avalua analitzant situacions anteriors i posteriors pròximes.



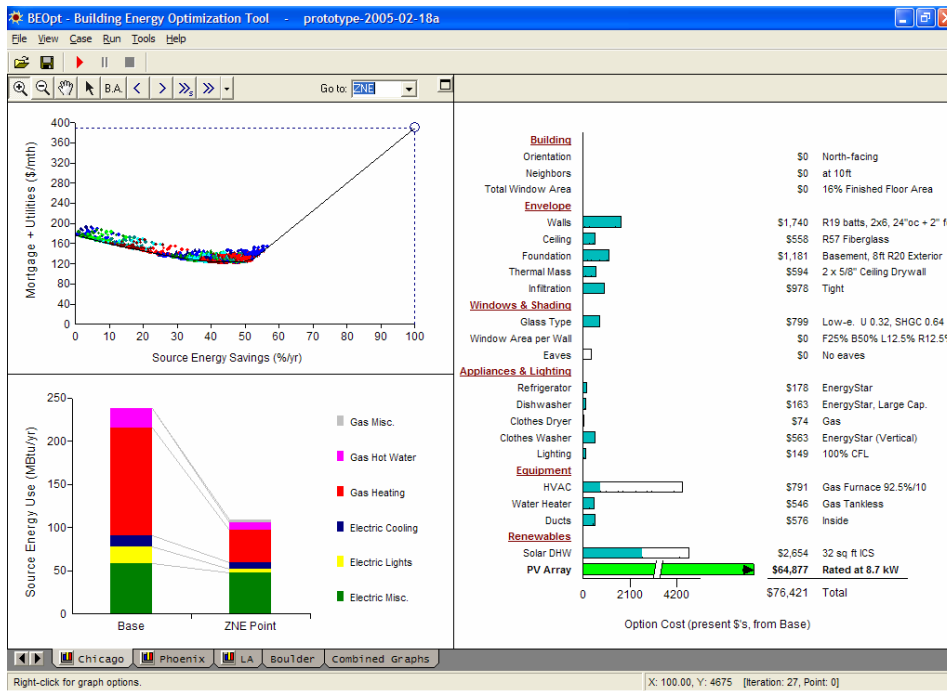


Fig. 29. Pantalla de resultats per un cas concret d'estudi. Font: (Craig , Scott , Todd, Adam , & Greg , 2005).

### 2.8.3. Programes de integració d'Optimització: co-simulació

Els idiomes d'ús comú per als simuladors de programació o eines d'optimització són Java, Fortran, C++ i Delphi, entre d'altres. Això pot causar problemes de definició del model d'integració, i la incomprensió entre els investigadors que provenen de diferents disciplines. Una de les propostes d'aquest treball és l'ús d'un llenguatge formal per simplificar la definició del model i el seu ús.

Usant llenguatges formals, com Discrete Event System (DEVS) (Zeigler, Praehofer, & Kim, 2000) (Bernard P. Zeigler, Alexandre Muzy, 2016), Specification and Description Language (SDL) (Telecommunication standardization sector of ITU, 1999) o Xarxes de Petri (Recalde, Teruel, & Silva, 1999), és, sens dubte, la millor solució per integrar i comunicar fàcilment les idees sobre el model amb els altres membres de l'equip, millorar la interoperabilitat amb altres models (Co-simulació), fomentar la col·laboració i simplificar el procés d'implementació. Com a exemple d'un recent treball que explora l'ús dels llenguatges oficials en la matèria, podem citar Integrating Building Information Modeling & Cell-DEVS Simulation (Sayed Ahmed, 2010).

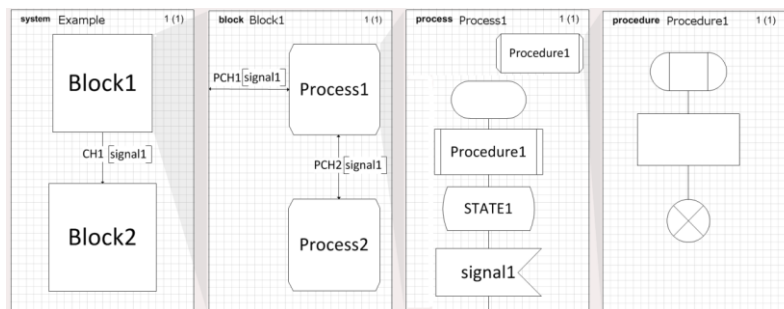


Fig. 30. Sistemes i subsistemes que component el llenguatge SDL. Font: (Doldi L. , 2001).

Per altra banda, trobem altres softwares que, tot i que no es basen en sistemes formals, sí que han desenvolupat un software visual per ser utilitzat en simulació, com ara el ja mencionat Trnsys (Universidad de Wisconsin, TRNSYS 13.1, 2012) o el Simulink (MathWorks, 2013).

Cal destacar la gran tasca de desenvolupament i investigació que s'està duent a terme pel departament Simulation Research Group de Berkeley (Berkeley Lab, 2013), el qual mitjançant el BCVTB (Building Controls Virtual Test Bed) integra en un mateix entorn, amb un software de co-simulació, varis softwares a la vegada (Building Technologies Department, 2012); de tal manera que pots simular l'edifici amb EnergyPlus, treballar amb el Radiance (Building Technologies Department, 2013) pel càlcul de la il·luminació natural i artificial, tractament de dades amb Matlab (MathWorks, 2013), utilitzant la potència de Modelica (Modelica Association, 2013) o Dymola (Dassault Systemes, 2013) i l'optimització amb GenOpt.

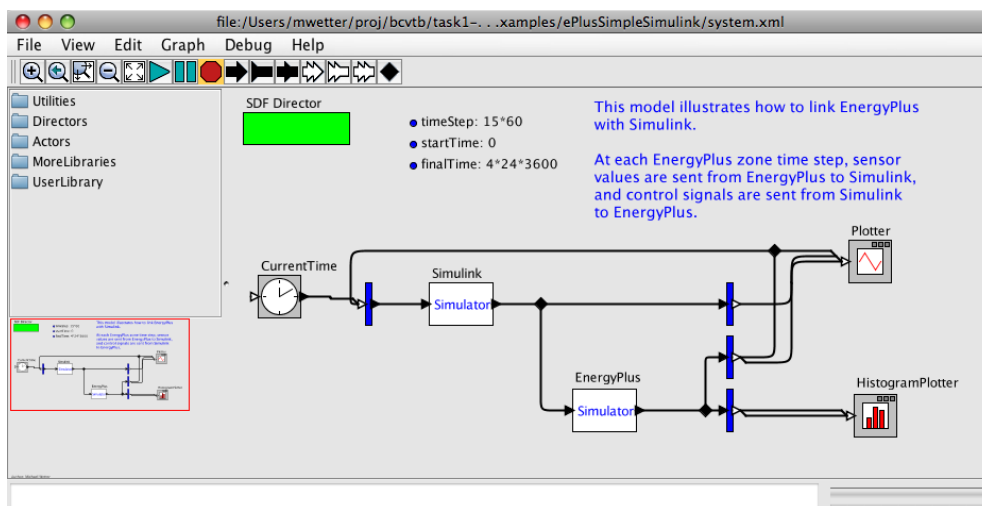


Fig. 31. Imatge general del BCVTB. Font: (Building Technologies Department, 2012).

Aquest estudi ens demostra que no es troba una eina d'optimització que es basi amb un llenguatge formal, que integri diferents motors de càlcul, utilitzant la normativa de sostenibilitat (impactes ambientals, econòmics i socials) com a base per fer els anàlisis de tot el cicle de vida complert del sistema.

A partir d'aquestes conclusions s'inicia la proposta metodològica desenvolupada en la tesi doctoral.

### 3. BUILDINGSIM

---

Després d'analitzar els diferents programes d'optimització existents i d'atendre la normativa de sostenibilitat i les normatives relacionades amb l'eficiència energètica, es va prendre la determinació d'idear un model de simulació en un entorn de co-simulació global que integrés a la vegada els processos d'optimització per ser aplicats al cicle de vida sencer de l'edifici; ampliant l'abast del camp de la simulació energètica en l'arquitectura i enginyeria; englobant tots els factors que intervenen en una edificació.

L'eina s'ha desenvolupat sota el centre de recerca Summlab UPC i amb la col·laboració del Inlab UPC (Inlab - UPC, 2012).

El simulador, al ser un plantejament ampli, s'ha desenvolupat gràcies a la participació de diferents tècnics els quals han desenvolupat parts d'ell.

En aquesta tesi es presenta el model complert principal base, anomenat BuildingSim, el cervell del simulador, desenvolupat per l'autor, conjuntament amb l'estructura de la base de dades i la interrelació existent amb els diferents motors de càlcul utilitzat i els algorismes d'optimització.

La plataforma web, el motor d'interpretació del model SDLPS (Fonseca i Casas, Pau, 2008) i la preparació del sistema en un entorn 'cloud computing' ha estat desenvolupat pel grup de treball del projecte. L'aplicació 'online' es denominada 'OptiSim' i l'entorn complert capaç de realitzar múltiples simulacions en paral·lel i mostrar un anàlisi de resultats es coneix sota el nom de NECADA (Fonseca i Casas, Pau; Fonseca i Casas, Antoni, 2015).

#### 3.1. OBJECTIUS

L'objectiu és realitzar un simulador que mitjançant algorismes d'optimització sigui capaç de determinar els millors escenaris atenent els impactes ambientals, econòmics i socials.

La idea es poder avaluar i trobar l'òptim tenint en compte el cicle de vida complert del model d'estudi atenent la normativa de sostenibilitat per la construcció CEN TC/350 (disseny + construcció + ús/manteniment + desconstrucció + reutilització + compensació energètica), així apropar-nos al màxim a un NZEB.

La utilització del simulador permetrà la utilització de varis motors de càlcul de llicència lliure, tots sota un mateix entorn de co-simulació: motor de càlcul de balanç tèrmic (EnergyPlus o altres) + motor de càlcul lumínic + motor de renderització + motor de càlcul de CFD (Computational Fluid Dynamics ) mitjançant el software de càlcul lliure OpenFoam (Greenshields, 2015) + tractament de dades per l'anàlisi de resultats mitjançant R Statistics (Kerns, 2011).

Un altre aspecte important, és desenvolupar el software de simulació d'optimització on-line, per oferir un servei distribuït i permetre treballar en paral·lel.

El darrer objectiu és oferir una base de dades amb creixement exponencial i lliure pels usuaris, basada en la normativa de Sostenibilitat en la Construcció (UNE-EN 15643).

### 3.2. METODOLOGIA

El co-simulador es basa en les normatives anteriorment citades:

- **Impactes ambientals.** Es basa principalment en el DAP's (UNE-EN 15643-2 i UNE-EN 15978), mirar l'apartat 2.4 de l'estat de l'art.
- **Impactes Econòmics.** Segons la normativa de Sostenibilitat en la Construcció (UNE-EN 15643-4). Mirar apartat 2.5 de l'estat de l'art.
- **Impactes Socials.** Segons la normativa de Sostenibilitat en la Construcció (UNE-EN 15643 -3). Mirar apartat 2.6 de l'estat de l'art.

*S'ha preparat l'estructura de la base de dades (pàg 105)*

Confort interior: Paràmetres de confort exigits per les normatives (les condicions interiors de càlcul de temperatura operativa i humitat relativa estan establertes en el RITE). Segons es prepari el model de l'estudi de cas, respondrà a unes condicions de contorn determinades (infiltracions, ventilació, horaris, ocupació, etc...).

Taula 31. Condicions interiors generals de càlcul segons RITE 2007. Elaboració pròpia. Font: RITE 2007.

Estació	Temperatura Operativa (°C)	Humitat Relativa (%)	Temperatura de l'aire (°C)	Velocitat mitja de l'aire (m/s)
Estiu	23 a 25	45 a 60	Mínim 26	0,15 a 0,18
Hivern	21 a 23	40 a 50	Màxim 21	0,13 a 0,16

#### 3.2.1. Arquitectura del model

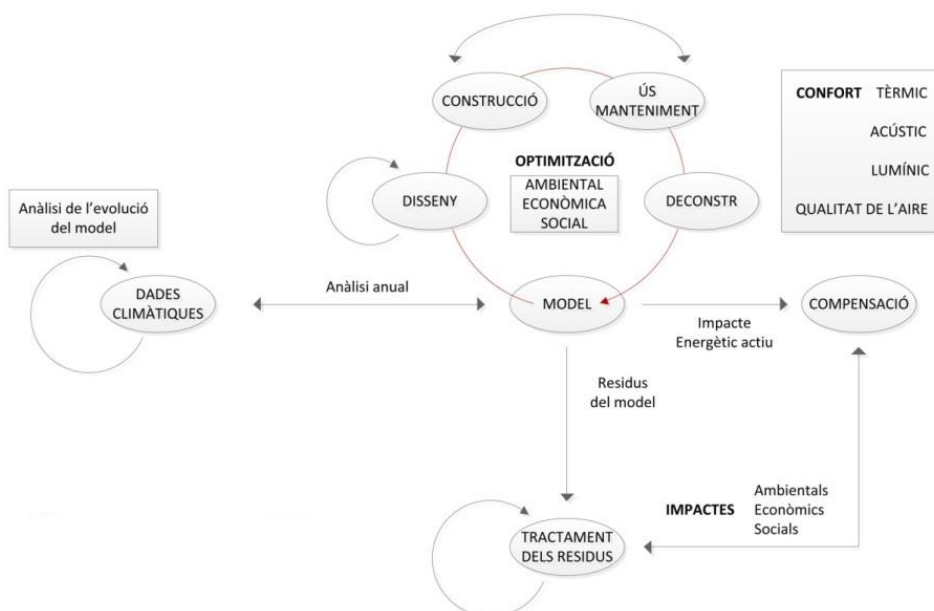


Fig. 32. Estructura general del simulador (sistema gràfic). Font: elaboració pròpia.

Com es veu amb l'estructura general del simulador, es divideix en diferents mòduls:

01. Dades Climàtiques. Aquest bloc permetrà optimitzar el procés del disseny al llarg dels diferents anys d'estudi. Si es tenen diferents dades meteorològiques variables al llarg dels anys, es podrà avaluar l'impacte segons dades climàtiques variables, i no constants com es fins ara en els simuladors actuals (fase en estat inicial).
02. Optimització. Bloc principal del software.
  - a. Disseny. Procés on s'optimitza la forma de l'edifici, la compacitat i obertures del disseny inicial. S'avalua el comportament de l'edifici atenent les propostes volumètriques inicials així com la millor orientació segons la ubicació del projecte. Va des de l'estat inicial fins al dissenyat.
  - b. Construcció. Procés on s'optimitza la logística de l'edificació i els materials i sistemes constructius per reduir l'impacte al màxim (ACV dels materials i sistemes i procés de construcció). S'avalua l'edifici segons els seu procés constructiu atenent els impactes associats ambientals, econòmics i socials, sempre a nivell passiu. És el procés que correspon, segons normativa de sostenibilitat per la construcció, a l'etapa A. Va des de l'estat dissenyat fins al construït.
  - c. Ús / Manteniment. Procés on s'optimitza l'ús i gestió del disseny i s'optimitza ja, la part de sistemes actius. És el procés que correspon, segons normativa de sostenibilitat per la construcció, a l'etapa B. Va des del procés construït al utilitzat.
  - d. Desconstrucció. Procés on s'optimitza el model en la fase final (optimització de recollida de residus i demolició). És el procés que correspon, segons normativa de sostenibilitat per la construcció, a l'etapa C. Va des del procés utilitzat fins a la desconstrucció.
03. Tractament de residus. Bloc on, un cop optimitzat el model, els residus es processen per la seva reutilització i reciclatge (fase en estat inicial). El procés correspon, segons normativa de sostenibilitat per la construcció, a l'etapa D – beneficis per la reutilització de materials.
04. Compensació. Bloc on es plantegen els sistemes de generació d'energia amb energies renovables, necessaris perquè el cas d'estudi sigui NZEB (fase en estat inicial). El procés correspon, segons normativa de sostenibilitat per la construcció, a l'etapa D – beneficis per la generació d'energia.

Gràcies a la utilització del llenguatge formal SDL, mirar apartat 3.2.2, l'arquitectura del model serà integrada en la totalitat permetent la seva posterior definició concreta per processos, per tal de realitzar l'ampliació d'aquest per adquirir major definició i més funcionalitats.

### 3.2.2. Llenguatge SDL: integració del model

Per definir els diferents processos del model s'empra Specification and Description Language (SDL), estàndard de la ITU-T (Telecommunication standardization sector of ITU, 1999), un llenguatge gràfic no ambigu que permet definir els diferents models mitjançant un sistema de diagrames, molt més àgil i fàcil de ser llegible que altres llenguatges de programació. El SDL és un llenguatge formal que permet fàcilment integrar i combinar-se amb altres llenguatges, a més és un estàndard de la ITU-T, el que garanteix la seva estabilitat i l'existència d'eines que permetin implementar automàticament models de simulació associats.

La gran diferència del SDL amb el UML, Unified Modeling Language (Norton, 2006), és que el UML és un llenguatge gràfic que pot arribar a generar ambigüitats en la descripció del model. Al contrari, el SDL, és un llenguatge compert i no ambigu, que cal definir exactament tot allò que cal implementar, fet que ajuda a l'equip de treball a evitar problemes en la definició.

L'ús de SDL no és una restricció en cap sentit, altres llenguatges formals es poden utilitzar per definir el model, com DEVS (B. P. Zeigler, 1988) o (Cabasino, 2013). En concret, trobem una definició interessant en DEVS pels sistemes d'edificació en (Goldstein R. i., 2010). Cal assenyalar que hi ha mecanismes per transformar els models representats amb SDL a altres formalismes àmpliament usats (com DEVS i xarxes de Petri) (Fonseca & Casanovas, Towards a SDL-DEVS Simulator. Multiparadigm simulation, 2011). Per tant, aquesta metodologia, que transcendeix el llenguatge mateix, és d'aplicació general.

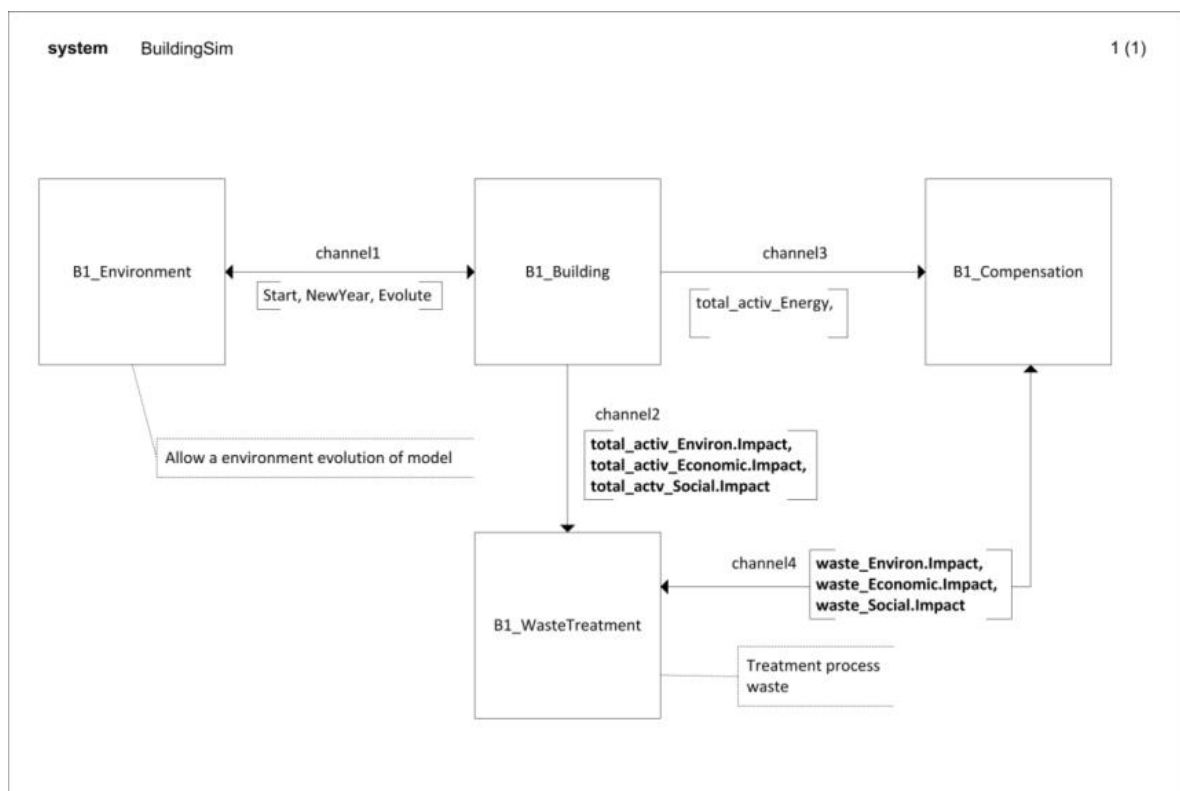


Fig. 33. Estructura general del simulador. Llenguatge SDL. Font: elaboració pròpia.

En la figura anterior, es comprova clarament la definició de les diferents etapes segons la normativa de sostenibilitat tal i com s'havia descrit en l'arquitectura del model:

**B1\_Environment:** procés on hi ha la definició de les dades corresponents a la zona climàtica

**B1\_Building:** procés principal que recull, segons la normativa de la sostenibilitat, les etapes A, B i C (construcció, ús/manteniment i desconstrucció respectivament).

**B1\_WasteTreatment:** procés on s'avaluaria la capacitat del sistema en la recuperació i reutilització de materials (segons la normativa de sostenibilitat, etapa D).

**B1\_Compensation:** procés on s'avaluaria la capacitat del sistema en la generació d'energia segons fonts renovables (segons la normativa de sostenibilitat, etapa D). És aquest estat darrer on es retornen els valors mitjançant una matriu (\*.csv) que recull els resultats dels càlculs anteriors i tots els impactes associats als sistemes passius i actius segons la normativa de sostenibilitat.

process P1\_Environment

1 (1)

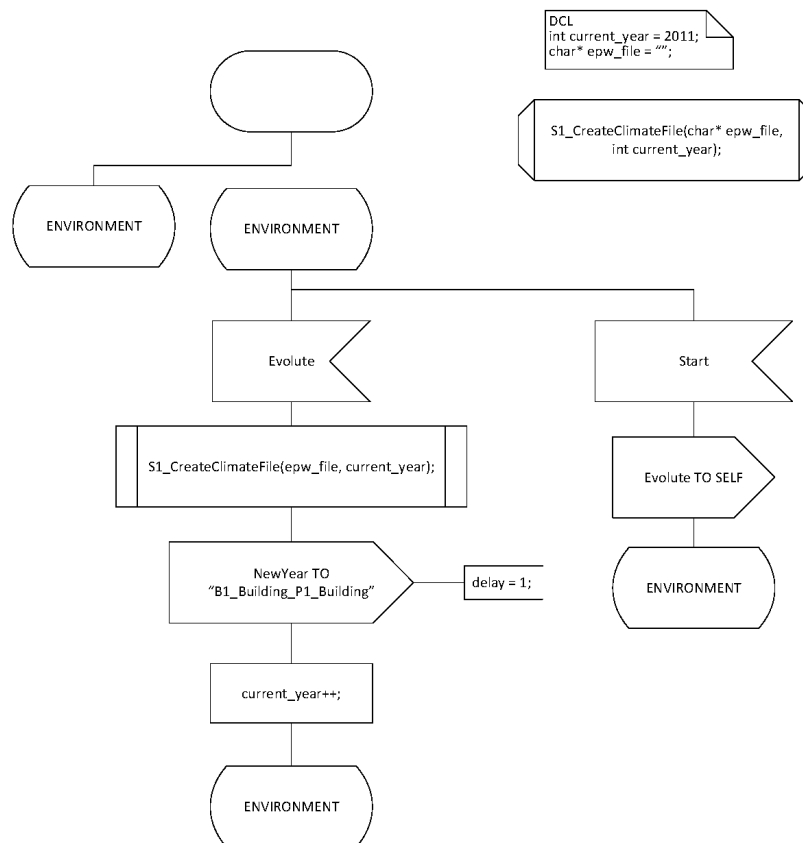


Fig. 34. Procés B1\_Environment. Font: elaboració pròpia.

Cada procés es defineix en sub processos els quals defineixen les regles i relacions entre ells.

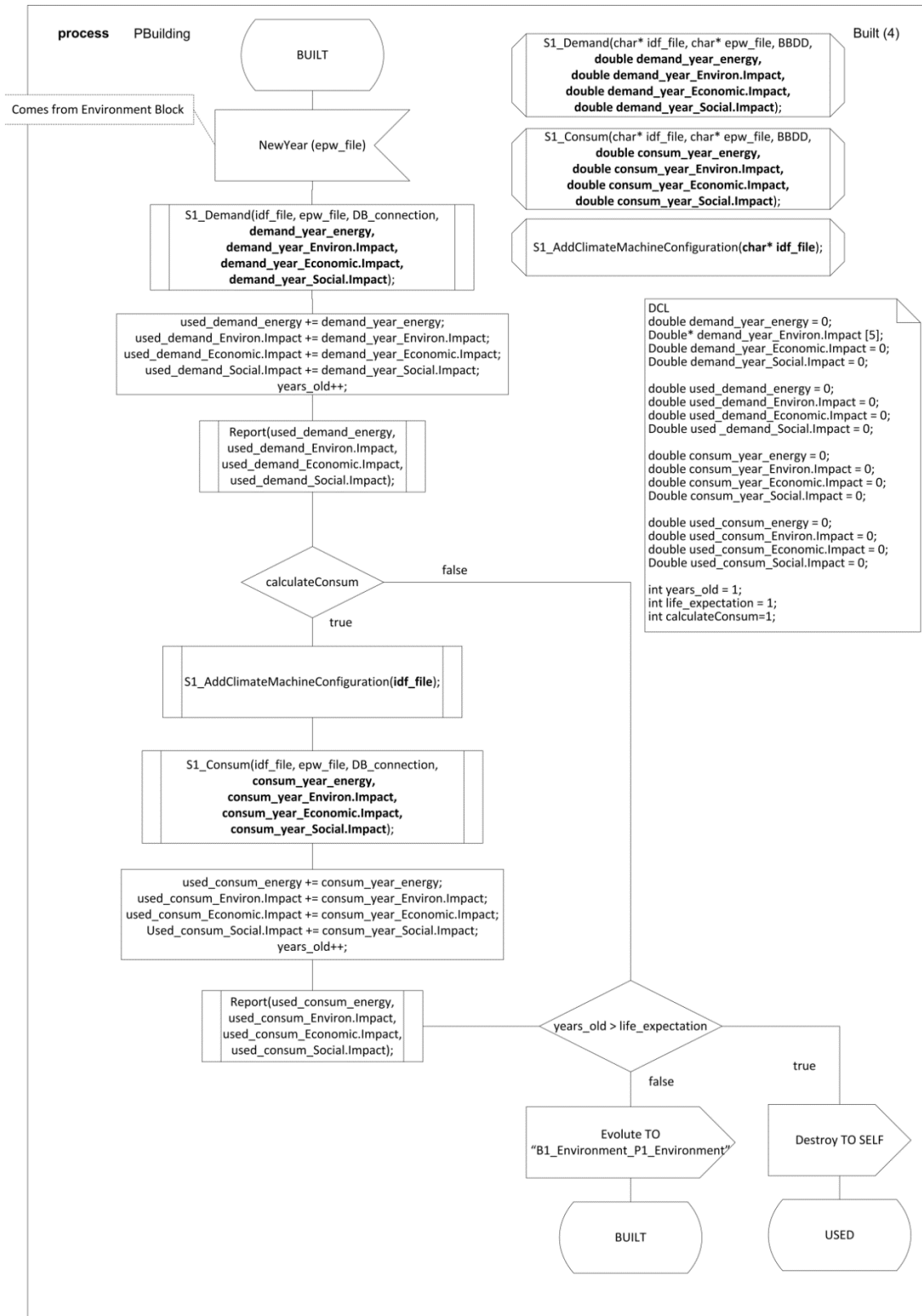


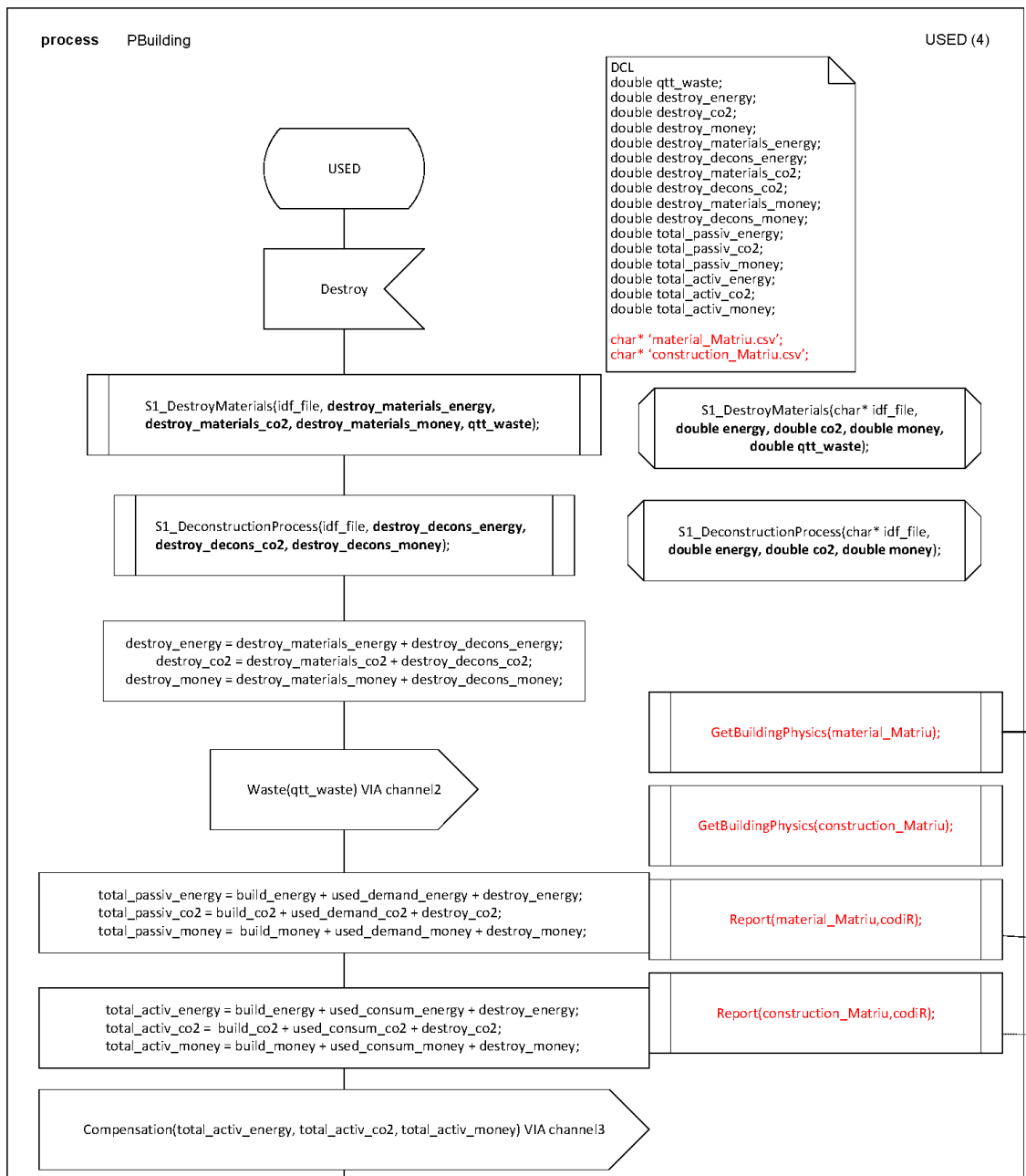
Fig. 35. Estructura del procés Ús/Manteniment. Procés corresponent a l'etapa B, segons la normativa de sostenibilitat. Llenguatge SDL. Font: elaboració pròpia.



En la imatge anterior es pot veure el procés P\_Building en detall, corresponent a l'etapa B, on es defineix els diferents elements que cal tenir en compte per realitzar la simulació tèrmica dinàmica (arxiu de clima \*.epw i arxiu estudi de cas \*.idf, per aquest cas concret on s'utilitza el motor de càlcul energyplus). Un cop realitzada la simulació es retornaria el resultat segons les condicions definides en un inici (segons si es vol calcular la demanda o consum necessaris).

Això, permet realitzar les especificacions necessàries per programar els diferents mòduls i analitzar el disseny del nostre edifici. El programari permetrà la implementació automàtica dels models, reduint els riscos d'errors i simplificant la verificació i validació dels mateixos.

Com s'ha mencionat, en el procés P\_Building, procés principal del sistema, es defineixen les diferents etapes atenent a la normativa de sostenibilitat. Concretament, en el darrer subprocés, *desconstrucció*, es on es retornen els resultats per tal d'enviar el valors al gestor de resultats segons la llibreria gràfica R plotly R 2.0 (veure l'apartat 3.2.7 i 3.4.4 per major detall).



**Fig. 36. Subprocés desconstrucció. Es recupera en tots els valors dels materials i solucions constructives atenent als seus indicadors de sostenibilitat (impactes ambientals, econòmics i socials) i es reporten com a resultats. Font: elaboració pròpia.**

En l'anterior figura, s'observa el bloc 'GetBuildingPhysics' que recupera els valors tant dels materials com de les solucions constructives; i el bloc 'Report' que genera la matriu i el codi R per la realització dels gràfics.

Específicament, en SDL la definició de les diferents variables que es van a utilitzar en els diferents processos es realitzen a través de blocs DCL. Aquestes variables seran les que es volen introduir en la definició del model.

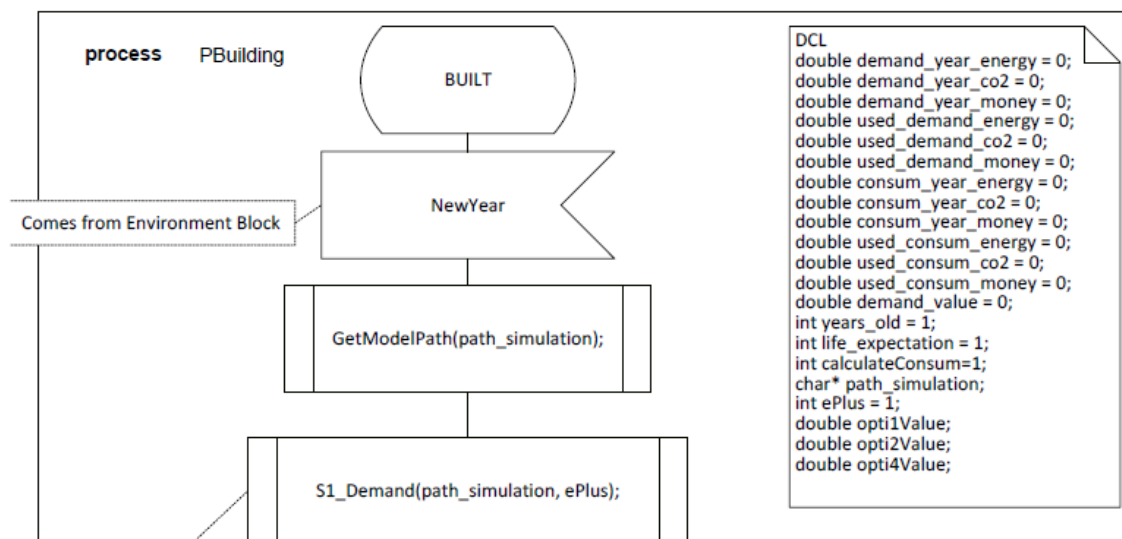


Fig. 37. Definició de les diferents variables que s'utilitza en el model en el diagrama de procés SDL utilitzant el bloc de DCL. Font: elaboració pròpia.

Les 'DCL' de l'anterior figura defineixen els valors a tenir en compte en els simulacions, a nivell de demanda i consum, segons l'energia, impacte ambiental i econòmic. Per exemple, si ens fixem en els 3 primers DCL que descriuen els valors de la demanda per any, tenim: indicador energètic ('double demand\_year\_energy'), impacte ambiental, concretament, el CO<sub>2</sub> ('double demand\_year\_CO2') i impacte econòmic ('double demand\_year\_money'). Cal definir les DCL necessàries per a cada etapa per poder atendre tots els valors necessaris en l'optimització de cada fase.

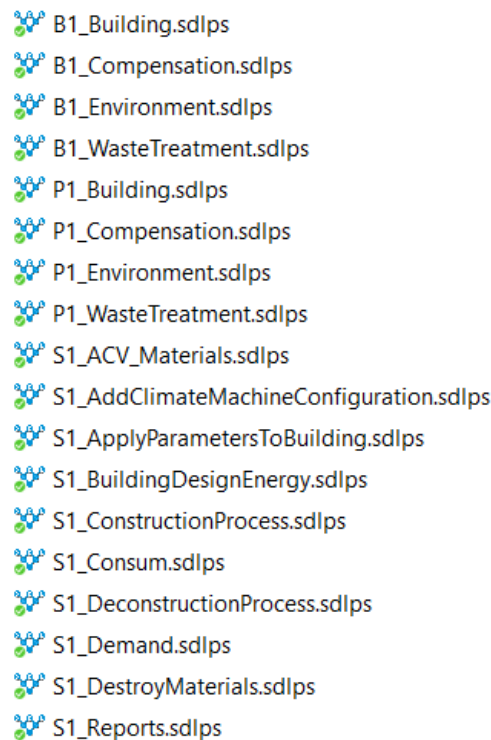
Per tant, totes les variables que es defineixen en els blocs DCL dels diferents processos poden ser utilitzats com a factors per definir un disseny experimental i tots els factors poden introduir-se en els algorismes d'optimització per tal de trobar la solució òptima, reduint la quantitat d'experiments per a ser duts a terme.

**La validació del model** es realitza a través de la representació SDL del model. Com a resultat de l'estructura modular i gràfica de la llengua, tots els actors involucrats en el projecte poden participar en aquesta validació, malgrat la seva experiència utilitzant qualsevol llenguatge de programació determinat no sigui elevada. La verificació està assegurada perquè l'eina comprèn diagrames SDL. Aquesta metodologia assegura la definició formal completa i precisa de tots els elements que intervenen en el model de simulació. Gràcies a l'estructura modular del llenguatge, el model pot ser completat amb altres models de simulació que es poden utilitzar per millorar les solucions obtingudes pel simulador. Com a exemple, el model pot incloure la representació de la distribució i els tractaments dels residus generats durant el procés de construcció, incloent un model específic. Aquesta representació holística del model condueix a una solució completa per al problema que volem resoldre. Una altra característica interessant, per utilitzar un llenguatge formal, és que el model no és depenent de l'eina.

En el cas de SDL això és especialment interessant perquè és un llenguatge ISO, estandaritzat per la ITU-T (ITU-T, 2012). Això vol dir que diverses eines es poden utilitzar per implementar el model final. Això fa que la selecció de l'eina depèn dels requisits del projecte i no de la definició del model. Finalment, es permet, a causa de la integritat i l'ambigüïtat de SDL, una aplicació automàtica del simulador. Diverses eines comercials, com PragmaDev

(PragmaDev SARL, 2012) o Ciderella (CINDERELLA SOFTWARE, 2007), són compatibles amb aquesta característica interessant que simplifica la verificació (asseguren que l'aplicació del model és correcte). També hi ha algunes tècniques per tal de transformar SDL a C++ com (Fischer, Neumann, & Olsen, 2005).

Gràcies a la utilització del llenguatge formal SDL integrat al programari desenvolupat per la UPC SDLPS, es dissenya l'estructura global del co-simulador, capaç d'integrar altres motors de càlcul. El SDLPS permet una execució distribuïda del model i la reutilització de models de simulació i la integració d'altres motors de simulació en una sola eina.



**Fig. 38. Definició dels diferents processos en format SDLPS per tal de ser executat en el simulador. Font: elaboració pròpia.**

D'altra banda, l'ús d'un llenguatge formal és imprescindible per poder integrar fàcilment tots els components de l'equip multidisciplinari desenvolupador del programari (enginyers informàtics, industrials i arquitectes) (Fonseca, Pau; Fonseca, Antoni, 2012).

El llenguatge C++ és l'emprat per definir els diferents algorismes necessaris per l'optimització i els blocs de càlcul que es troben en els diferents processos del model (integrable a més en l'entorn .NET).

### 3.2.3. SDLPS

A continuació s'explica el funcionament del SDLPS, programa desenvolupat pel centre de recerca Inlab FIB capaç d'interpretar els models en llenguatge SDL. El model aplicat és el BuildingSim (BuildingSim.sdlps):

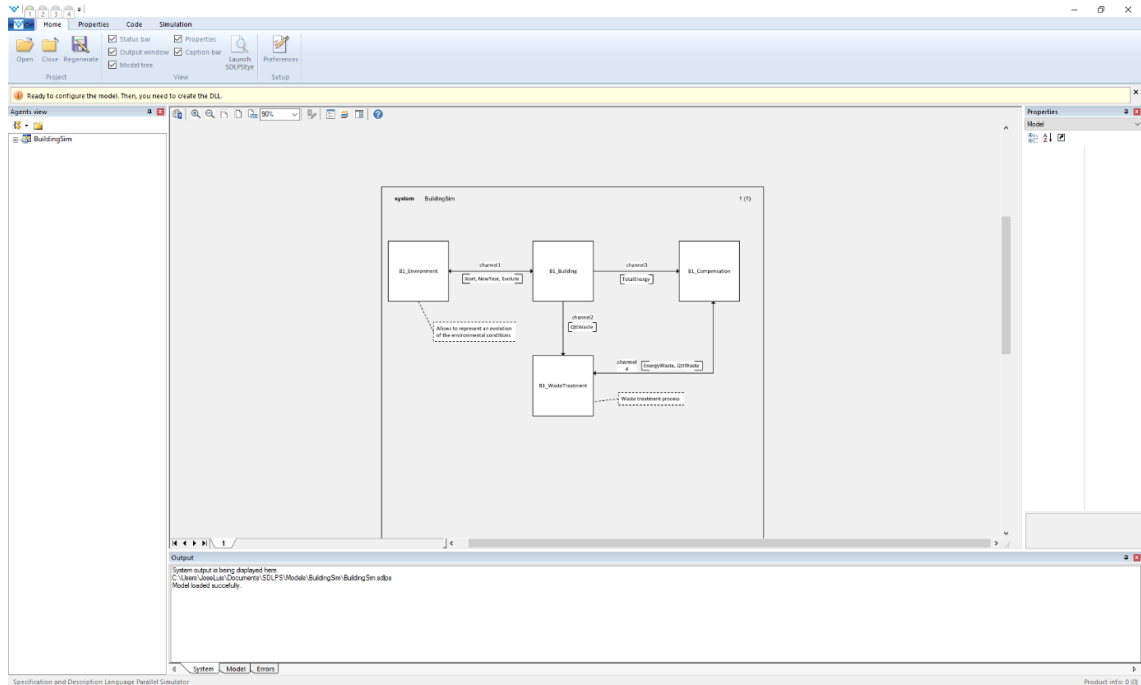


Fig. 39. El model BuildingSim dins del programa SDLPS. S'està iniciant l'execució per a la simulació. Font: elaboració pròpia.

Treballem amb el formalisme SDL, explicat anteriorment. En aquest formalisme cada element representa una paràmetre a tenir en compte (entorn, compensació, tractament de residus, ...).

#### 02 Propietats:

Un cop carregat el model, anem a la pestanya "properties" :

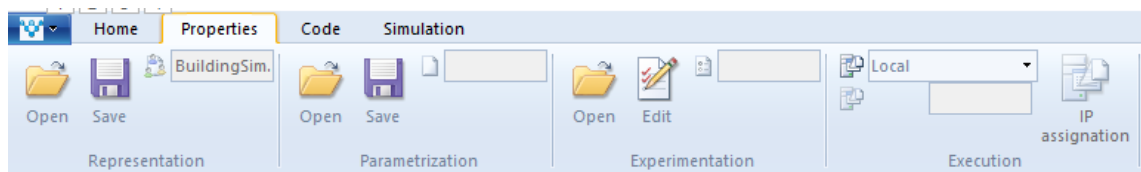


Fig. 40. Visió del panell de control del programa SDLPS. Font: elaboració pròpia

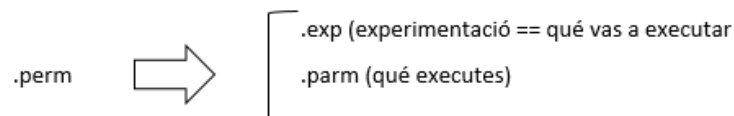
En aquesta pestanya tenim les propietats d'aquest simulador :

- "Representation" : propietats gràfiques en 3D.
- "Parametrization" : fitxers .param
- "Experimentation" : fitxers .Exp
- "Execution" : diverses formes d'executar les simulacions.

### **03 Parametrizació (.param) i experimentació (.exp):**

Per tal de que el SDLPS pugui realitzar i plantejar els diferents escenaris, necessita un arxiu \*.param. El \*.param ve definit per un arxiu creat pel tècnic \*.perm on proposa les diferents parametrizacions, escenaris, combinatòries que cal atendre en l'experimentació i en el projecte (és a dir, en el \*.perm es defineixen totes les permutacions possibles tan a nivell de sistemes passius com actius, zones climàtiques, orientacions, etc...), per definir el núvol de simulacions. L'arxiu que finalment conté tota l'experimentació és el \*.exp, en format xml.

A partir del fitxer .perm i un 'plugin' específic *IDFPlugin* generarà una estructura de directoris (un per a cada permutació). Dins de cada directori hi haurà un fitxer .param.



**Fig. 41. A partir del \*.perm definit pel tècnic que genera les permutacions de partida es genera l'arxiu \*.param on es defineix cada parametrizació per la simulació i l'arxiu \*.exp que conté l'experimentació total. Font: elaboració pròpia**

Per tant, el fitxer .exp és el fitxer d'experiments. Conté tots els experiments (escenaris) que existeixen, i que el SDLPS executarà (en el cas de utilitzar la 'força bruta'). Si ha de fer 2000 permutacions (experiments, escenaris), tindrà 2000 línies. Per cada línia, hi ha d'haver un fitxer .param.

Així, el fitxer .param és el fitxer de paràmetres. És una permutació (experiment, escenari) concreta. Conté la parametrizació concreta d'aquesta permutació (experiment, escenari).

En BuildingSim, per preparar les permutacions i mostrar els resultats s'utilitzen els fitxers amb format xml.

El XML (Extensible Markup Language) (Tim Bray, 2008) va ser dissenyat per descriure dades (independentment de qualsevol programari i / o maquinari) però no per mostrar-los.

És un llenguatge de marcat, com HTML (aquest sí que va ser dissenyat per mostrar dades). És a dir conté etiquetes o marques que " envolten " a la informació:

```
7 <permutation type="energy+">
8   <algorithms>
9     <algorithm name="ForceBrute" active="0" />
10    <algorithm name="HillClimbing" active="1" limit="10" />
11    <algorithm name="Annealing" active="1" temperature="10" limit="10" />
12    <algorithm name="Random" active="1" size="10" />
13  </algorithms>
14  <group>
15    <variable name="perms_weather" type="weather">
16      <value original="~/App_Data/NECADA_DATA/Model/weatherdatas_files/1/climate.epw">climate.epw</value>
17    </variable>
18  </group>
19  <group>
20    <variable name="R13WALL" type="solution">
21      <value id="7">SB-U</value>
22    </variable>
23  </group>
24  <sustainability>
25    <solutions>
26      <solution name="R13WALL" project="Prueba Wizard">
27        <prices>
28          <price name="construction" units="EUR/Kg">67</price>
29          <price name="maintenance" units="EUR/Kg">89</price>
30          <price name="deconstruction" units="EUR/Kg">987</price>
31          <price name="refbdec">143</price>
32        </prices>

```

Fig. 42. Fragment d'un tros de codi d'un arxiu \*.perm on observem les diferents etiquetes i capçaleres per tal de definir el tipus d'optimització i les diferents permutacions que es realitzaan en les simulacions. Font: elaboració pròpia

#### 04 Execució:

Existeixen tres formes d'executar una simulació:

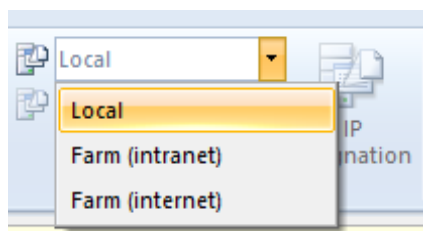


Fig. 43. Opcions de simulació en el SDLPS. Font: elaboració pròpia

L'execució pot ser realitzada via local-escritori, en una única màquina, en màquines virtuals o també en un clúster o granja de computadors.

L'estructura de granja 'farm computer' assigna una sèrie d'adreces IP a cada fitxer .Exp . Poden ser IP 's privades (intranet) o públiques( internet). Aquesta metodologia (intranet) va ser emprada en l'estudi de cas OptiHab – projecte Marie (mirar apartat 4.4).

#### 05 Codi:

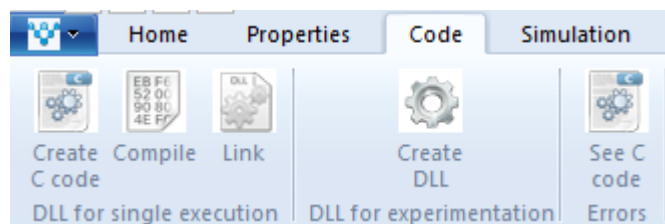


Fig. 44. Generació del codi per l'execució via SDLPS. Font: elaboració pròpia

En “*DLL for single execution*” es gestiona un únic fitxer de parametrització i genera una única DLL.

En “*DLL for experimentation*” es gestionen múltiples fitxers de parametrització i genera diverses DLL.

En general , primer es prova un cas amb “*DLL for single execution*”. Quan s'executa sense errors, llavors es llancen tots els casos mitjançant “*DLL for experimentation*”.

Cada DLL és una simulació.

La part “*See code errors*” permet veure els errors de compilació a la finestra “*Output*”, pestanya “*Errors*”:

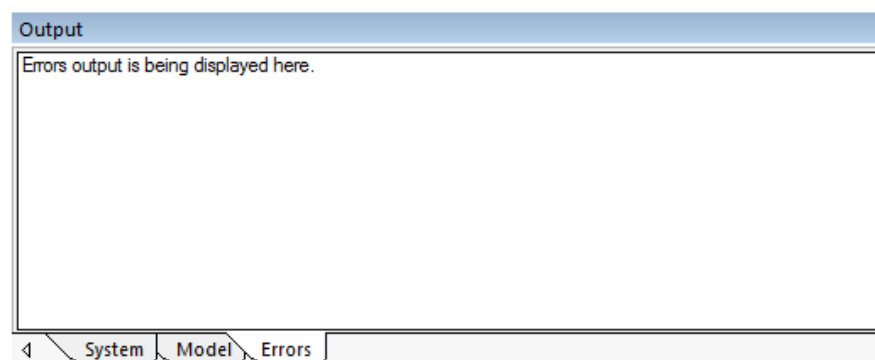


Fig. 45. Finestra de comprovació d'errors del SDLPS. Font: elaboració pròpia

## 06 Simulació:

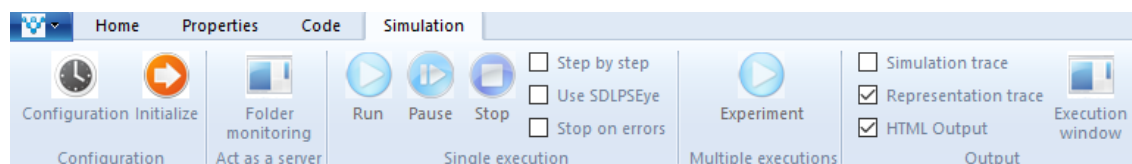


Fig. 46. Icones del SDLPS per realitzar la simulació. Font: elaboració pròpia

### 06.1 Configuració:

Per realitzar la simulació cal configurar els algorismes d'optimització que s'utilitzaran i cal determinar la seva finalització (mirar apartat 3.2.6).

Cal pensar que una simulació trigarà un temps (si és senzilla poden ser segons però si la complexitat del cas d'estudi s'incrementa pot durar fàcilment 15 min per simulació). Ràpidament, el temps d'execució augmenta en el cas de que es vulgui tenir un mapa complet d'escenaris per trobar l'òptim. En aquest escenari, o bé tens una granja de computació, i divideixes la feina entre totes elles, o bé cal fer servir algun tipus d'optimització. Si el cas d'estudi és ingent, caldria recórrer a un supercomputador com el mare Nostrum (Barcelona Supercomputing Center, 2016) (per tal que el model es pugui utilitzar en aquets entorn caldria una adaptació).



## 06.2 Algorismes d'optimització:

El SDLPS té dos tipus d'algorismes d'optimització (per major informació mirar els apartats 2.8.1. de l'estat de l'art i el 3.2.6):

- Algorismes no guiats
  - o Força bruta: consisteix a executar totes les simulacions.
  - o Random: consisteix a triar una mostra aleatòria, i executar, sencera, aquesta mostra aleatòria.
- Algorismes guiats: no es tria una mostra aleatòria, sinó que es basa en certs criteris definits en la pròpia naturalesa de l'algorisme.
  - o Simulated Annealing (mirar secció 3.2.6).
  - o Hill climbing (mirar secció 3.2.6).
  - o NSGA-II (mirar secció 3.2.6).

## 06.3 Final de la simulació:

S'ha d'indicar com finalitzar la simulació:

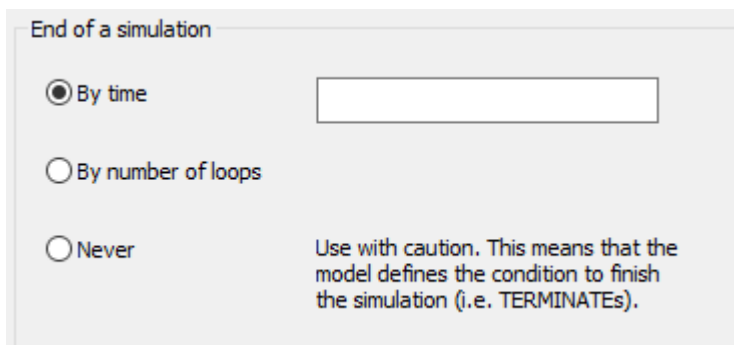




Fig. 47. Possibilitats de finalització de les simulacions amb el SDLPS. Font: elaboració pròpia

- By time: finalitza quan passin certs mil·lsegons.
- By number of loops: finalitza quan s'arribi al nombre d'interaccions definit.
- Never: finalitza, quan finalitzi la simulació, no la interromp.

## 06.4 Execució manual:

Per executar les simulacions, primer es prem  i després 

### 3.2.4. Disseny de la BBDD i integració dels impactes

El model BuildingSim és capaç de recollir els resultats dels experiments determinats amb l'estudi i relacionar els resultats amb la base de dades integrada.

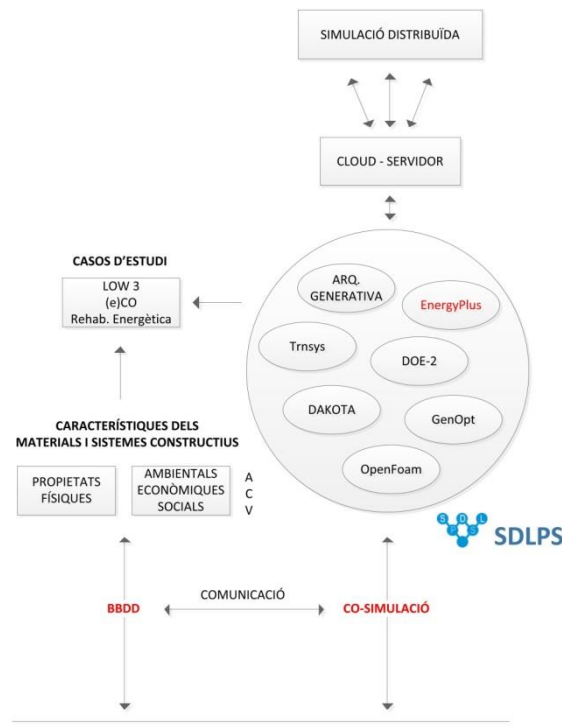


Fig. 48. Esquema de funcionament de la BBDD. Font: elaboració pròpia.

L'estructura de la base de dades relaciona els impactes ambientals amb els impactes econòmics. Per tant, en la base de dades s'atenen els següents camps:

- Propietats físiques necessàries per a la realització dels càlculs energètics.
- Característiques i impactes ambientals associats (CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> ...). Cost de producció, transport, manteniment i de tractament de residus. Segons la normativa de sostenibilitat per la construcció CEN/TC350.
- Característiques i impactes econòmics associats.
- Estructura dels impactes socials en cas de atendre'ls en el cas d'estudi.

Taula 32. Camps disponibles en la base de dades en relació a l'impacte ambiental. Font: Elaboració pròpia.

DADES Ambientals	
Energia del material produït	MJ/kg
abiotic_depletion	kg Sb eq
acidification	Kg SO2 eq
eutrophication	kg PO4---eq
GlobalWarming (GWP)	kg CO2/kg eq o kg CO2/m <sup>3</sup>
Ozone Layer Depletion (ODP)	kg CFC-11 eq
Human Toxicity *	kg 1,4-DB eq
Fresh water aquatic ecotox *	kg 1,4-DB eq
Marine aquatic ecotoxicity *	kg 1,4-DB eq
Terrestrial ecotoxicity *	kg 1,4-DB eq
Photochemical oxidation	Kg C2H4
Transport	kg CO <sub>2</sub> /km*kg
maintenance	kg/m <sup>3</sup>
waste / non renew	kg CO2/kg o kg CO2/m <sup>3</sup>
recycling	% kg/m <sup>3</sup>

\* paràmetres difícils d'aconseguir en molts casos

Taula 33. Camps disponibles en la base de dades en relació a l'impacte econòmic. Font: Elaboració pròpia.

DADES Econòmiques	
€/m <sup>2</sup> per cost producció	€/m <sup>2</sup>
€/km*kg pel transport de material a l'obra	€/km*kg
Cost de manteniment	€/kg
€/kg de material reciclat	€/kg

Per a cada impacte s'ha definit una classe i cada indicador és una subclasse que queda enregistrada a la base de dades. L'estructura de bbdd és en base a Mysql (Oracle Corporation and/or its affiliates, 2016).

Els impactes ambientals i econòmics són camps que s'han pogut utilitzar en els estudis de casos. Els impactes socials (els indicadors tal com marca la normativa de sostenibilitat) estan en l'estructura de la BBDD però no han pogut ser verificats ja que no s'ha pogut participar en cap projecte de recerca que hagi valorat aquests impactes.

Taula 34. Categories del comportament social. Font: Elaboració pròpia.

Indicadors SOCIALS	Compleixen?	
	SI	NO
Accessibilitat		
Adaptabilitat		
Salut i confort		
Càrregues al veïnat		
Manteniment		
Seguretat		
<b>Indicadors optatius</b>		
Origen dels materials i serveis		
Implicació de les parts interessades		

La normativa de sostenibilitat per la construcció, en el cas dels impactes socials, no estableix regles concloents sobre com els diferents esquemes d'avaluació poden proporcionar mètodes d'assignació de valor. Tampoc prescriuen nivells, classes o referències comparatives (*benchmarks*) per mesurar el comportament. Per tant, les regles d'avaluació dels aspectes socials no s'inclouen en aquest marc. Ara bé, sí que tenen en compte les conseqüències de les decisions o accions que influeixen en el comportament social.

Per a cada material i solució constructiva o element que es vulgui tenir en compte en el procés de càlcul de cada escenari, es podran afegir els impactes relacionats en la base de dades. Els valors es podran extreure de bases de dades internacionals (mirar apartat 2.3.4.). Aquests valors caldran estar definits en el arxiu \*.perm.

### 3.2.5. Motors de càlcul integrats

Finalment s'han integrat en el model de co-simulació els següents motors de càlcul:

#### **ENERGYPLUS:**

Motor de càlcul termodinàmic utilitzat internacionalment, lliure i amb una gran comunitat al seu darrera (mantingut i desenvolupat per universitats internacionals – mirar apartat 2.7.2).

Per realitzar les simulacions es necessita:

- Fitxa de dades climàtiques \*.epw. Es pot trobar una gran base de dades lliure de gran part de zones climàtiques en (EnergyPlus, 2016)
- Fitxer \*.idf. Conté la informació necessària perquè Energy Plus pugui realitzar una simulació. La seva estructura es descriu en un fitxer IDD.

El fitxer que explica la sintaxi d'un fitxer IDF és un fitxer IDD (<https://github.com/NREL/EnergyPlus/tree/develop/idd>). És la referència per saber quins paràmetres té cada element, si són opcionals, que tipus tenen, etc.

**TRNSYS (veure apartat 2.7.1):** motor de càlcul termodinàmic que ha estat integrat i verificat en el projecte OptiHab – projecte Marie (veure apartat 4.4).

procedure S1\_Demand(char\* path\_data, int ePlus)

1 (1)

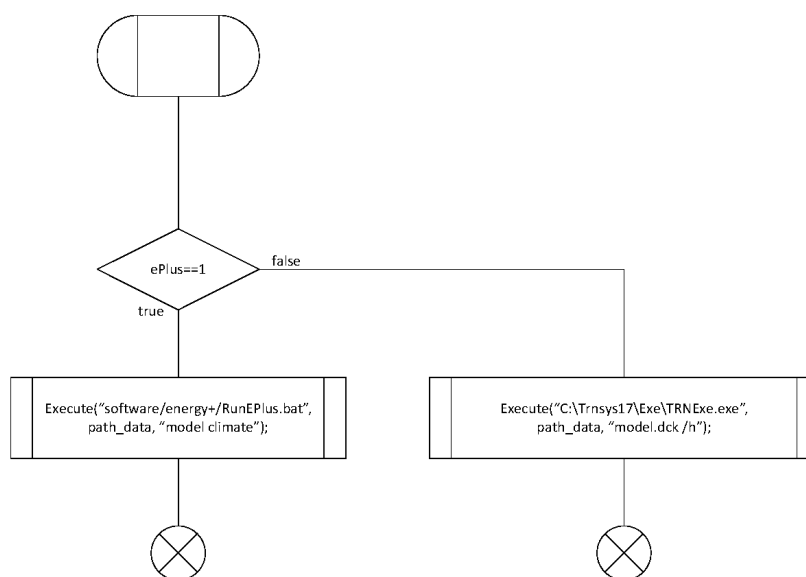


Fig. 49. Crida específica del motor de càlcul EnergyPlus o TRNSYS, segons estudi de cas. Font: elaboració pròpia.

**OPENFOAM (veure apartat 2.7.1):** motor de càlcul CFD lliure (Computational Fluid Dynamics) que permet arribar al detall i definició de parts concretes del cas d'estudi. Ha estat integrat i verificat en el cas d'estudi Acciona – façana tecnològica (mirar apartat 4.2).

**R (Marín, 2013):** llenguatge lliure d'anàlisi estadístic que permet l'estudi dels resultats i una millor comprensió del cas d'estudi (a data d'abril de 2016 s'estan integrant nous gràfics de la llibreria Plotly R 2.0 (Plotly, 2015)). És un post-procés on les dades bases per llençar el codi R s'extreuen del \*.csv de resultats integrat en el model BuildingSim (veure apartat 3.2.7. Resultats de les simulacions).

Aquesta capacitat d'integrar diferents motors de càlcul sota un mateix entorn facilita l'optimització atenent diferents criteris.

En l'apartat "4. Estudis de casos" es comprovarà com el model és capaç d'utilitzar a la vegada diferents motors de càlcul i utilitzar la potència 'brain' del servidor per l'optimització i oferir els resultats per després ser tractats amb programes d'anàlisis estadístics .

Cal dir que, el model presenta gran facilitat per integrar nous motors de càlcul ja que a l'haver estat desenvolupat sota un llenguatge formal i gràfic, permet l'ampliació de noves línies de recerca sense haver de modificar el cos principal (mirar apartat 6. Línies de desenvolupament futur).

### 3.2.6. Algorismes d'optimització

Qualsevol heurística que s'estableixi ha de tenir aquest mètode “*Step()*”, que es repeteix fins que trobem una solució possible. Com es pot veure en el codi, es comença amb una solució candidata a l'atzar. La selecció de les properes alternatives es basa en la permutació d'un dels nivells dels factors que es defineix en el disseny experimental. Per tant, la definició del disseny experimental defineix tots els escenaris possibles que són adequats per a ser analitzats pel mètode d'optimització. L'execució del disseny experimental es controla a través de SDLPS que implementa l'heurístic i que controla l'execució d'altres motors de simulació i càlcul necessaris per tal d'obtenir les respostes en un enfocament de co-simulació.

Els algorismes escollits s'han integrat al programa SDLPS per ser utilitzats en la simulació dels diferents escenaris.

Després d'analitzar els algorismes d'optimització usualment utilitzats en edificació (veure apartat 2.8.1) s'han escollit els següents per ser els més genèrics i utilitzats en edificació i en el camp de l'enginyeria:

#### **Hill Climbing** (Bart Selman, 2014).

L'algorisme Hill-Climbing va ser el primer utilitzat com a eina per a la reconstrucció mitjançant processos d'optimització.

És una tècnica de recerca local. S'utilitza un mètode gradual per optimitzar una única solució. L'algorisme comença amb una solució que es selecciona a l'atzar i de forma iterativa, tracta de trobar una solució òptima. Aquest procés realitza la modificació d'un únic element de l'espai d'exploració. Si el canvi retorna una millor solució, s'accepta el canvi. És un algorisme que aporta molts bons resultats si l'estudi de cas no presenta varis màxims ni mínims locals. L'algorisme implementat en el SDLPS és:

```
void COptHillClimbing::Step()
{
    m_R = selectTweakCopyParamFile(m_S);
    if (m_R.IsEmpty()) m_End = true;
    Execute(m_R);
    bool const_violated = false;
    double rNumber = CCongruentailRandom::getInstance().uniform(0, 1);
    //If the restriction is violated it must be discarded
    double QualityR = Quality(m_R, &const_violated);
    double QualityS = Quality(m_S, &const_violated);
    double QualityB = Quality(m_Best, &const_violated);

    //We select always the best solution.
    if (QualityR > QualityS)
    {
        m_S = m_R;
        if (QualityR > QualityB) m_Best = m_S;
    }
    m_limit--;
}
```

L'algorisme Hill Climbing ha estat utilitzat en el projecte ACE (veure apartat 4.3).

La funció de qualitat és construïda pel SDLPS i es defineix pensant en la combinació de les variables que l'usuari vol optimitzar. *Hill Climbing* és un sol mètode d'optimització, però, que pot ser utilitzat per dur a terme diversos criteris d'optimització, SDLPS automàticament combina les diferents variables de resposta per trobar la solució òptima.

**NSGA-II** (Mendez, 2011). *Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm*.

Algorisme evolutiu multiobjectiu (es defineixen varies funcions objectiu) on cal establir un compromís entre els objectius. Es basa en la combinació de diferents fronts de *pareto* que es van combinant i evolucionant a mida que el càlcul avança. Finalment, la població restant convergeix al *front de pareto* òptim.

**SIMULATED ANNEALING** (Moreno, 2005). (inspirat en el recuit de l'acer).

Algorisme de cerca local per trobar un òptim global. El mètode avalua alguns veïns de l'estat actual i probabilísticament (mètode de Montecarlo) decideix entre efectuar una transició a un nou estat s' o quedar-se a l'estat s. El càlcul s'efectua fins que es trobi un estat òptim que minimitzi l'energia del sistema o fins que es compleixi cert temps computacional o altres condicions.

Segons l'ús d'un algorisme concret, es trobarà la corba òptima amb més rapidesa (depèn del cas d'estudi i la naturalesa del problema a analitzar).

Fig. 50. Formulari d'elecció de l'algorisme. Font: SDLPS.

A part d'aquests algorismes d'optimització, també es pot utilitzar el 'random' (aleatori) i la 'brute force', el qual permet trobar, d'entre tots els escenaris generats, el cas òptim (la "força bruta" ha estat emprada i validada en la majoria dels projectes participats – mirar apartat "4.Estudi de casos").

### 3.2.7. Resultats de les simulacions

El sistema genera dues matrius amb les dades dels resultats: "mat-result.csv" i "sol-result.csv".

Per la part de càlcul energètics, els valors venen definits pel procediment 'S1\_Reports' definit en el model, dins del P1\_Building, tal i com s'observa en la següent figura:

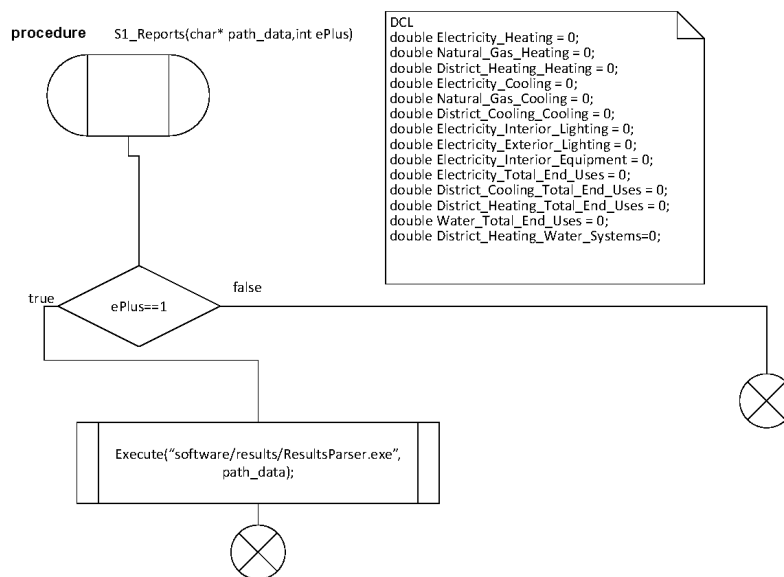


Fig. 51. Resultats calculats segons motor de càlcul termodinàmic.. Font: Elaboració pròpia.

En la figura anterior, els resultats segons càlcul motor termodinàmic, definits segons DCL, poden ser, per aquest cas: consum elèctric (segons calefacció, refrigeració, aigua calenta sanitària, equips i il·luminació), gas (calefacció i aigua calenta sanitària), refrigeració (gas i electricitat) i volum d'aigua utilitzada.

Aquestes matrius tenen les dades dels impactes relacionats per a cada escenari. Amb aquestes matrius i els valors energètics, la plantilla codi R, amb la llibreria plotly R 2.0, genera les gràfiques de resultats (veure 3.5 verificació del model per un cas concret).

Amb el codi R generat i els valors es poden mostrar gràfics com els següents:



Logistic Regression: 2 Features

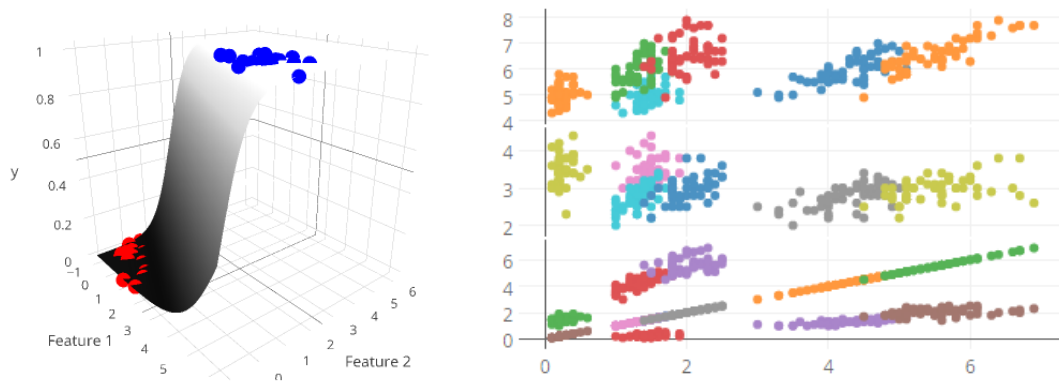


Fig. 52. Exemple dels possibles gràfics que es poden generar a partir de la llibreria plotly R 2.0. Gràfic 3d (esquerra) útil per representar 3 indicadors a la vegada; gràfic núvol de punts (dreta) útil per representar el creuament de 2 indicadors. Font: <https://plot.ly/feed/>.

Relative Number of 311 Complaints by City

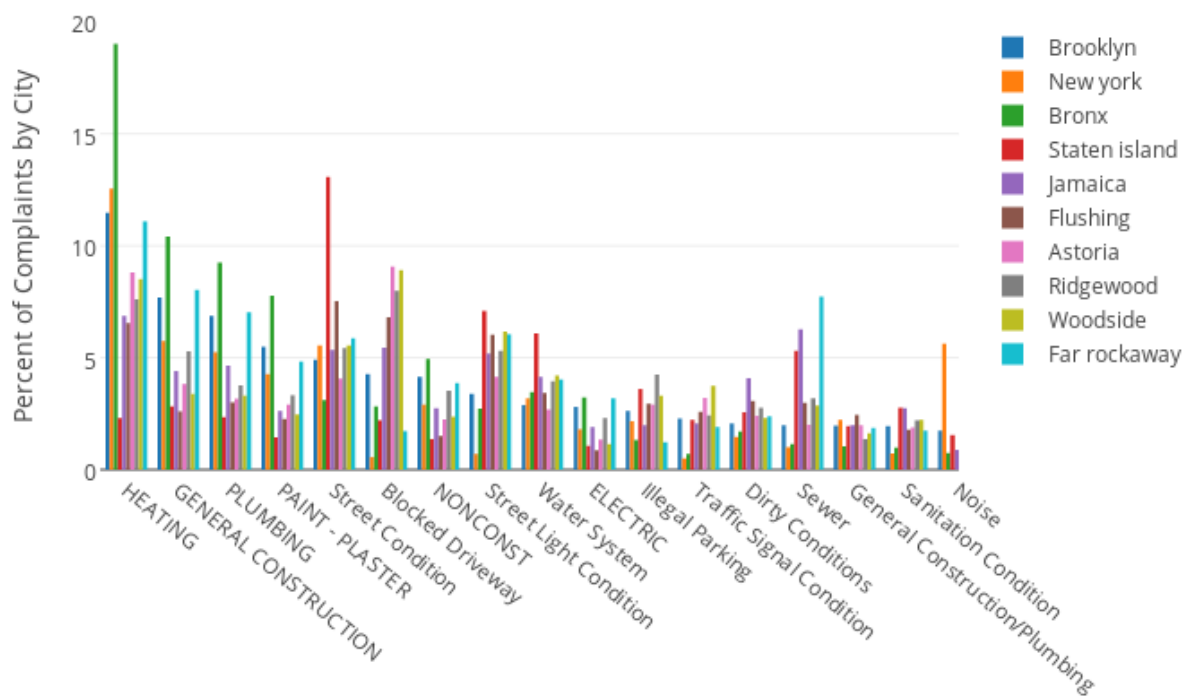


Fig. 53. Exemple dels possibles gràfics que es poden generar a partir de la llibreria plotly R 2.0. Gràfic de barres útil per representar el valor de cada escenari d'estudi o el impacte de cada etapa del cicle de vida atenent un escenari concret. Font: <https://plot.ly/feed/>.

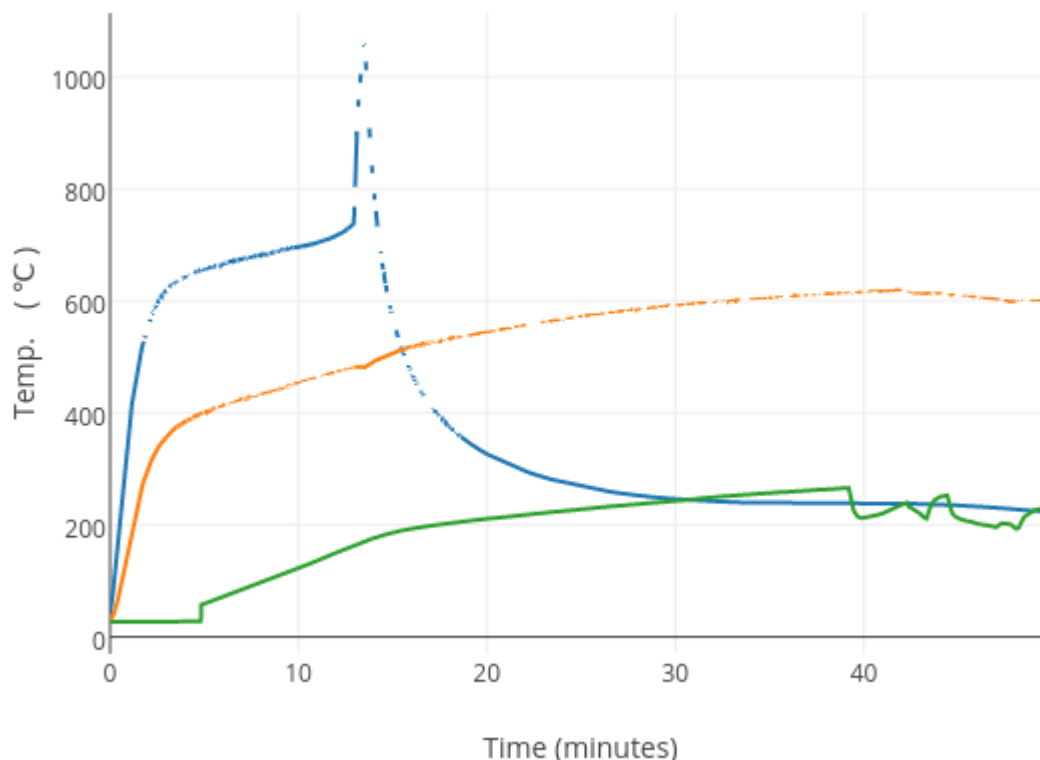


Fig. 54. Exemple dels possibles gràfics que es poden generar a partir de la llibreria plotly R 2.0. Gràfic de corbes de tendències útil per veure, per exemple, variacions tèrmiques.  
Font: <https://plot.ly/feed/>.

### 3.3. NECADA: integració del model al cloud computing – web service

#### 3.3.1. Arquitectura del model

El model ha estat preparat per treballar en escriptori, però un dels objectius es desenvolupar-lo en entorn web (OptiSim) per ser utilitzat via cloud service, per tal de treure el màxim rendiment al sistema i donar la màxima facilitat i usabilitat als usuaris no experts (entorn global NECADA).

El grup de treball ha desenvolupat una web on el client pot configurar els diferents escenaris i escollir els paràmetres a optimitzar.

A continuació s'explica l'arquitectura del servidor de l'aplicació de NECADA:

L'aplicació es recolza en un NAS (Network Attached Storage , emmagatzematge connectat en xarxa) en el qual es guarden totes les dades (projectes, experiments, fitxers model del cas estudi, fitxers de clima, etc.).

La solució software consta de:

- BuildingSim com model base del simulador.
- SDLPS: programa que interpreta el model BuildingSim
- Aplicació web (Optisim)
- OptisimDaemon - IDFPlugin: plugin que genera els diferents escenaris per ser simulats sota el model BuildingSim amb el SDLPS.
- ResultsParser: plugin que retorna els resultats \*.csv
- Energy Plus: NECADA 'in cloud' treballa principalment amb aquest motor de càlcul (arxiu model \*.idf).

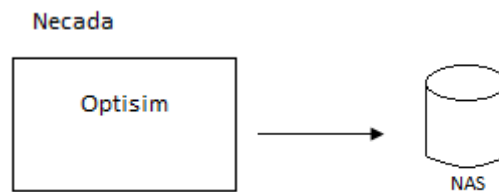


Fig. 55. Relació de Necada, la web OptiSim i el NAS de memòria. Font: elaboració pròpia.

Tot això es pot conformar en una màquina (real o virtual), el que permet escalar aquesta solució informàtica sense problemes (afegint més màquines, per exemple). Això és especialment rellevant perquè les simulacions poden ser complexes, en espai i / o temps d'execució.

A més, en tenir separada l'aplicació web (Optisim) de la part software que realitza les simulacions, permet no sobrecarregar al servidor d'aplicacions.

Un projecte es pot crear, elaborar i preparar des d'escriptori, utilitzant el model BuildingSim directament amb el SDLPS de gestor del procés, o es pot realitzar el procés mitjançant la web OptiSim, d'una forma més usable i senzilla.

Optisim és l'aplicació web amb la qual és possible afegir fitxers IDF (motor de càlcul EnergyPlus), fitxers de clima, definir nous projectes simulació d'eficiència energètica i executar-los. És una de les parts que componen Necada.

Per executar les simulacions, NECADA permet aixecar i executar màquines virtuals (ja sigui en el mateix servidor on corre Optisim o aixecant altres màquines físiques), de manera que tenim diverses màquines simultànies.

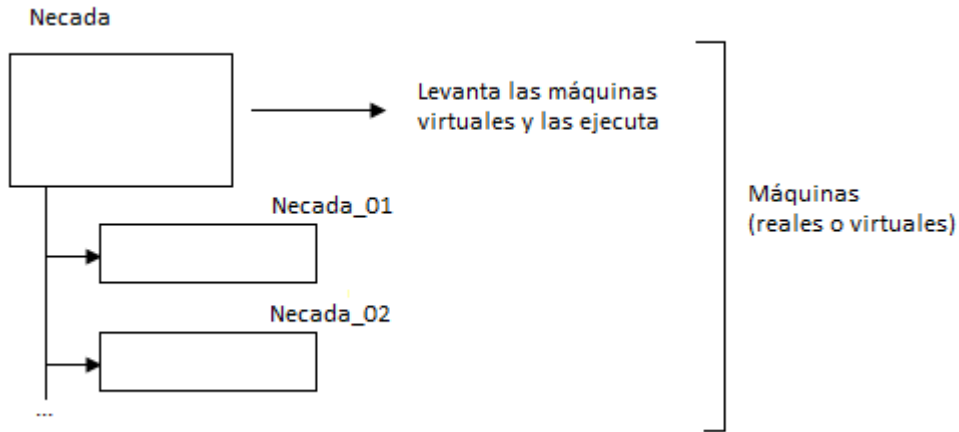


Fig. 56. Relació de NECADA amb les màquines virtuals. Font: elaboració pròpia.

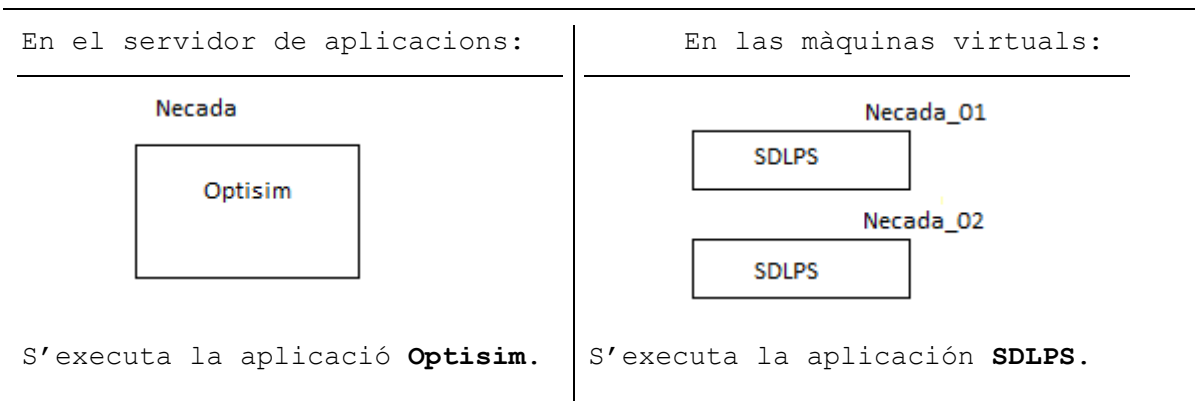


Fig. 57. Relació d'execució en el servidor i en les màquines virtuals. Font: elaboració pròpia.

Aquesta arquitectura pot funcionar perfectament en una única màquina física o en diverses màquines virtuals.

Optisim delega en el "daemon" **OptisimDaemon**, el qual genera l'estructura de carpetes necessàries en el NAS.

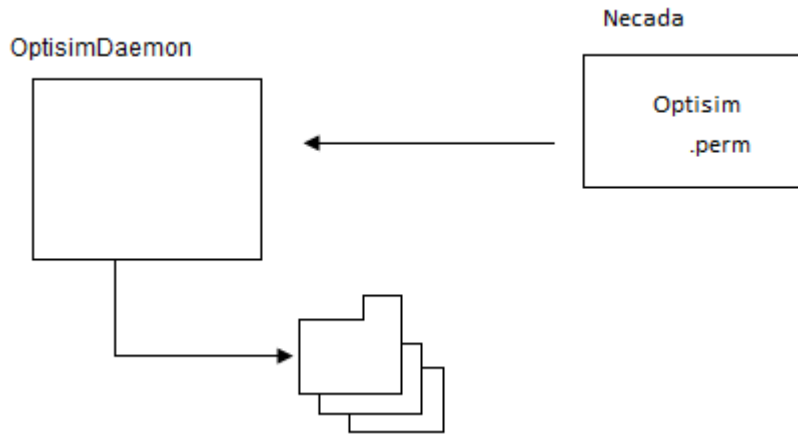


Fig. 58. Estructura de carpetes generades per 'OptimisDaemon'. Font: elaboració pròpia.

OptimisDaemon es basa en el fitxer de permutació, d'extensió .perm (explicat en l'apartat 3.2.3.), per generar aquesta estructura de directoris i els fitxers necessaris. Són les simulacions que s'han d'executar.

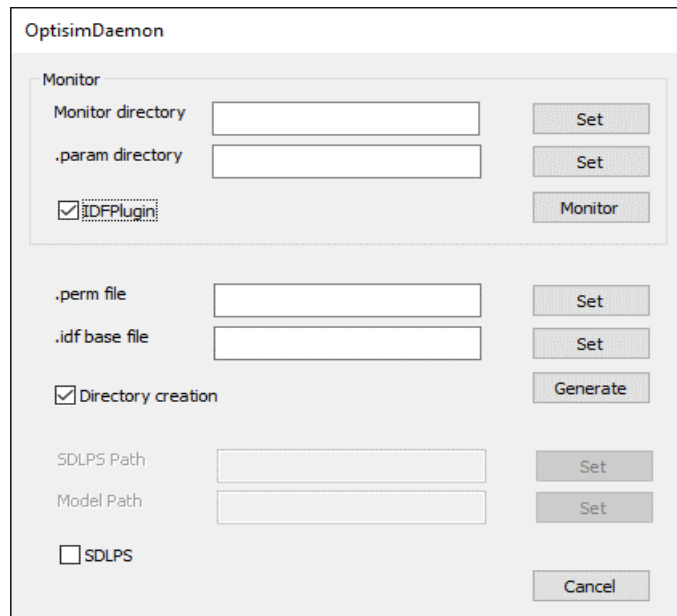


Fig. 59. Finestra de funcionament del 'OptimisDaemon'. Font: elaboració pròpia.

Una vegada que el connector IDFPlugin ha generat l'estructura de carpetes en el NAS, SDLPS s'encarrega d'executar la simulació. SDLPS escriurà els resultats en el NAS. Com es pot veure, tot es centralitza al NAS.

L'eina de co-simulació *in cloud* Necada es basa principalment amb el motor de càlcul termodinàmic EnergyPlus (mirar apartat 2.7.2.). Si es necessita utilitzar altres motors de càlcul, cal utilitzar la versió escriptori, és a dir, utilitzar directament el model BuildingSim i el SDLPS per l'execució.

El SDLPS, a mesura que veu que l'EnergyPlus genera els resultats, executa el connector ResultsParser el qual s'encarrega de guardar aquesta informació que interessa en un fitxer.

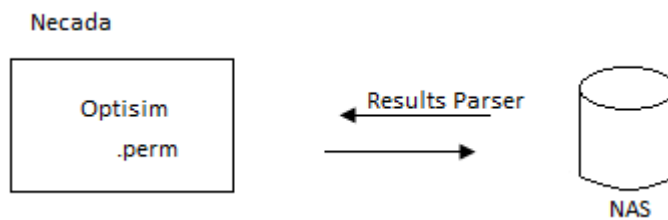


Fig. 60. Relació de les simulacions i resultats generats entre Necada i el NAS. Font: elaboració pròpia.

El procés de càlcul finalitza quan tots els escenaris definits hagin estat avaluats pel SDLPS, atenent l'algorisme de càlcul escollit.

NECADA permet preparar permutacions i escenaris tenint en compte:

- orientacions,
- zones climàtiques,
- diferents envolvents,
- solucions constructives
- determinats sistemes actius.

Si es vol simular a partir d'altres paràmetres, s'ha optat per permetre l'ús d'una estructura concreta, d'un identificador, per tal de que en el moment de generar els escenaris, les permutacions, reconegui el valor a permutar i es pugui modificar. La simbologia marca el inici i final de la part de codi que cal modificar = \$xxxx\$ = això s'ha de posar en l'arxiu \*.perm (en aquest cas cal preparar l'arxiu \*.perm en escriptori i després ser actualitzar al servidor web).

### 3.3.2. Funcionament

A continuació, es mostra un diagrama de l'arquitectura completa de NECADA i unes imatges explicatives sobre el seu funcionament:

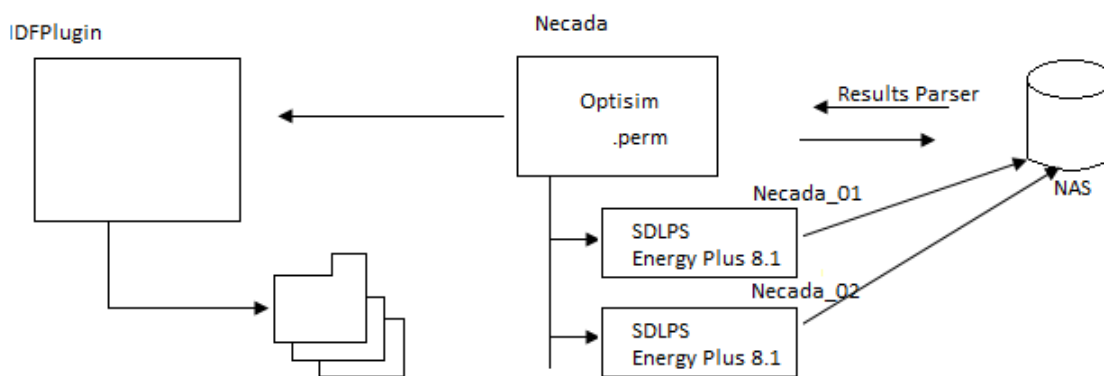


Fig. 61. Diagrama arquitectura Necada. Font: (Vila, 2016)

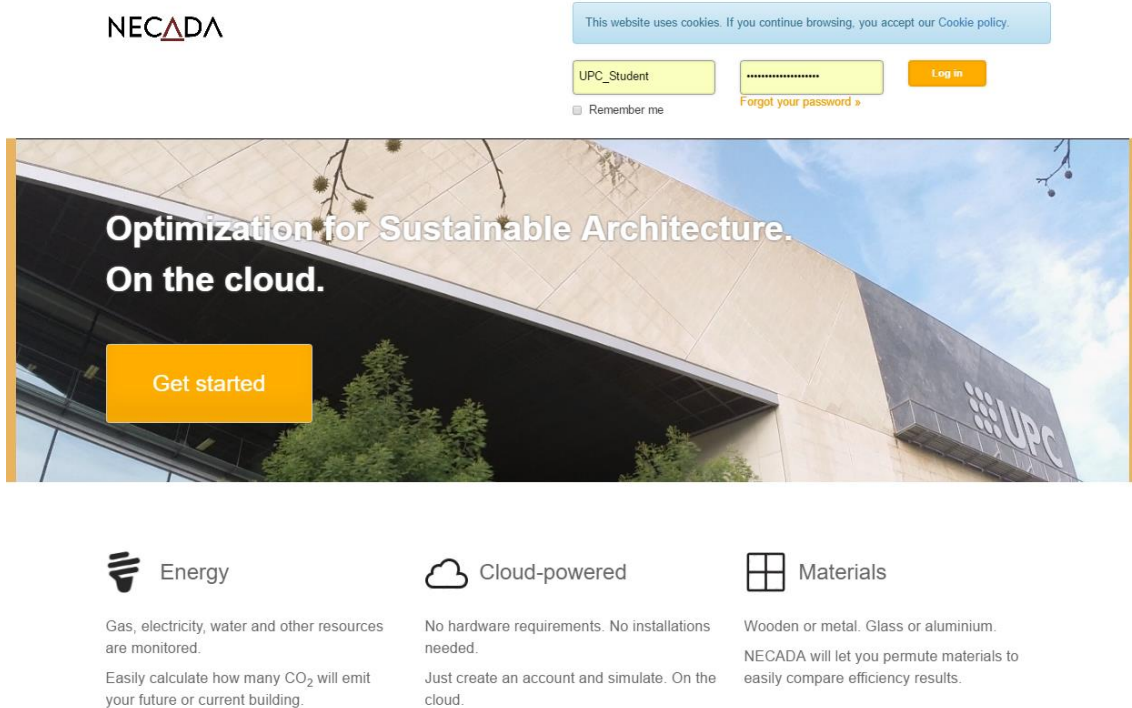


Fig. 62. Pàgina principal de NECADA. Font: www.necada.com.

1. Situació inicial:

Quan s'inicia l'aplicació de NECADA, es parteix d'una base de dades específica per usuari anomenada "Dashboard" mostrant els darrers projectes analitzats.

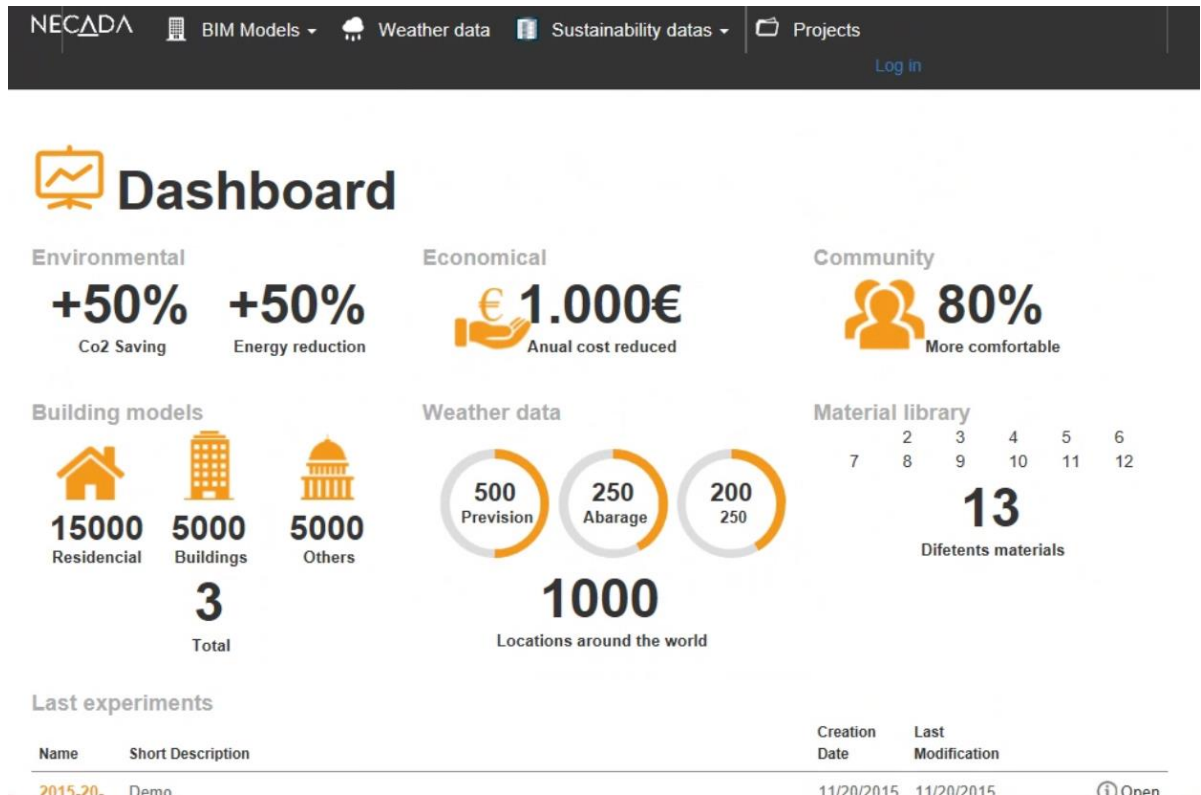


Fig. 63. DASHBOARD específic per usuari. Font: www.necada.com.

## 2. Importar arxiu IDF:

Quan s'obre aquest tipus d'arxiu es carrega en el projecte les característiques dels materials i les solucions constructives utilitzades.

### Building models

Upload a new one

Model file

Selected file: C:\EnergyPlusV8-1-0  
\ExampleFiles\CmplxGlz\_MeasuredDeflectionAndShading.idf

< Select an IDF model to upload or drag and drop it here.

Name

CmplxGlz\_MeasuredDeflectionAndShading

< Give it a name to easily identify it in the future.

Description

C:\EnergyPlusV8-1-0\ExampleFiles\CmplxGlz\_MeasuredDeflectionAndShading.idf

< Finally, describe it. This will allow you to remember what this model contains.

Make this model publicly available

< Choose whether your model will be publicly available or not.

 Upload model

Fig. 64. Pàgina on es puja l'arxiu IDF. Font: [www.necada.com](http://www.necada.com).

## 3. Afegir un fitxer de clima( weather):

És necessari treballar amb les característiques climatològiques concretes de la zona on estigui ubicat el nostre projecte a analitzar.



## Weather data

Upload a new one

### Weather file

Selected file:  
USA\_CA\_San.Francisco.Intl.AP.724940\_TMY3.ddy

< Select a weather data file to upload or drag and drop it here.

### Name

USA\_CA\_San.Francisco.Intl.AP.724940\_TMY3

< Give it a name to easily identify it in the future.

### Description

C:\EnergyPlusV8-1-0\WeatherData\USA\_CA\_San.Francisco.Intl.AP.724940\_TMY3.ddy

< Finally, describe it. This will allow you to remember what this weather data contains.

Make this weather data publicly available

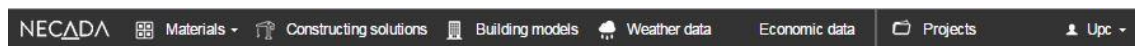
< Choose whether your weather data will be publicly available or not.

Upload Weather

Fig. 65. S'assigna l'arxiu de clima. Font: [www.necada.com](http://www.necada.com).

#### 4. Projecte:

Quan s'entra en l'apartat de 'projecte' es poden veure els diferents projectes creats i assignats per l'usuari (segons el rol de l'usuari es tindrà accés a projectes i determinats privilegis).









## Projects

Existing projects

+ Create a new one

My projects (3) Public library (0)

Name	Description	Creation date	Visibility	Latest modification	
(e)CO	3rd award in industrialization and viability market contest at Solar Decathlon Europe 2012. 1st award in sustainability GBCe Out of contest awards at Solar Decathlon Europe 2012.	13/01/2015 19:14	Publicly available	13/01/2015 19:18	  
MARIE	The study aims to provide the necessary management to be able to set the minimum criteria for energy rehabilitation, ensuring optimal levels from an energy and economic point of view, and propose solutions adapted to the particular building characteristics of Catalonia (climate and construction). Thereby, the overall objective of the project is to conduct a technical study of optimizing the energy rehabilitation of housing in Catalonia. The results will allow to use the knowledge gained to propose the minimum requirements for the energy efficiency of homes and assess how to gradually achieve near-zero energy buildings (NZEB).	14/01/2015 16:16	Publicly available	14/01/2015 16:18	  

5. Fig. 66. Opció “obrir projecte” de la web de Necada. Font: elaboració pròpia.

**4.1 Creació:**

El següent pas és crear al núvol de NECADA el cas d'estudi que es vol simular.

NECADA Materials Constructing solutions Building models Weather data Economic data Projects Upc

## Building models

Existing models [Upload a new one](#)

My models (1) Public library (0)

Name	Description	File	Test status	Validation status	Visibility	Latest modification
Baseline_TA_350_nv_perm	Tipologia unifamiliar aislada. Altura 3.5m.	Baseline_TA_350_nv_perm.idf	Not tested	Not validated	Private	16/01/2015 10:53

©2015. All rights reserved. [About](#) [Team](#) [Privacy policy](#) [Terms and conditions](#) [Contact](#) [Project](#)

Fig. 67. Opció “models de construcció” de la web de Necada. Font: elaboració pròpia.

**4.2 Assignar un “Building Model”:**

S'indicarà el tipus d'edifici amb el que es vol treballar.

**4.3 Assignar una nova “Constructing Solution” i materials:**

S'assignen les solucions constructives utilitzades que prèviament s'han carregat al sistema.

The screenshot shows the 'Materials' section of the NECADA web interface. The navigation bar includes 'Materials', 'Constructing solutions', 'Building models', 'Weather data', 'Economic data', 'Projects', and 'Upc'. A dropdown menu is open under 'Materials', listing options: 'Mass materials', 'No mass materials', 'Window blinds', 'Window gases', 'Window glazings', 'Window shades', and 'Simple glazing systems'. Below the menu, there are four input fields with labels and instructions: 'Name' (Name of your material), 'Comment name' (Comment name of your material), 'Optical data type' (Optical data type of your material), and 'Window glass spectral' (Window glass spectral of your material).

Fig. 68. Opció de “materials” de la web de Necada. Font: elaboració pròpia.

Als nous materials i/o solucions constructives es podran afegir els seus impactes ambientals i econòmics associats.

The screenshot shows the 'Material Environmental Indicators' page in the NECADA web interface. The navigation bar includes 'Sustainability dates' and 'Projects'. A dropdown menu is open under 'Sustainability dates', listing options: 'Material prices', 'Constructing solution prices', and 'Material Environmental Indicators'. The main content area is titled 'Material Environmental Indicators' and includes a sub-section 'Existing Material Environmental Indicators' with a '+ Create a new one' button. Below this, there is a 'Public library (0)' section with the text 'There aren't public Material Environmental Indicators.' The footer contains copyright information and links for 'About', 'Team', 'Privacy', 'Cookie policy', 'Terms', 'Contact', and 'Project'.

Fig. 69. Imatge on es carreguen els impactes associats. Font: www.necada.com.

#### 4.4 Assignar un fitxer de Clima( weather):

Es tria el model de clima característic del nostre projecte que ja s'ha afegit anteriorment a la plataforma.

#### 4.5 Crear experiments, assignar les permutacions i executar la simulació:

Es mostrarà com s'executa la simulació d'un experiment. Aquest procés comença a la part web, Optisim, i continua en la part servidor amb OptisimDaemon i SDLPS.

## Experiments

Experimento 1 (Proyecto Público)

← Details Permutations Execution Results

1 Queued 2 Preparing 3 Executing 4 Retrieving results 5 Completed

90 %

Your experiment has been executed and results are being retrieved.

Refresh

Fig. 70. Creació d'un experiment. Font: www.necada.com.

NECADA Materials Constructing solutions Building models Weather data Sustainability datas Projects

UPC\_22042016

## Experiments

22042016 (PassLink\_01)

← Details Permutations Execution Results

Examinar... No se ha seleccionado ningún archivo. Upload Your Own Permutation File

Executing parameters

**Force Brute**  Force Brute **Random**  Random

Limit: 10

**Hill Climbing**  Hill Climbing **Annealing**  Annealing

Limit: 10

Temperature: 10

Save changes

Add New Permutations

+ New Solution + New Weather + New Model + New Orientation + New Constant

energy+ Group

bcn [weather]

ESP\_Barcelona.081810\_SWEC.epw

Fig. 71. En aquesta finestra és on es poden introduir les diferents permutacions i escollir l'algorisme d'optimització desitjat. Font: www.necada.com.

#### 4.8 Generar resultats:

Els resultats de NECADA s'ofereixen amb un arxiu XML que es pot descarregar per després ser analitzats i passar a la fase de post-processat de dades (anàlisi estadístic dels resultats).

També es poden visualitzar en web per una verificació directa i ràpida.

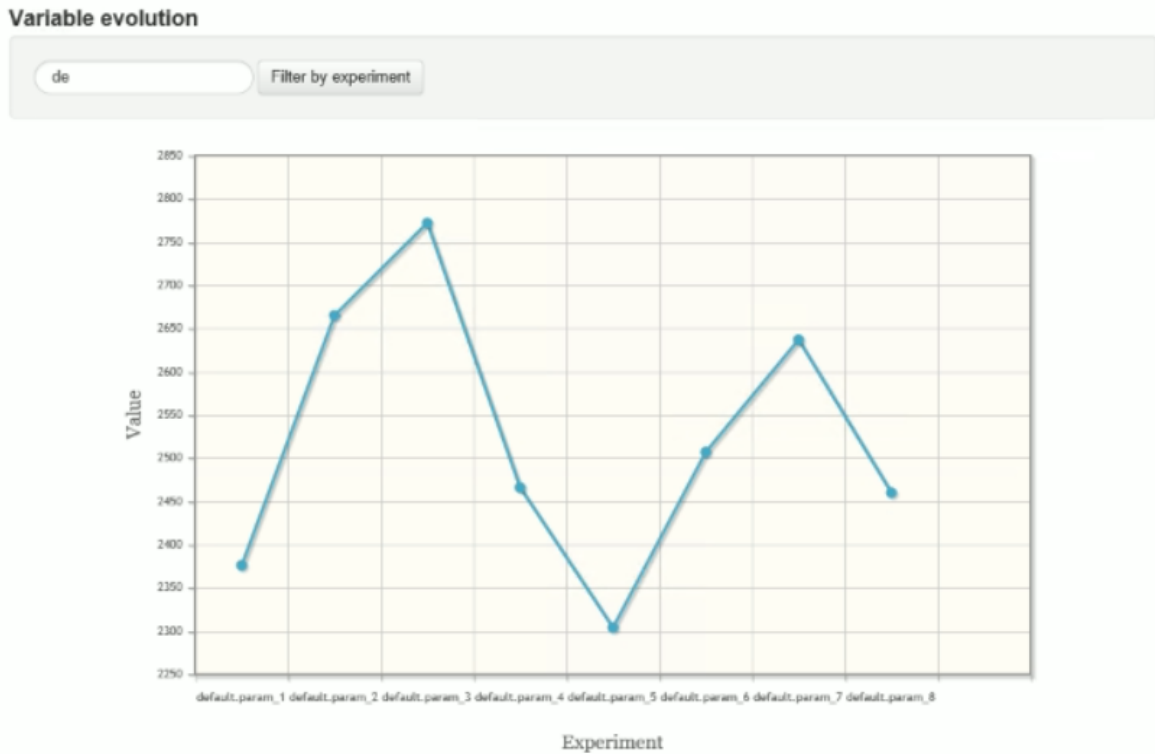


Fig. 72. Exemple resultat d'un estudi de cas realitzat amb l'entorn NECADA (projecte ACE – veure 4.3). Font: [www.necada.com](http://www.necada.com).

L'entorn NECADA utilitza la mateixa llibreria que el simulador BuildingSim per generar els resultats, plotly R 2.0. Es podran veure gràfics resultants en el següent apartat del document '4. Estudi de casos'.

### 3.4. VERIFICACIÓ DEL MODEL

Per tal de verificar el correcte funcionament del model s'ha participat en varis projectes nacionals i internacionals (veure apartat següent 4.Estudi de casos).

Tot i així, a continuació, es presenta un cas concret, senzill, per tal d'exemplificar el funcionament del model.

#### 3.4.1. INTRODUCCIÓ

L'edifici d'estudi és un espai de 2,5 x 2,5 x 5 m fortament aïllat en la seva envoltant (transmitància tèrmica < 0,1 W/m<sup>2</sup>.K) exceptuant la façana principal, orientada al sud on s'avaluarà diferents gruixos d'aïllament i diferents tipus de vidres (finestra centrada de 1x1m).

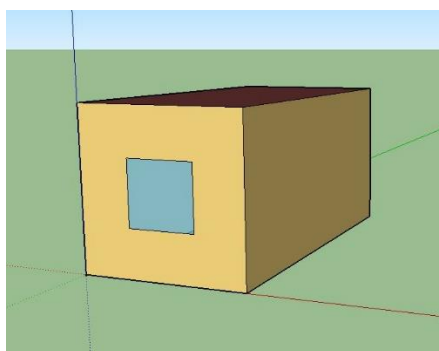


Fig. 73. Espai d'estudi on es mostra la façana principal amb la finestra que servirà per generar els diferents escaris. Font: elaboració pròpia.

Per aixecar la construcció en format informàtic s'utilitza el programa lliure OpenStudio. Després s'importa en format \*.idf, fitxer de càlcul per energypplus, que serà utilitzat com a base per les simulacions.

Taula 35. Característiques dels elements de la façana d'estudi. Font: Elaboració pròpia.

Façana de bloc de formigó + EPS (poliestirè expandit)		Finestra practicable d'alumini	
Descripció	Transmitància tèrmica U (W/m <sup>2</sup> .K)	Descripció	Transmitància tèrmica U (W/m <sup>2</sup> .K)
EPS 4 cm	0,59	Vidre senzill 6 mm	5,7
EPS 10 cm	0,3	6+12+6	2,7
EPS 15 cm	0,21	4+12+4	1,74
EPS 20 cm	0,16	8+12+10	1,1

És fan dos tipus de mostreig:

- Combinacions sorgides al permutar els diferents gruixos de l'aïllament de la façana principal i els diferents tipus de vidre. Total d'escenaris d'estudi = 16.
- Escenaris on es permuta, a part de la part opaca i finestres, també l'orientació amb 4 angles diferents (0, 90, 180 i 270 graus) i 3 zones climàtiques (Madrid, Barcelona i Sevilla). Per tant, el mapa de mostres genera un total de 192 escenaris diferents.

### 3.4.2. OBJECTIUS

En aquest estudi de cas, l'avaluació serà a nivell d'impacte ambiental i econòmic, donat que no es disposen de dades dels impactes socials.

Amb aquest treball s'intenta:

- Verificar el correcte funcionament del model BuildingSim amb el programa SLDPS i la relació amb la BBDD.
- Verificar la robustesa del sistema.
- Validar l'eficiència del model a nivell de rapidesa en generació de les simulacions i recollida de resultats.
- Depurar possibles errors en el codi.

En cap cas, l'objectiu de l'estudi és realitzar l'anàlisi específic dels resultats sorgits de les simulacions, a nivell dels impactes.

### 3.4.3. METODOLOGIA

Per avaluar els impactes relacionats s'utilitza la base de dades del ITEC-BEDEC (fases extracció i construcció).

El motor de càlcul utilitzat serà el Energyplus per tal de calcular la demanda energètica necessària. Confort considerat: temperatura = 21 °C i HR = 50%. Anàlisi de la fase d'ús i manteniment al llarg de 30 anys de vida.

En aquest cas, s'utilitzarà el procés de càlcul 'força bruta' per generar tots els escenaris (donat l'escàs mapa de la mostra).

Després d'aixecar l'espai i tenir l'arxiu \*.idf de base, es prepara l'arxiu \*.perm per crear el mapa d'escenaris i combinacions necessaris.

```

1  <?xml version='1.0' encoding='utf-8'?>
2  <permutation type="energy+">
3  <headers>
4      <header name="user" value="ITEC@itec.cat"/>
5      <header name="project" value="123456"/>
6      <header name="surface" value="12,5"/>
7  </headers>
8  <algorithms>
9      <algorithm name="ForceBrute" active="0" />
10     <algorithm name="HillClimbing" active="1" limit="10" />
11     <algorithm name="Annealing" active="1" temperature="10" limit="10" />
12     <algorithm name="Random" active="1" size="10" />
13 </algorithms>
14 <group>
15     <variable name='bcn' type='weather'>
16         <value>ESP_Barcelona.081810_SWEC.epw</value>
17         <value>ESP_Madrid.082210_SWEC.epw</value>
18         <value>ESP_Sevilla.083910_SWEC.epw</value>
19     </variable>
20 </group>
21 <group>
22     <variable name="orientation" type="orientation">
23         <value>0</value>
24         <value>90</value>
25         <value>180</value>
26         <value>270</value>
27     </variable>
28 </group>

```

Fig. 74. Arxiu \*.perm on es mostra els possibles algorismes a utilitzar, les diferents zones climàtiques i orientacions. Font: elaboració pròpia.

Com s'observa en la següent figura, en l'arxiu \*.perm s'anoten els valors dels impactes per a cada solució constructiva.

```

329 </material>
330 <material name="paret_opaca" solution="Fachada_eps20" project="passys_eps_fin_perm">
331 <prices>
332 <price name="construction" units="EUR/m2">42,95</price> <!--A123-->
333 <price name="transportation" units="EUR/m2"></price>
334 </prices>
335 <indicators>
336 <indicator name="global_warming_potential" units="(Kg CO2-equivalents/m2)">80,68</indicator>
337 <indicator name="destruction_of_the_ozonelayer" units="(Kg CFC-11-equivalents/m2)"></indicator>
338 <indicator name="acidification_of_land_and_water" units="(Kg SO2-equivalents/m2)"></indicator>
339 <indicator name="eutrophication" units="(Kg PO2-equivalents/m2)"></indicator>
340 <indicator name="formation_of_tropospheric_ozone" units="(Kg C2H2-equivalents/m2)"></indicator>
341 <indicator name="radioactive_waste" units="(Kg/m2)"></indicator>
342 <indicator name="renewable_primary_energy_use_by_nonrenewable" units="(MJ/m2)">554,88889</indicator>
343 <indicator name="use_of_freshwater_resources" units="(m3/m2)"></indicator>
344 <indicator name="use_of_renewable_by_nonrenewable" units="(Kg/m2)"></indicator>
345 <indicator name="resource_use_Recycled_by_reused" units="(Kg/m2)"></indicator>
346 <indicator name="materials_for_Recycling_or_energy_recovery" units="(Kg/m2)"></indicator>
347 <indicator name="hazardous_and_nonhazardous_for_final_disposal" units="(Kg/m2)">13,14</indicator>
348 </indicators>
349 <physics>
350 <physic name="square_meter" unit="m2">6,25</physic> <!--kg, m3, unidad, m2, ml-->
351 </physics>

```

Fig. 75. Arxiu \*.perm on es mostra els impactes econòmics i ambientals relacionats amb la solució constructiva amb aïllament eps de 20 cm. Font: elaboració pròpia.

Es pot veure que falten moltes dades d'impactes ambientals per falta de valors en la BBDD utilitzada.



Un cop generat l'arxiu \*.perm es passa a realitzar les simulacions utilitzant el programa SDLPS i amb el model BuildingSim. Es generen les carpetes i subcarpetes necessàries i finalment es llencen totes les simulacions mostrant el resultats.

### 3.4.4. RESULTATS

Es creen els arxius \*.csv resultants de les simulacions, l'específic pels materials i per les solucions constructives.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	titles,"solution",	"construction",	"transportation",	"global_warming_potential",	"destruction_of_the_ozonelayer",	"acidif		
2	Aislante_eps4,"Fachada_eps4",	NA,NA,"100.78",	NA,NA,NA,NA,NA,"709.0741",	NA,NA,NA,NA,"1.21",	"5.25"			
3	paret_opaca,"Fachada_eps4",	"42.95",NA,"80.68",	NA,NA,NA,NA,NA,"554.88889",	NA,NA,NA,NA,"13.14",	"5.25"			
4	vidrio_6,"window_6",	NA,NA,"876.7",	NA,NA,NA,NA,NA,"6688.778",	NA,NA,NA,NA,"0.106644",	"1"			
5	total,NA,"225.4875",	"0",NA,"1829.365",	"0",NA,"0",NA,"0",	NA,"13324.5836975",	"0",NA,"0",	NA,"0",	NA,"75.444144",	"11.5"

Fig. 76. Arxiu \*.csv pels materials on es mostren els resultats per a cada escenari. Font: elaboració pròpia.

Els valors que s'obtenen de resultats són:

- Impacte econòmic:
  - Construcció (€/m2)
  - Cost energètic ús (€/m2)
- Impacte ambiental:
  - Construcció: global\_warming\_potential (KgCO2/m2)
  - Construcció: renewable\_primary\_energy\_use\_by\_nonrenewable (MJ/m2)
  - Construcció: hazardous\_and\_nonhazardous\_for\_final\_disposal (Kg/m2)
  - Manteniment: Cost energètic (Kwh)
  - Manteniment: Cost CO2 (€/m2)
  - Manteniment: residus radioactius (mg/m2)

La taula següent relaciona els escenaris obtinguts:

Taula 36. Relació dels diferents escenaris simulats segons les característiques constructives. Font: Elaboració pròpia.

Escenaris	Tipus de vidre	Tipus d'aïllament	Escenaris	Tipus de vidre	Tipus aïllament
s1	6	eps 4	s9	4+12+4	eps 4
s2		eps 10	s10		eps 10
s3		eps 15	s11		eps 15
s4		eps 20	s12		eps 20
s5	6+12+6	eps 4	s13	8+12+10	eps 4
s6		eps 10	s14		eps 10
s7		eps 15	s15		eps 15
s8		eps 20	s16		eps 20

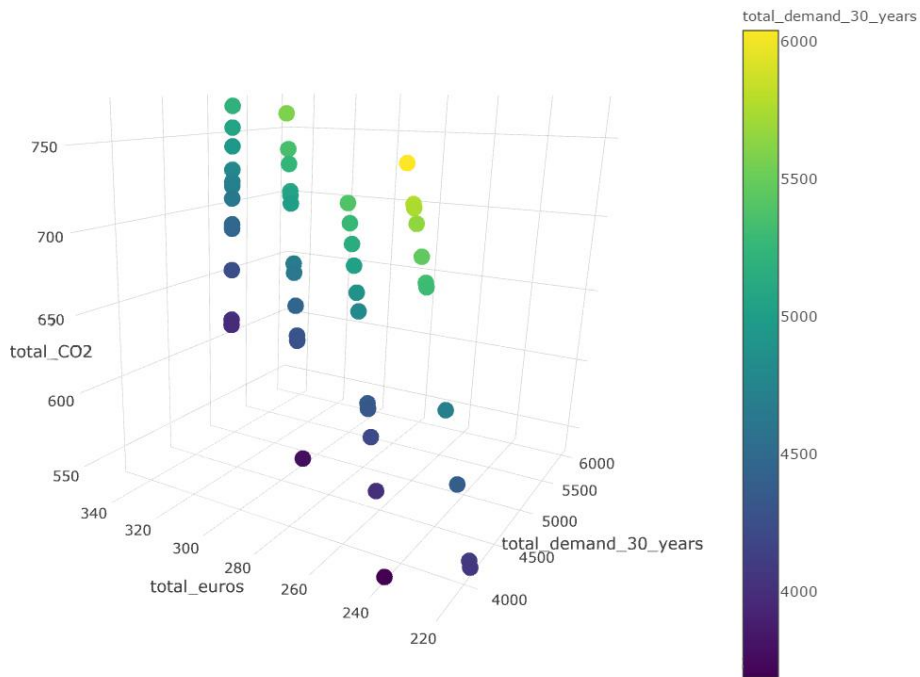


Fig. 77. Gràfic 3D generat amb la llibreria Plotly. Relació del impacte del CO2 (KgCO2/m2), cost econòmic (€/m2) i demanda energètica (Kwh/m2) per 30 anys, referents a 48 escenaris (combinacions entre solucions constructives, orientacions 0, 90,180 graus i zona climàtica Barcelona).. Font: elaboració pròpia.

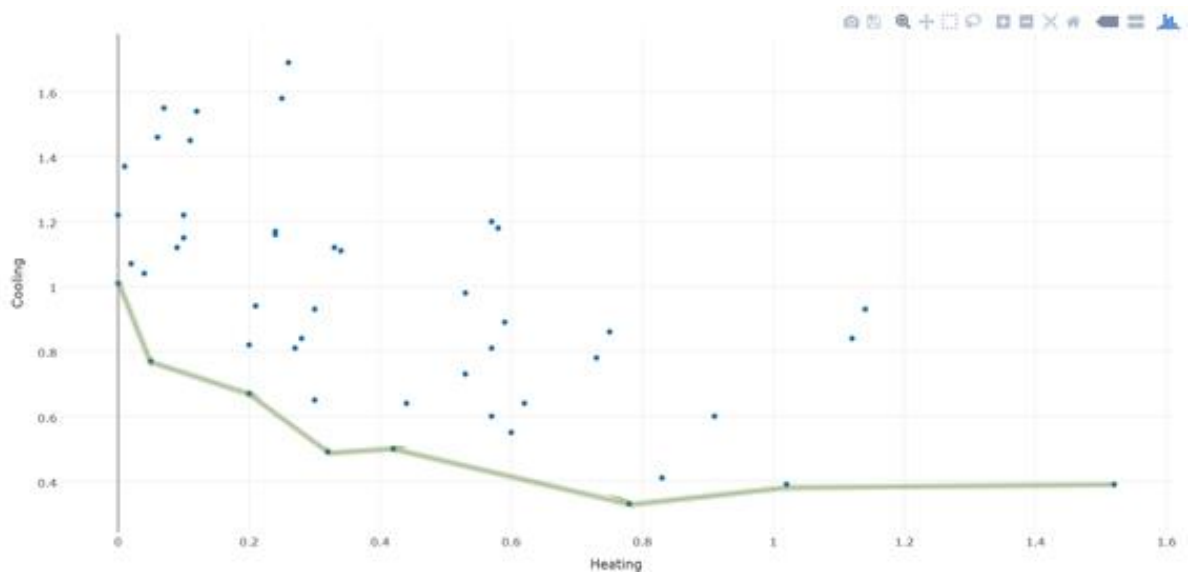


Fig. 78. Gràfic generat amb la llibreria Plotly. Calefacció (Kwh/m2) i refrigeració (Kwh/m2) referents a 48 escenaris (combinacions entre solucions constructives, orientacions 0, 90,180 graus i zona climàtica Barcelona). Font: elaboració pròpia.

En el gràfic anterior es pot veure la corba òptima de pareto. Els gràfics generats per la llibreria plotly són interactius, per tant, permeten veure quins són els escenaris de la corba

òptima evaluant el gràfic directament. Es disposa d'una barra de treball, a la part superior dreta, que possibilita fer modificacions visuals al gràfic.

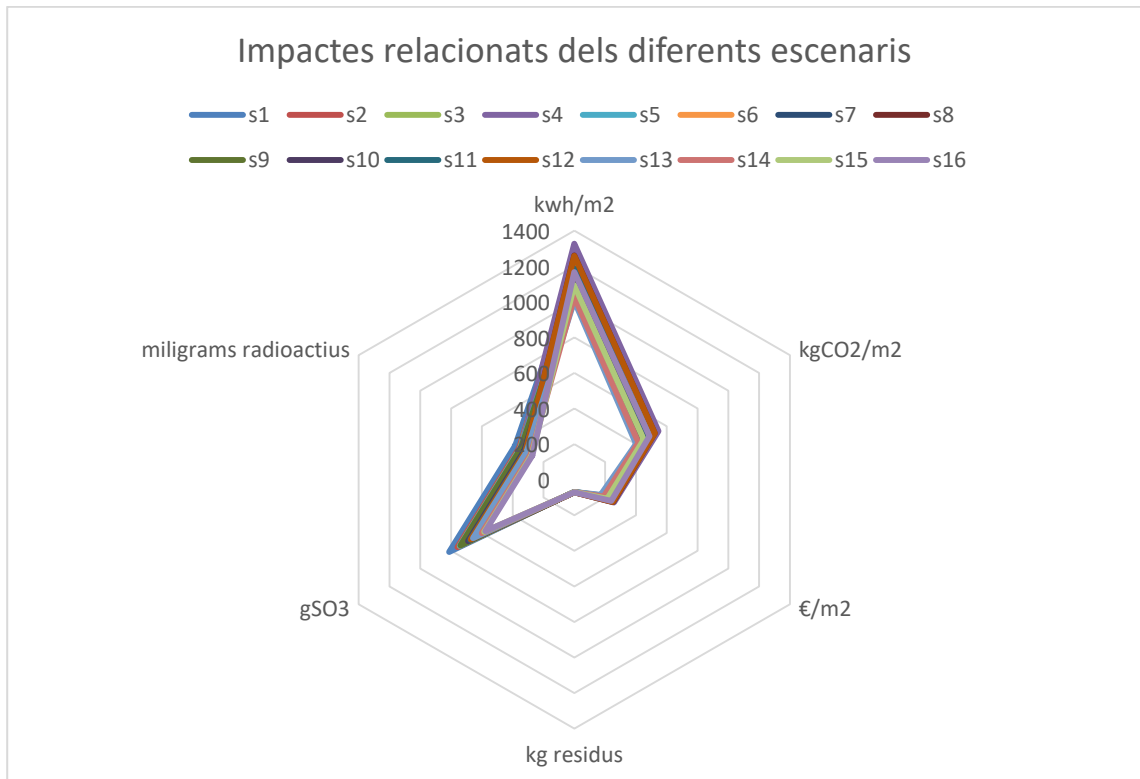


Fig. 79. Gràfic ameba on es mostren els resultats dels 16 escenaris simulats (orientació base i zona Barcelona). Font: elaboració pròpia.

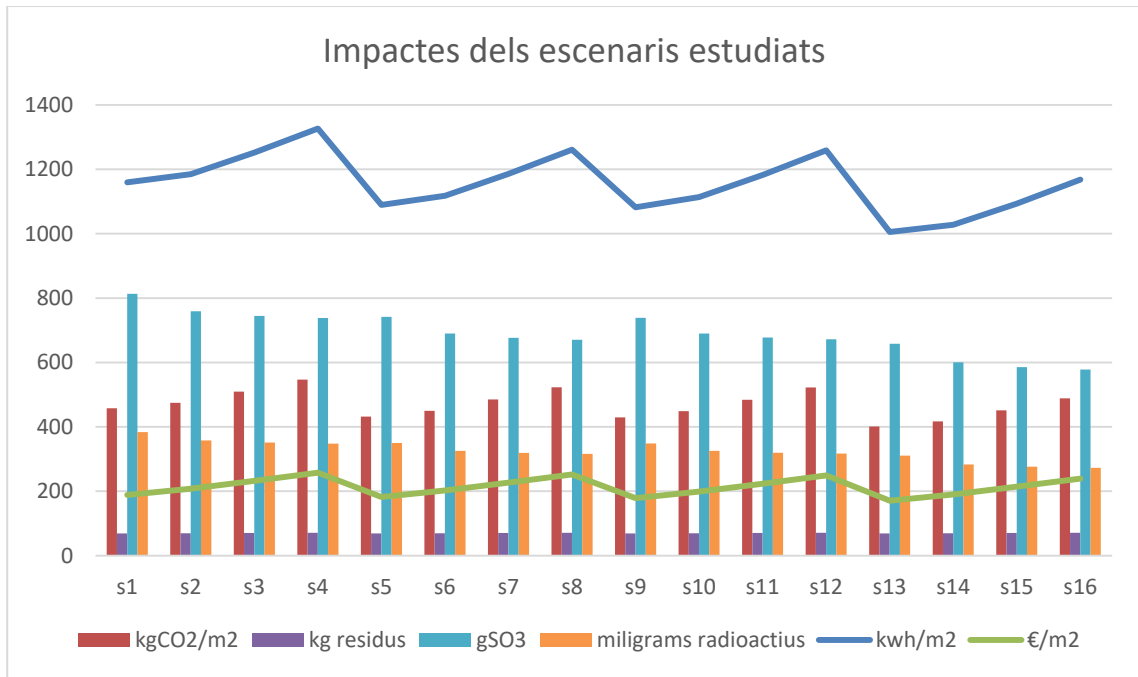


Fig. 80. Gràfic generat per la llibreria Plotly. Es mostren els resultats dels 16 escenaris estudiats (orientació base i zona Barcelona). Font: elaboració pròpia.

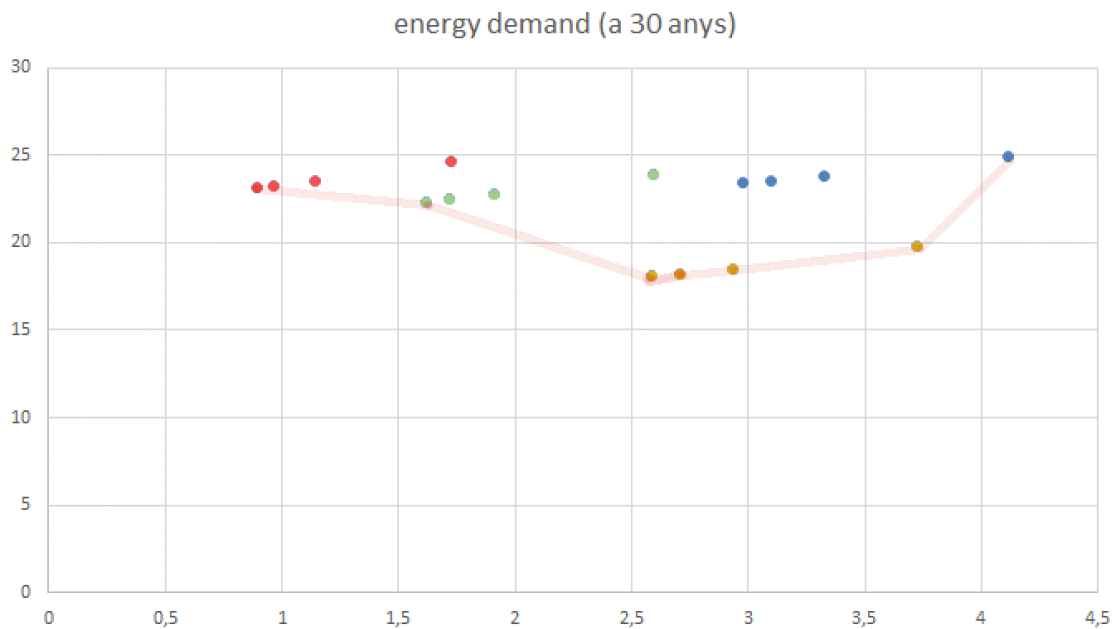


Fig. 81. Gràfic on es mostren els resultats dels 16 escenaris simulats (orientació base, zona climàtica Barcelona). Eix X = calefacció (Kwh/m2), Y = refrigeració (Kwh/m2). Vidre 6 mm = color blau, vidre 6+12+6 = color verd, vidre 4+12+4 = color vermell i vidre 8+12+10 = color taronja. Font: elaboració pròpia.

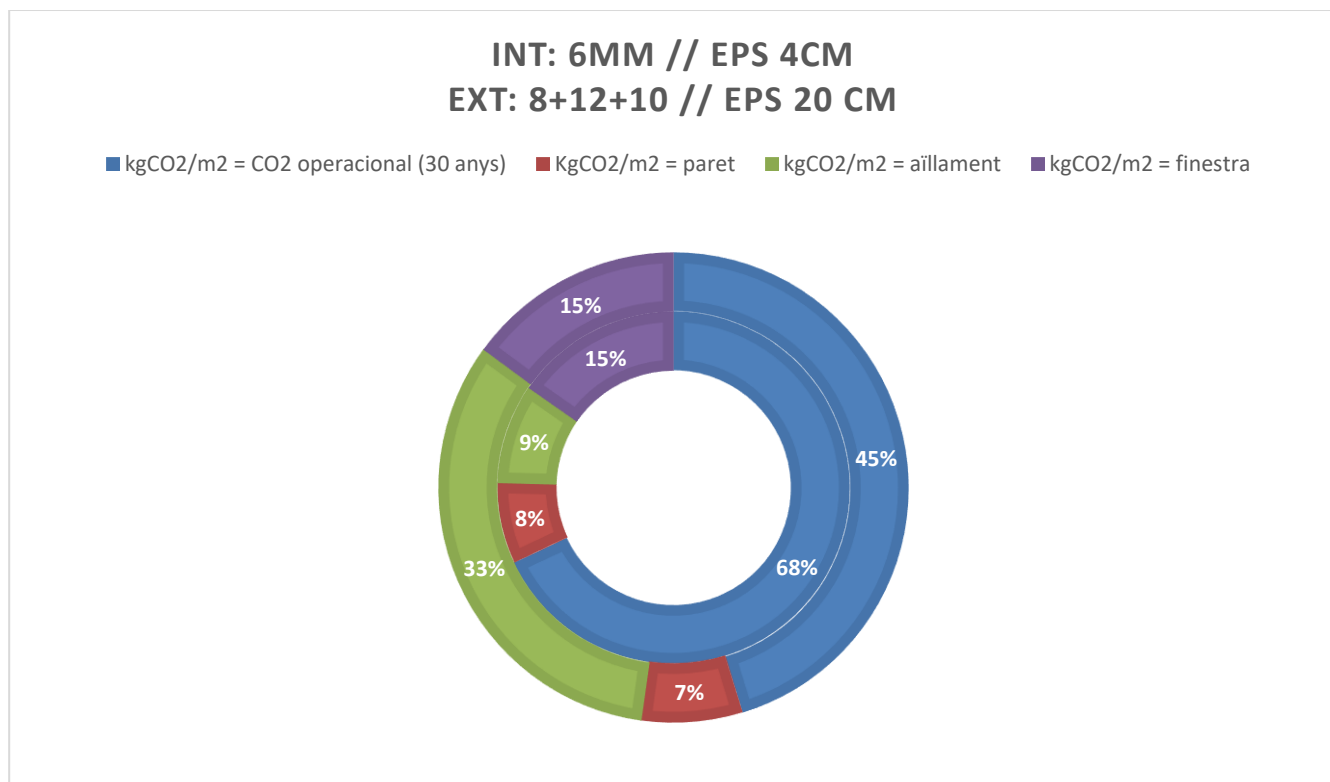


Fig. 82. Gràfic circular on es compara els resultats de l'escenari base (vidre senzill 6mm amb aïllament eps 4 cm) i escenari amb màxim aïllament i vidre amb menor transmissió tèrmica (vidre 8+12+10 i eps 20 cm).  
Font: elaboració pròpia.

En el gràfic anterior, es comprova que per l'escenari base, el impacte en relació a la part constructiva és menor però suposa un cost energètic de manteniment superior en relació al cas amb un aïllament màxim.

### 3.4.5. CONCLUSIONS

Les principals conclusions a que s'arriben són:

- Ús del sistema senzill i intuïtiu. Ha generat tots els processos necessaris per realitzar les simulacions i mostrar els resultats.
- Rapidesa d'execució. El model permet dedicar el major temps possible a analitzar els resultats.
- Els processos de càlcul i generació de resultats són transparents pel client.
- Es constata el problema que hi ha en trobar dades mediambientals i socials.
- Depenent de l'estudi de cas, la recollida de dades pot ser lent i laboriós. Cal mesurar acuradament el cost de inversió de temps.

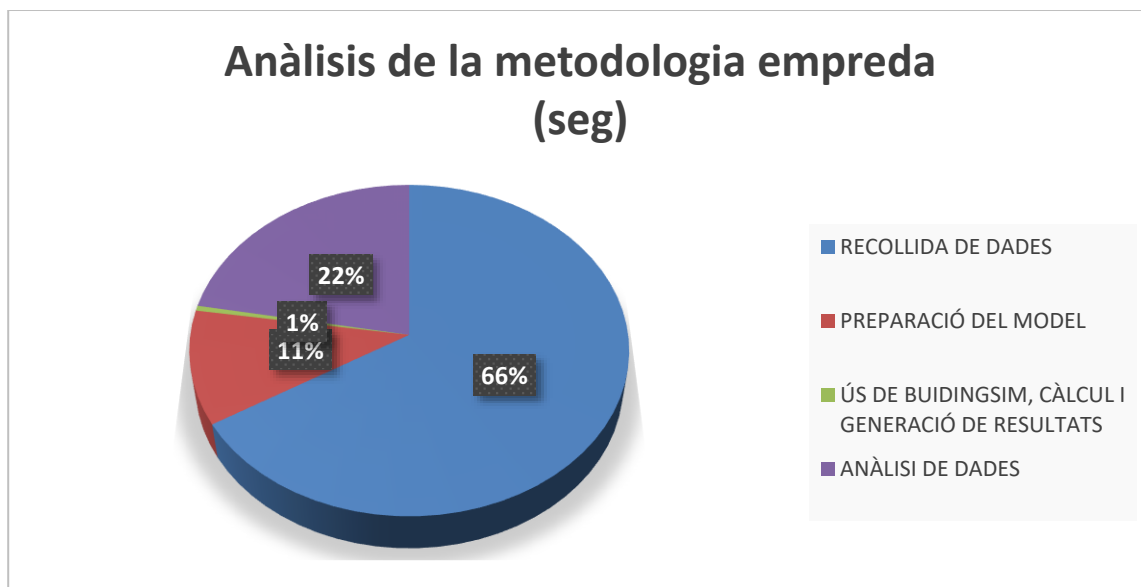


Fig. 83. Figura on es mostra la comparativa de temps necessari en els diferents processos realitzats per fer l'estudi. Font: elaboració pròpia.

### 3.5. CONCLUSIONS GENERALS

BuildingSim és el model 'brain' del simulador que permet l'ús de diferents motors de càlcul (amb un entorn de co-simulació) i, sota els paràmetres de la normativa de sostenibilitat en la construcció proposada per la comunitat europea, és capaç de realitzar l'optimització atenent els impactes ambientals, econòmics i socials.

Les principals dificultats trobades en el procés de desenvolupament han estat:

- Plantejament global del model per tal de preparar el sistema per una desenvolupament continu en el temps.
- Definició de tots els paràmetres que intervenen en el model.

S'ha aconseguit els següents objectius:

- Utilitza la normativa de sostenibilitat CEN/TC 350.
- BBDD específiques amb els impactes ambientals, econòmics i socials
- Estructura de la BBDD preparada per realitzar l'anàlisi complet del cicle de vida.
- Es basa en un model formal gràfic SDL que permet ampliar els components directament, sense conflictes a la part de programació i es pot integrar amb altres llenguatges formals tipus cadenes de petri o devs.
- Permet treballar varis grups de investigació en el mateix model sense possibilitats de solapament de processos entre ells.
- Integració de varis motors de càlcul i d'algorismes d'optimització amb possibilitat d'integrar-ne de nous per la seva avaluació.
- Anàlisi de resultats mitjançant R. Gran potencialitat d'anàlisi 'big data'.

A continuació, a mode de resum, es mostra una taula comparativa dels diferents programes existents davant el co-simulador desenvolupat en aquesta tesi doctoral.

**Taula 37. Comparativa dels diferents sistemes de co-simulació i simuladors d'optimització energètica. Font: Elaboració pròpia.**

	Motor de càlcul	Parametrització	OPTIMITZACIÓ	Càlcul Paral·lel	Multi-variable	Multi-criteri	Interface de dibuix	Interface usuari
<b>EnergyPlus</b>	E+	No (existeix "plug-in")	No	No	No	No	No (sí amb OpenStudio)	Sí (editor IDF)
<b>JEPlus</b>	E+	sí	No (en desenvolupament)	No	Sí	No	No	Sí (local)
<b>GenOpt</b>	E+, trnsys	sí	Sí	sí	Sí	Sí	No	Sí (local)
<b>BeOpt</b>	E+, trnsys	sí (màxim 37,500)	Sí (seqüencial)	no	Sí	Sí (energia i cost eco.)	Sí (certes limitacions)	Sí (local)
<b>OptePlus</b>	E+, trnsys	no	Sí	no	Sí	No	No	
<b>Dakota</b>	són algorismes d'optimització					sí	no	no
	Motor de càlcul	Parametrització	OPTIMITZACIÓ	Càlcul Paral·lel	Multi-variable	Multi-criteri	Interface de dibuix	Interface usuari
<b>BCVTB</b>	E+ / Trnsys/ Radiance	Sí	GenOpt	Sí	Sí	Sí (en procés)	Simergy	Sí (local)
<b>BuildingSim Necada</b>	E+ / Trnsys R OpenFoam	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No (sí amb programa extern)	Sí (web i local)

Taula 38. Comparativa dels diferents sistemes de co-simulació i simuladors d'optimització energètica. Font: Elaboració pròpia.

	Llenguatge de programació	Recollida de resultats	licència	NOTES	Font
<b>EnergyPlus</b>	Fortran 90	HTML i gràfic + tabla *.csv	gratuïta (accés al codi)	motor de càlcul base	(Energy, EnergyPlus Energy Simulation Software, 2012)
<b>JEPlus</b>	java	tabla *.csv	lliure per investigació		(Zhang, 2013)
<b>GenOpt</b>	java	input i output arxiu de text	gratuïta, cal conformitat		(GenOpt, 2011)
<b>BeOpt</b>	java	gràfiques	lliure		(BeOpt, 2012)
<b>OptePlus</b>				per terciari	(Laboratory, 2011)
<b>Dakota</b>	C++		lliure		(Sandia Corporation, 2015)
	Llenguatge de programació	Recollida de resultats	licència	NOTES	Font
<b>BCVTB</b>	SIMULINK/ C++	MATLAB	comercial	És de pagament; llenguatge no estàndard	(Building Technologies Department, 2012)
<b>Building OptiSim NECADA</b>	SDL (llenguatge formal, gràfic no ambigu) C++	SDLPS / EYE / R	-	ACV edifici + Redefinició de dades meteorològiques + Compensació energètica	desenvolupament propi autor www.necada.com

Tal i com s'ha explicat, dins del sistema NECADA, el model BuildingSim ha estat integrat en un entorn web, OptiSim, per tal de facilitar l'usabilitat i que els clients no especialitats puguin fer ús del servei; facilitant al màxim la transparència del sistema i oferint la màxima potencialitat per tal de que els clients puguin generar multitud d'escenaris i, en cas necessari, utilitzar el servei cloud amb una major potència de càlcul.

Com s'explica en l'apartat '6. Línies de desenvolupament futur', s'estan realitzant i desenvolupant nous processos en el model i en l'entorn web per dotar de noves funcionalitats a tot el sistema.



## 4. ESTUDI DE CASOS

---

En aquest capítol es presenten els diferents estudis de casos en els quals el model ha estat aplicat i s'ha participat per a la resolució de projectes.

La participació en aquests projectes ha permès validar el model en diferents aspectes concrets que han estat publicats en revistes indexades del sector.

### 4.1. SOLAR DECATHLON (2010-2012)

Aquest estudi de cas ha estat publicat a la següent revista indexada: **Advances in Engineering Software, Elsevier, 2014**: "Formal simulation model to optimize building sustainability". DOI: 10.1016/j.advengsoft.2013.12.009.

#### 4.1.1. INTRODUCCIÓ

Per validar el disseny del model del co-simulador BuildingSim desenvolupat, la primera experiència en l'aplicació d'aquest va ser el projecte LOW 3 (Low3, 2010), projecte prototip presentat al concurs del Solar Decathlon 2010 (Fonseca, Pau; Fonseca, Antoni, 2012), per l'Escola Superior d'Arquitectura de Sant Cugat del Vallès (UPC).

La casa solar té com a objectiu ser independent de la necessitat energètica activa, i, mitjançant l'anàlisi del cicle de vida dels materials utilitzats i, atenent un concepte adaptable a canvis d'usos, crea un nou concepte d'habitatge sostenible.

El concepte bioclimàtic de baix consum energètic s'uneix a un baix impacte ambiental de l'edifici durant el seu cicle de vida, com a unes solucions constructives i tecnològiques de baix cost, perfectibles en el transcurs de la seva vida útil.

El concepte LOW3 neix de LOW ENERGY + LOW IMPACT + LOW COST.

LOW ENERGY : En la base d'una arquitectura solar i gràcies a l'optimització bioclimàtica, es minimitza la demanda energètica de la casa.

LOW IMPACT : l'impacte ambiental es minimitza gràcies a l'ús de materials sostenibles i l'alta eficiència energètica del projecte. L'objectiu és tancar els cicles dels materials i aigua.

LOW COST : gràcies a l'ús de sistemes constructius modulars i prefabricats que permeten versatilitat en tota la seva vida útil, es redueix el cost del projecte.

Posteriorment, seguint les mateixes directrius i amb el mateix grup de treball de ETSAV - UPC, l'any 2012 a Madrid es va tornar a presentar al certamen de la prestigiosa competició Solar Decathlon Europe (ETSAV. (e)co, 2012), amb el projecte (e)CO. En aquest cas es el projecte es va desenvolupar pels alumnes en col·laboració amb grups de recerca interdisciplinaris, empreses privades, organismes de l'administració pública i altres organismes.

Es basa en l'àmplia experiència adquirida en l'anterior concurs - Solar Decathlon Europe 2010 - en què el projecte LOW3 (de baix impacte, baixa energia, baix cost) presentat pel mateix grup de recerca, (e) CO, va guanyar el 1r premi d'Arquitectura.

Les paraules " (e) + Co " juntes abasten el context social actual. La (e) o "Erroba" reinterpreta el símbol de la nostra dècada. Simbolitza l'equilibri entre els sistemes i l'autosuficiència. "Co" consisteix a col·locar junts , la incorporació de noves àrees d'investigació i desenvolupament i la difusió basada en la cooperació. Com a resultat , el terme " (e) CO " està destinat a descriure un mètode alternatiu per relacionar a la tecnologia , els recursos i usuaris en la recerca de solucions de baix impacte ambiental en l'àmbit de l'arquitectura sostenible.

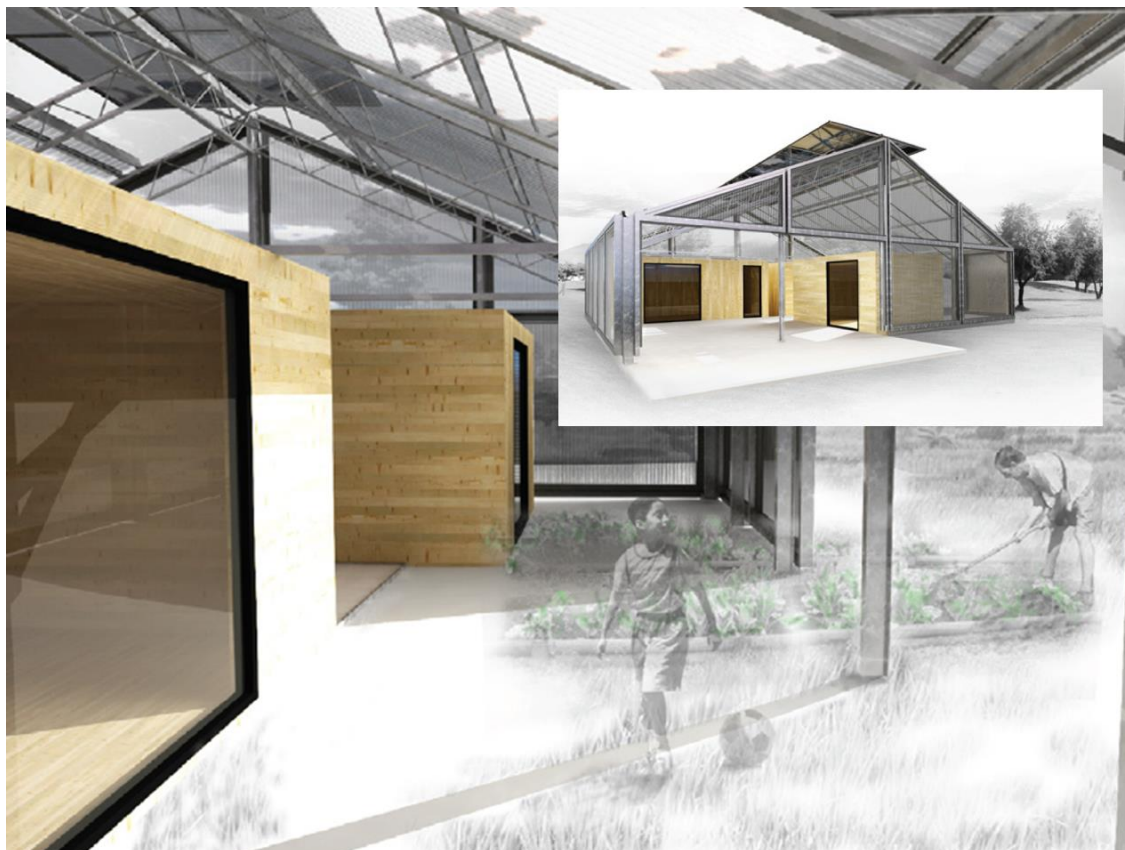


Fig. 84. Edifici ECO 2012 Solar Decathlon. Font: Equip (e) CO.

Arran de la participació d'aquests dos projectes es van realitzar un total de tres publicacions en congressos nacionals (Green Building Congres, Conama Congres i Smart Cities Congres) i va donar lloc a la publicació a una revista científica (Fonseca i Casas, Fonseca i Casas, Garrido-Soriano, & Casanovas, 2014).

#### 4.1.2. OBJECTIUS

L'objectiu principal , és presentar un simulador que permeti optimitzar tots els processos relacionats en la construcció d'un model d'estudi, per poder minimitzar al màxim el seu impacte ambiental , econòmic i social ; per poder realitzar un NZEB (Net Zero Energy Buildings. El mecanisme per aconseguir aquest objectiu de zero petjada és oferir més eficiència, més prestacions i més confort amb menys material , menys energia i menys diners mitjançant el disseny d'una casa en què l'organització dels sistemes de l'edifici està en consonància amb el cicle de la vida.

Essent aquests els primers projectes on s'aplica el model de co-simulació dissenyat, servirà per avaluar el seu funcionament, observar els seus resultats, treure les pertinents conclusions i poder o no validar-lo i considerar-lo com a òptim.

### **4.1.3. METODOLOGIA**

Aquests treballs es centren en el model de simulació en relació amb la vida útil de l'edifici, el que facilita el desenvolupament automàtic d'escenaris múltiples per determinar una solució factible. Per a cada escenari, es determina una tipologia basada en la forma de l'envolvent, la zona climàtica, l'altitud, i el millor aïllament per a que la demanda d'energia, el cost i la producció de CO<sub>2</sub> (tenint en compte els materials utilitzat) siguin mínims. Això fa que sigui possible obtenir un nivell òptim d'aïllament per a un edifici específic en minimitzar la demanda d'energia.

En aquest sentit, el simulador dóna resposta a la necessitat d'integrar diferents disciplines i tècnics especialitzats en el grup de treball; on es fa imprescindible l'ús de simuladors i programari CAD (Computer Aided Design) (Pérez Rodríguez, 2002) per optimitzar el projecte, en fase de disseny, a nivell energètic i ambiental.

D'altra banda, normalment, els arquitectes i enginyers inverteixen molt temps i recursos en aixecar el model en format BIM (Building Information Modeling) (Carbonari & Jones, 2014) per a ser després analitzat en motors de càlcul com EnergyPlus o Doe-2 (James J. Hirsch & Associates, 2012); simplement arribant a realitzar uns quants experiments concrets del model d'estudi; deixant sense analitzar moltes altres possibilitats i sense arribar a optimitzar-lo ni obtenir la millor configuració del projecte (o una configuració que s'apropi a aquest òptim); de tal manera que, per falta de temps, només s'analitza i es fa un estudi parcial, i moltes vegades insuficient, per saber si la configuració escollida ha estat la més adequada. El simulador, allotjat en un entorn web, ens permet analitzar tots els experiments necessaris per a arribar a trobar la configuració òptima.

Pel que fa al comportament del model del projecte, ens centrem en els processos que defineixen el comportament de l'edifici .

Les principals variables que utilitza el model es detallen a la següent taula.

**Taula 39. Principals variables del model. Font: Elaboració pròpia.**

<b>Variable</b>	<b>Tipus</b>	<b>Descripció</b>
<b>*.epw file (arxiu climàtic).</b>	Magnitud de Entrada	Aquest fitxer conté la descripció del clima que afecta a l'edifici . En aquest cas , l'edifici es troba a Madrid , Espanya .
<b>*.idf file (arxiu de model).</b>	Magnitud de entrada	Aquest fitxer conté l'estructura de l'edifici (geometria, materials, etc).
<b>Impacte energètic.</b>	Magnitud de sortida	La demanda energètica de l'aparell es determinarà per minimitzar l'energia de l'edifici (energia per a calefacció i refrigeració).
<b>Impacte ambiental.</b>	Magnitud de sortida	Anàlisi de l'impacte ambiental dels materials utilitzats (escalfament global , l'esgotament de l'ozó...) d'acord amb un ACV (Anàlisi del Cicle de Vida).
<b>Impacte econòmic.</b>	Magnitud de sortida	L'anàlisi dels costos econòmics del procés de LCA , els materials utilitzats en la construcció i la demanda d'energia i materials del prototip (que es descriu en la norma prEN 15643-4) (Comité técnico AEN/CTN 198 sostenibilidad en la construcción, 2012).
<b>Impacte social.</b>	Magnitud de sortida	L'anàlisi dels impactes socials de la construcció en el seu entorn immediat (impactes poden ser positius o negatius).

**La implementació del model** es basa en el programari anomenat SDLPS, explicat detalladament amb anterioritat. Pel que fa a la infraestructura utilitzada en aquest programari, s'ha construït utilitzant el llenguatge C++ i C#. El codi relacionat amb el model (representat usant el llenguatge C per a tasques i blocs SDL per a procediments) s'utilitza en el model a través d'un arxiu DLL, i la generació del model SDL - XML es realitza a través d'un "plug – in" de Microsoft Visio® (T. A. Halpin, 2003). Com a resultat, la validació i verificació del model es poden realitzar principalment mitjançant la revisió de diagrames gràfics en Microsoft Visio®. Això simplifica dràsticament la interacció entre les diferents parts implicades en el projecte.

A causa que s'utilitza aquesta infraestructura, no es realitza cap implementació específica per a aquest projecte. Això simplifica el procés de verificació necessària en cada projecte de simulació, es pot veure (Balci, Osman, 2010). A la figura següent, es presenta el procés de modelatge (Sargent, Robert G., 2007), i els passos simplificats requerits en un projecte de simulació es representen en vermell com a resultat de l'ús d'aquesta metodologia.

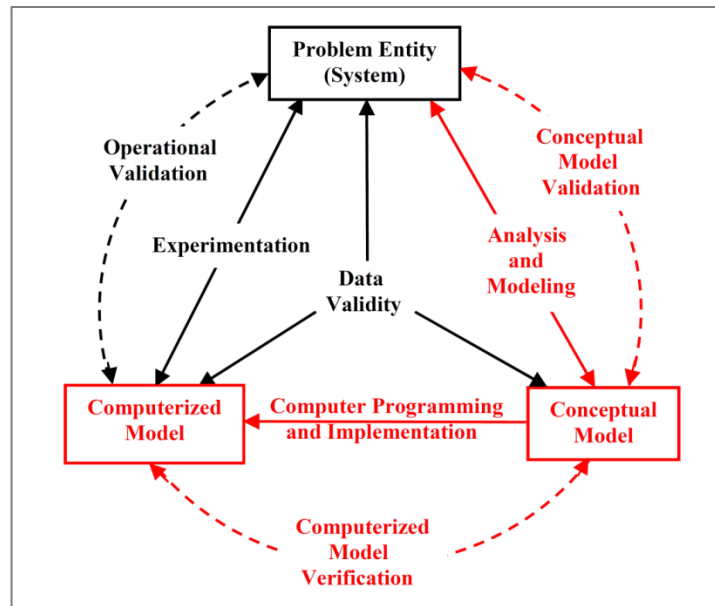


Fig. 85. Versió simplificada del procés de modelatge. Font: (Sargent, 2007).

La validació del model, tal i com s'ha explicat en el capítol 3.2.2. es realitza a través de la representació SDL, sistema modular i gràfic, de tal forma que la participació dels tècnics implicats és específica, no ambigua. En aquest estudi de cas es fa una representació completa del problema de tal forma que simplifica la seva verificació, implica major facilitat de control i permet el desenvolupament per escenaris futurs.

Per determinar els diversos escenaris que anem a comparar, SDLPS fa possible definir els experiments. Per a cada un d'aquests experiments, 1 SDLPS "plug-in" nadiu genera un IDF (amb les dades necessàries segons el nombre d'experiment) i posa aquest arxiu en un directori que conté totes les altres dades necessàries per a executar l'escenari experimental.

L'estructura conceptual de l'arquitectura està representada a la figura següent.

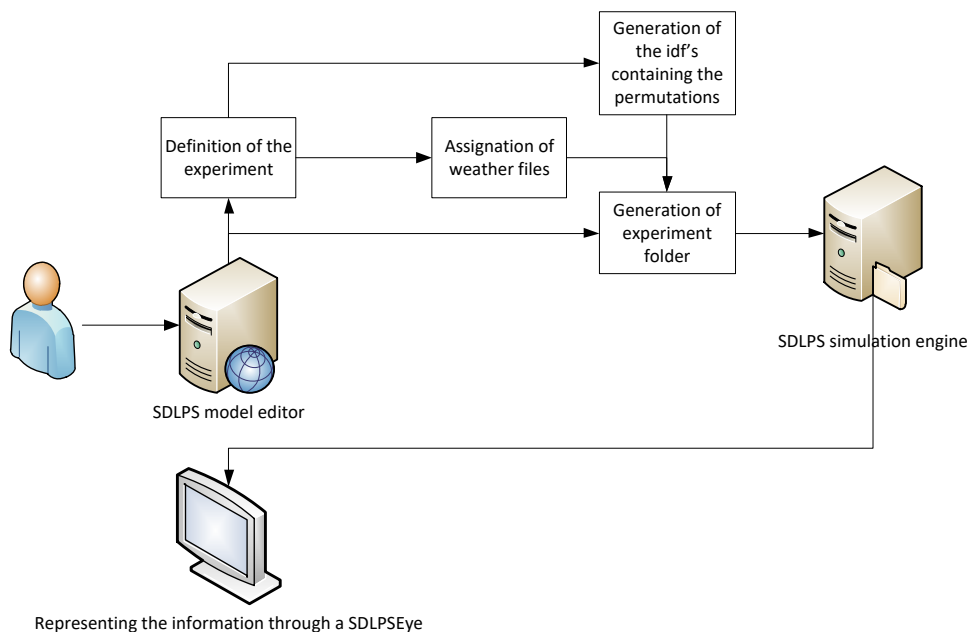


Fig. 86. Generació d'escenaris en SDLPS. Font: Elaboració pròpia

Per verificar que el model és vàlid, hem d'assegurar que les hipòtesis utilitzades són correctes. Existeixen diverses tècniques per validar un model de simulació (Balci, Osman, 1997), però, només unes poques es poden aplicar en un projecte de simulació a causa de les limitacions inherents del projecte. S'utilitzen dues tècniques per dur a terme la validació. En primer lloc, es realitza una comparació del nostre model amb altres models. La idea és que si els altres models funcionen correctament, les sortides han de ser similars al analitzar la mateixa situació (Sargent, Robert G., 2000).

En el cas de Low 3, es disposen de les dades completes sobre aquest edifici i es poden comparar els resultats obtinguts a partir de la metodologia proposada amb les dades reals. Els problemes que es volen detectar aquí estan relacionats amb la generació dels escenaris, els mecanismes de comunicació dels diferents elements i l'ús del motor de EnergyPlus. A més, es comparen els resultats del model utilitzant el SDLPS amb el disseny generador de programari comercial Design Builder (Design Builder Software, 2005), que també utilitza EnergyPlus. Això permet validar algunes de les hipòtesis fetes sobre el model. L'anàlisi complet fet aquí pot ser revisat en (Fonseca, Fonseca, Garrido, Colls, & Casanovas, 2012).

Amb aquestes validacions, s'assegura que els supòsits del model de relació amb l'estructura i la simplificació utilitzat són correctes. Això no és suficient, però, perquè s'ha de validar si les dades que es volen utilitzar al model (e)CO són correctes. Per a això, es realitza la validació dels escenaris (Law, 2005), (Weiner, B., & Craighead, 2010), que es basa en la següent idea: "*es demana a les persones amb coneixements sobre el sistema si el model i / o el seu comportament són raonables. Per exemple, és la lògica en el model conceptual correcte i són les relacions d'entrada-sortida del model raonable?*" (Sargent, 2009). El model formal amb SDL era una eina valuosa, ja que els experts no necessiten comprendre el llenguatge de programació utilitzat per implementar el simulador. Sobre la base de la representació gràfica inequívoca i completa del model, els experts en el sistema poden validar el model, assegurant que les relacions i les comunicacions existents entre els diferents elements del model són correctes i coherents amb la seva comprensió del sistema. També els experts analitzen els resultats del model de la comprensió de la seva coherència amb base en el seu coneixement del sistema.

**La variable experimental** que s'ha de tenir en compte en aquesta simulació del prototip (e)CO és el gruix d'aïllament. Per realitzar l'experiment, es defineix un experiment factorial de 2K. El valor de resposta és la demanda d'energia per aconseguir la reducció al mínim. Els factors que es poden modificar són les diferents parets de l'edifici, i els nivells definits són dos valors d'aïllament per a cadascuna de les parets de cada mòdul (nord, sud i est), com es mostra en la següent figura.

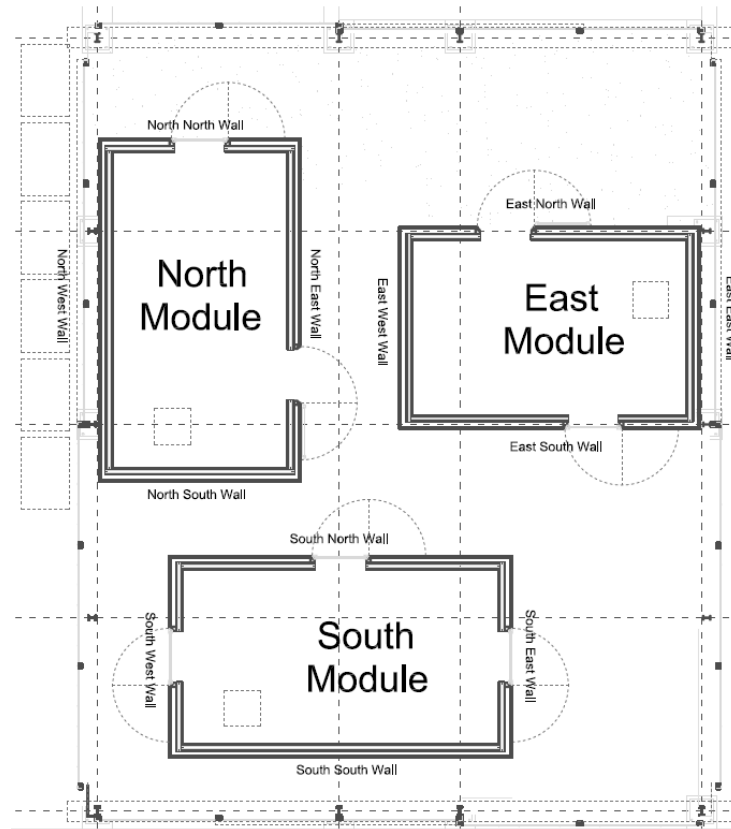


Fig. 87. Figura de les diferents parets que es van analitzar. Font: Elaboració pròpia.

Ambdós projectes (Low3 i (e)CO) van ser dibuixats amb el “plug-in” OpenStudio del Sketchup de Google (National Laboratory of the U.S. Department of Energy Efficiency and Renewable Energy, 2011), tal i com es mostra en la figura següent.

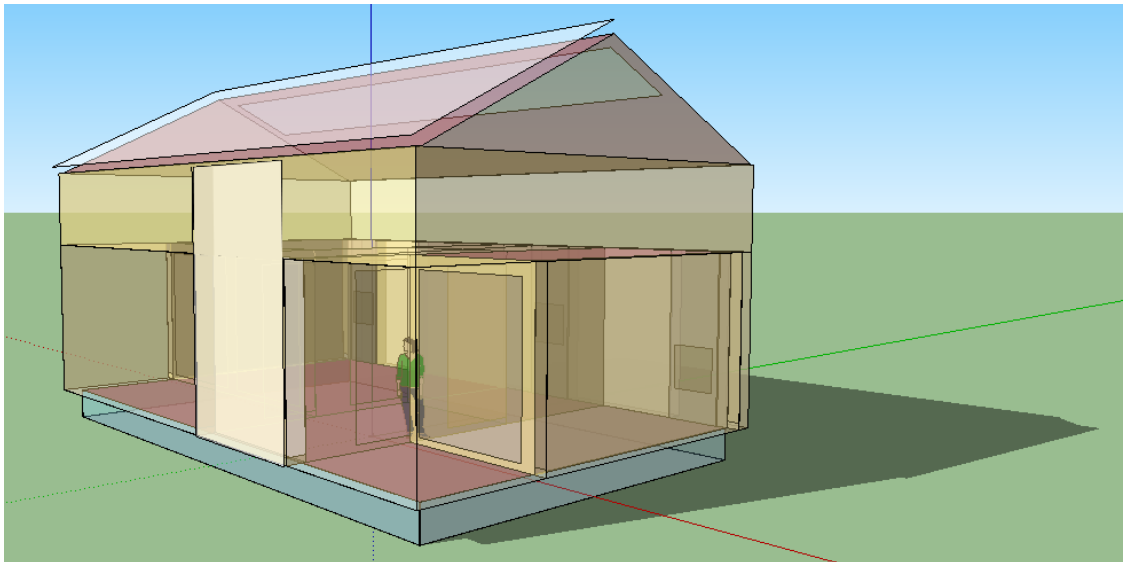


Fig. 88. Edifici Low3 generat amb OpenStudio del Sketchup. Font: Elaboració pròpia.

#### 4.1.4. RESULTATS

El co-simulador ha estat validat amb èxit en els dos casos presentats (Low3 i (e)CO, projectes prototips, del concurs Solar Decathlon 2010 i 2012, respectivament, el que ha permès que el sistema comenci a ser conegut per les empreses del sector.

The screenshot shows the BuildingSim web interface. At the top, there are navigation links: Home, Solutions, Mass Materials, No Mass Materials, Data Files, Experiments, and RESULTS. Logos for UPC, Sustainability Measurement and Modeling Lab - SUMMLAB, and LCFIB are visible. The main content area is titled 'Listing data files' and contains a table with the following data:

ID	Name	Description	Original path	Data type
7	Test2		public/data_files/7.idf	idf
27	Test1		public/data_files/27.idf	idf
28	Prova		public/data_files/28.idf	idf

Below the table is a 3D rendering of a building model. To the right of the model is a list of 'CHARACTERISTICS of MODEL':

- ORIENTATION
- MATERIALS
- CONSTRUCTION
- THERMAL BRIDGES
- ZONES
- OCCUPANCY
- HVAC
- VENTILATION
- INFILTRATION
- INTERNAL CHARGES
- INTERNAL MASS
- WATER

Fig. 89. Imatge de l'estudi de cas de l'edifici ECO en el simulador via web. Font: (Inlab - UPC, 2012).

Analitzant els resultats concrets del **primer concurs Solar Decathlon 2010** participat, s'ha fet una simulació de l'edifici LOW3, però, en aquest cas s'utilitza el programari Bioclim + Confie (Pau Fonseca i Casas, 2012)(Energy, 2011). En aquesta simulació, els resultats obtinguts mostren que l'estalvi d'energia és del voltant del 80%. Aquesta dada és coherent amb les dades obtingudes en el model. Per a les simulacions també es fa servir un edifici de referència, un edifici amb superfície similar a la del LOW3 a la mateixa zona climàtica i amb característiques constructives convencionals – 'PROYECTO SECH-SPAHOUSEC. Análisis del consumo del Sector Residencial en España' (IDAE, 2011), 'Guía Técnica. Procedimientos y aspectos de la simulación de instalaciones térmicas en edificios' (IDAE, 2008).

Gràcies al fet que el model presentat combina la potència del software EnergyPlus i una base de dades de materials, és possible anar més enllà amb l'anàlisi, de tal manera que a l'estat de construcció (BUILD), es va detectar que la part econòmica i ambiental tenen un impacte inferior si es compara amb les dades de l'edifici de referència (IDAE, 2011).

En l'estat de vida útil de l'edifici (ús i manteniment), és possible analitzar al mateix temps (entre altres paràmetres) els impactes econòmics i ambientals.

Per als impactes ambientals i la demanda d'energia, és possible estalviar un 80% (i fins a un 90% o 95% amb una bona gestió, una bona protecció climàtica, la regulació del confort tèrmic, etc.). Utilitzar EnergyPlus com a motor de càlcul, permet obtenir resultats més precisos que altres simuladors com Bioclim + Confie (donat que en la versió utilitzada



per a l'anàlisi de l'edifici LOW3, no es té en compte el flux d'humitat relativa i moviment d'aire), veure figura següent.

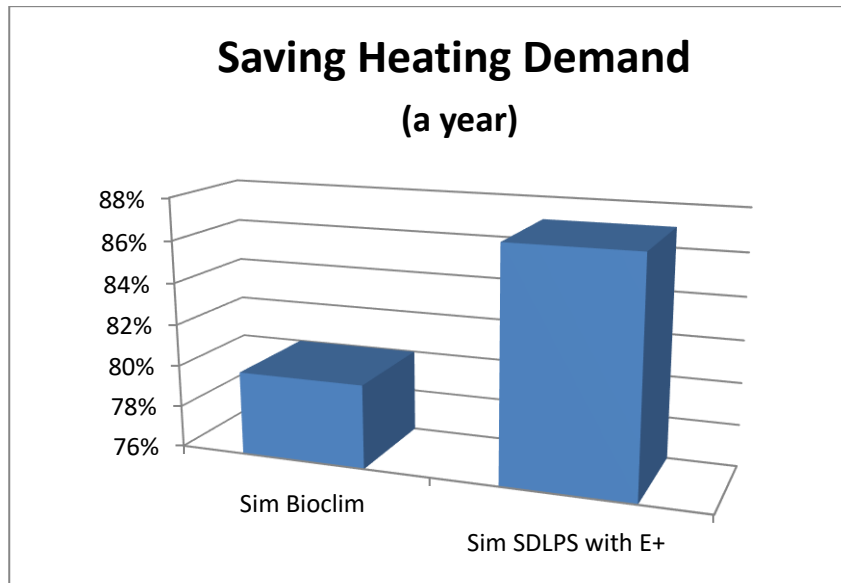


Fig. 90. Diagrama que compara l'estalvi en la demanda de calefacció. Font: Elaboració pròpia.

En relació al cost econòmic, es troba que, en termes de consum d'energia, el model estudiat estalvia més del 80 % en comparació a l'edifici de referència. Tot aquest anàlisi es van realitzar per un 1 any de la demanda.

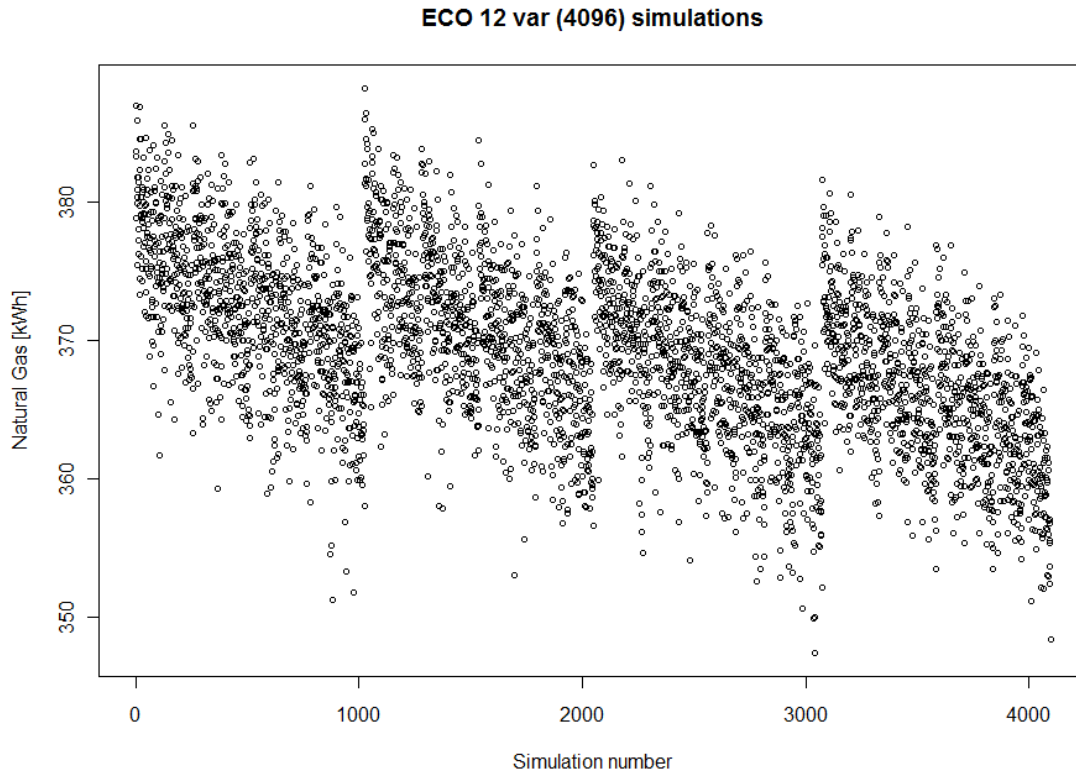
L'edifici LOW3 pot definir-se com un edifici NZEB ja que és capaç de compensar, a través de panells fotovoltaics incorporats al sostre, tota l'energia necessària per mantenir el confort i suplir tota la potència per fer funcionar els aparells. En aquests edificis l'energia consumida, l'impacte ambiental i el cost econòmic, al llarg de la seva vida, es redueix al màxim. A més, al utilitzar tècniques de reciclatge per reutilitzar els materials i reduir l'impacte ambiental produït, hi ha un estalvi en el procés de la construcció en més d'un 50%.

Analitzant ara el **projecte (e)CO de 2012**, es van realitzar 4096 simulacions, per avaluar quin parament suposava major estalvi energètic, si disposava d'un millor aïllament (aquest estudi s'ha realitzat a les zones climàtiques de Barcelona i de Madrid).

Taula 40. Taula on es mostren les permutacions realitzades en el cas d'estudi ECO. Font (Fonseca, Fonseca, Garrido, Colls, & Casanovas, 2012).

U (W/m <sup>2</sup> K)	North MODULE				South MODULE				East MODULE			
	North Wall	West Wall	South Wall	East Wall	North Wall	West Wall	South Wall	East Wall	North Wall	West Wall	South Wall	East Wall
s1	0,212	0,212	0,212	0,212	0,212	0,212	0,212	0,212	0,212	0,212	0,212	0,212
s2	0,212	0,212	0,212	0,212	0,212	0,212	0,212	0,212	0,212	0,212	0,212	0,174
s3	0,212	0,212	0,212	0,212	0,212	0,212	0,212	0,212	0,212	0,212	0,174	0,212
s4	0,212	0,212	0,212	0,212	0,212	0,212	0,212	0,212	0,212	0,174	0,212	0,212
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
S4096	0,174	0,174	0,174	0,174	0,174	0,174	0,174	0,174	0,174	0,174	0,174	0,174

Després d'aplicar l'algorisme desenvolupat per la investigació es va procedir al tractament de dades mitjançant el software Quick-R Statistics i el seu posterior post-processament per un major enteniment de resultats (Fonseca, Fonseca, Garrido, Colls, & Casanovas, 2012).



**Fig. 91. Resultats dels 4096 simulacions realitzades. Font: (Fonseca, Fonseca, Garrido, Colls, & Casanovas, 2012).**

En l'anterior figura es pot veure els resultats de tots els escenaris simulats. Es veu clarament quatre blocs diferenciats que corresponen als quatre grups de simulacions que es van llençar en quatre màquines diferents.

En la següent figura s'observa la relació entre el cost d'aplicació de l'aïllament i el consum energètic necessari.

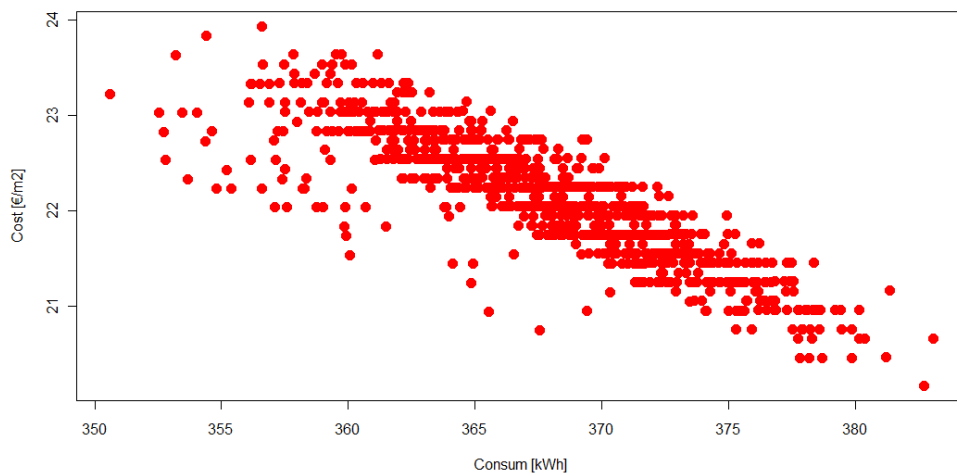


Fig. 92. Relació entre el cost-consum de les simulacions generades. Font: (Fonseca, Fonseca, Garrido, Colls, & Casanovas, 2012).

L'algorisme de Yates (Campos, 2010) (Duarte Ribeiro & Schwengber ten Caten, 2011) és un mètode molt pràctic per trobar els contrastos de tots els escenaris estudiats en l'experiment 2<sup>k</sup>. En la següent figura es mostren els seus resultats.

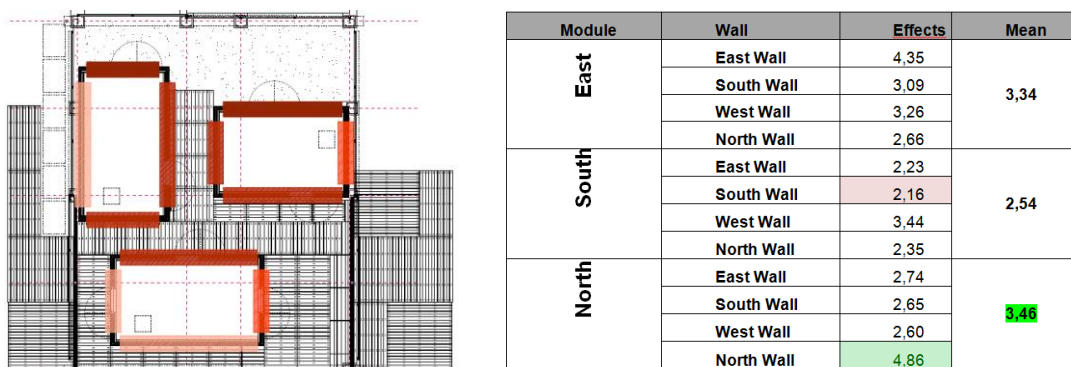


Fig. 93. Resultats de l'anàlisi energètic realitzat a l'edifici ECO, projecte prototip del concurs Solar Decathlon 2012; atenent l'algorisme de Yates. Font: (Fonseca, Fonseca, Garrido, Colls, & Casanovas, 2012).

Les façanes amb un color vermell més intens són les que tenen més pes en relació a l'estalvi energètic; és a dir, són les que s'hauria d'actuar primer en el procés de millora de l'aïllament.

#### 4.1.5. CONCLUSIONS

Aquest treball presenta un enfocament nou que utilitza la co-simulació per analitzar les demandes d'energia d'un edifici. La definició completa, gràfica i inequívoca del model gràcies a un llenguatge complet i el nivell formal, com SDL, simplifica la interacció i la participació de tots els actors involucrats en el desenvolupament del model. Els no experts en la simulació poden entendre el comportament dinàmic del model, com a resultat de la naturalesa gràfica de SDL. L'equip pot avaluar el model i proposar modificacions utilitzant

eines comunes com ara Microsoft Visio®. Aquest enfocament simplifica la participació dels especialistes en la definició del model, un element clau per a l'èxit en un projecte de simulació complex (Law, 2005). La representació formal del model utilitzat per dur a terme la seva validació, permet detectar errors d'interpretació abans de qualsevol aplicació.

Aquest és un model estructurat que permet augmentar, gràcies a la modularitat de l'enfocament, la complexitat del model, i interactuar amb altres models i sistemes (com els que es defineixen formalment amb els desenvolupadors o xarxes de Petri com un exemple).

El model, utilitzant motors de càlcul de codi obert, permet l'optimització del sistema analitzat seguint la normativa europea CEN / TC 350 (UNE-EN 15.643-2, UNE-EN 15.643-3, UNE-EN 15.643-4).

A més, els mecanismes automàtics existents per executar el model, sense la necessitat de posar-ho en pràctica, simplifica el procés de verificació. L'enfocament Co-simulació permet la combinació, en el nostre cas utilitzant SDLPS, de diverses sub-models i motors de càlcul que simplifica la definició del comportament dinàmic de l'edifici. En concret, l'ús de EnergyPlus fa que sigui possible calcular amb precisió la demanda d'energia com es mostra a (Fonseca, Fonseca, Garrido, Colls, & Casanovas, 2012).

Des del punt de vista de la infraestructura utilitzada per implementar el model, és interessant assenyalar que podria ser executat en una infraestructura de núvol, que permet interactuar amb el model amb un navegador web comú que mostra els elements de parametrització bàsics del model. També gràcies a l'estructura paral·lela de SDL és fàcil posar en paral·lel a l'execució del model de SDLPS.

En relació als resultats obtinguts en l'estudi de cas analitzat (projecte (e)CO), és notable que no totes les parets de l'edifici reaccionen de la mateixa manera a la modificació dels paràmetres. Això implica clarament que no cal invertir en tots els elements constructius de la construcció per aconseguir una solució òptima. Vam detectar on invertir, les parets més interessants a tenir en compte i les actuacions que s'han de realitzar, per tal de reduir el consum d'energia; l'ús d'un disseny factorial 2K amb l'ajuda d'un algorisme de Yates posterior, ajuda a una fàcil interpretació de les dades. La millor opció seria la que prioritza l'aïllament a les parets orientades a Nord, especialment la que dona a Nord-Nord; entenent que les parets que donen als patis interiors, ben aïllades, són importants en l'efecte de reducció de demanda energètica i les que donen al Sud són les que, amb un aïllament important, serien menys interessants des del punt de vista energètic i retorn econòmic.

Com a resultat de l'ús d'un llenguatge formal com SDL per definir el model de sostenibilitat integral proposat, serà possible en el futur optimitzar el cas d'estudi analitzat al llarg de les quatre fases del procés de construcció d'un edifici, tenint en compte el impacte ambiental, econòmic i social. A més, és possible definir el procés necessari per compensar la demandada i l'energia consumida.

El model SDL '*BuildingSim*' utilitzat en aquest estudi és el plantejament inicial d'un nou simulador que pretén resoldre les problemàtiques existents en d'altres que no s'han basat en llenguatges formals, evitant ambigüitats. L'estudi ha servit per avaluar el correcte funcionament de l'eina presentada, donar robustesa al sistema i millorar part del codi per millorar rendiment.

## 4.2. Acciona – Disseny de façana doble mitjançant sistemes de co-simulació informàtica. Càlcul tèrmic dinàmic i CFD.

Gràcies a la participació del projecte s'ha presentat una nova publicació a revista científica indexada, exposant part dels resultats del projecte: **Computers & Operations Research, Elsevier (2016)**. Solution validation for a double façade prototype. En procés de revisió i publicació.

El projecte va permetre, a part de millorar la robustesa del sistema i el rendiment de la metodologia proposada, integrar un nou motor de càlcul en el model, OpenFoam, motor específic pel càlcul de CFD (Computational Fluid Dynamics) (J. Anderson, 2009).

### 4.2.1. INTRODUCCIÓ

Aquest estudi s'emmarca dins el projecte JSEED, Japan-Spain Energy Efficient Development for Ultra-Low Energy Buildings (Infraestructuras, 2016), conveni internacional entre Espanya i Japó, finançat amb fons parcials CDTI (Centre per al Desenvolupament Tecnològic Industrial) (CDTI, 2016). En aquest treball es planteja desenvolupar una façana doble, mitjançant tècniques de simulació informàtiques, amb l'objectiu de millorar el comportament d'aquesta i optimitzar-la per diferents zones climàtiques atenent el seu bon comportament al confort interior per als usuaris.

La investigació de façanes dobles s'ha portat a terme des d'universitats i centres d'investigació específics com la Universitat de Tòquio (S. Murakami, 1992), la Universitat de Warwick Science Park de Gran Bretanya (Dickson, 1998) o la Universitat Lund de Suècia (Poirazis, 2004) amb instal·lacions experimentals i l'avaluació de prototips.

Les dobles façanes, en certes zones climàtiques, sempre han tingut un problema de sobreescalfament tot i que ben dimensionades i amb un disseny acurat poden aportar grans beneficis a nivell energètic (estalvi d'energia) i a nivell de confort (qualitat lumínica i tèrmica a l'interior).

En el clima mediterrani, aquest plantejament es complica per la molt reduïda demanda en calor de la majoria d'edificis (específicament per oficines). La protecció contra el sobreescalfament és primordial, per tant, una optimització dels sistemes de protecció solar i d'il·luminació natural és essencial.

El projecte dona resposta a les noves directrius europees d'estalvi energètic, 2010/31/CE (European directive, 2010) relativa a l'eficiència energètica dels edificis, i a les dades publicades per l'Agència Internacional d'Energia (International Energy Agency, 2012).

Gràcies al disseny obtingut, es garanteix una millora de la demanda en les dues zones climàtiques estudiades: un 50% de refrigeració a Sevilla i un 74% a Bilbao, i, de calefacció, una millora en la demanda d'un 84% a Sevilla i un 24% a Bilbao.

Finalment, les conclusions serviran per plantejar el prototip a escala real que es construirà a Sevilla, Espanya, per al seu posterior monitoratge, seguiment, calibratge i avaluació.

Gràcies a la participació d'aquest projecte, s'ha pogut integrar el motor de càlcul CFD OpenFoam (Jasak, Jemcov, & Tukovi'c, 2007) dins del model de simulació BuildingSim, per tant, es treballa amb doble optimització: en primer lloc optimització termodinàmica amb la utilització d'EnergyPlus i en segon lloc l'optimització amb CFD per arribar a major detall de la façana tecnològica utilitzada.

#### 4.2.2. OBJECTIUS

La necessitat d'obtenir el màxim benefici solar i il·luminació a l'hivern i la protecció de la calor per estiu (sobretot en climes temperats i no extrems) ens porta a desenvolupar i proposar solucions mixtes que permetin adaptabilitat segons l'època de l'any i zona climàtica (les dues zones climàtiques escollides per realitzar l'optimització són Sevilla -zona climàtica càlida - i Bilbao -zona climàtica freda-, Espanya).

Amb la premissa de dissenyar una solució de buit en façana, principalment per a ús d'oficines, es planteja el desenvolupament d'una doble façana modular activa-passiva d'alta eficiència. El projecte global té com a objectiu el desenvolupament de noves tecnologies que permetin la generació d'edificis de molt baix consum energètic, amb la consegüent reducció en les emissions de gasos d'efecte hivernacle, aconseguint, a més, que els seus usuaris ocupin les seves activitats sota unes condicions interiors òptimes de confort.

Una de les premisses importants en el disseny del prototip de buit de façana és la necessitat de plantejar solucions que ajudin a reduir la demanda energètica per dissenyar edificis propers a un NZEB (Sartori, Napolitano,, & Voss, 2012), (Salom, y otros, 2011).

L'últim objectiu d'aquest projecte és poder simular no només amb el software EnergyPlus tal i com s'han realitzat els projectes anteriors, sinó poder integrar també un altre software diferent per a l'optimització mitjançant CFD com és el programa OpenFoam.

Objectius segons simulació tèrmica dinàmica:

- Disminuir la càrrega tèrmica en l'espai interior. Control radiació solar.
- Dissenyar algun sistema que ens permeti controlar el flux tèrmic des de la càmera d'aire cap a l'espai interior.
- Estudiar el paper del vidre com a element regulador.
- Obtenir repercussió d'una major regulació de les obertures de portes en la millora de la demanda de refrigeració.
- Veure quina variació de comportament tindria l'existència d'una massa que permetés suavitzar l'oscil·lació tèrmica i retardar els pics de temperatura.

Objectius segons simulació Dinàmica de Fluids Computacional (CFD):

- Aportar informació sobre els fenòmens de transferència de calor per convecció i radiació més enllà del nivell de detall que el considerat en les primeres simulacions.

### 4.2.3. METODOLOGIA

El disseny d'optimització neix dels resultats obtinguts en la primera fase del projecte, que va consistir en analitzar el comportament general de les façanes dobles (CIMNE, 2008), (Serra, 2010), (Giancola, 2004).

Per optimitzar una façana doble és necessari definir la situació del seu emplaçament. No hi ha una façana doble "genèrica" aplicable amb poques modificacions a diferents situacions climàtiques, orientacions i usos de l'edifici, sinó que cal atendre concretament aquestes variables (Cuerva, 2007).

Hi ha una gran varietat de conceptes de façanes dobles que comporten cadascuna un concepte diferent de segmentació (façana doble no segmentada, façana doble segmentada en bandes horitzontals, façana doble segmentada en bandes verticals, façana doble segmentada en mòduls individuals) (M.A. Shameria, 2011).

Segons cada tipus de segmentació es diferencia el tipus i la ubicació de les obertures de ventilació de fora a la façana doble i de la façana doble a l'interior de l'edifici. La tesi de Werner Lang recull aquestes sistemàtiques i mostra exemples realitzats (Lang, 2001).

Un altre factor a tenir en compte és la cèl·lula de prova o model de prototip. En general, podem definir una sala PASSYS (Comisión europea para la investigación térmica y solar, 1990) com una sala aïllada de 5 x 2,5 x 2,5 m amb propòsit original d'avaluar el comportament tèrmic de les parets, que són inserides a la paret orientada al sud de l'estructura .

Aquestes cèl·lules tenen un principi comú: reduir les pèrdues o guanys de calor a través de l'envoltant i intentar simular les condicions reals de la forma més propera possible; així, poder analitzar el parament d'estudi i poder quantificar el seu funcionament energètic. Podem destacar la cèl·lula d'estudi Passys Cell, realitzada en l'estudi d'experimentació Plataforma Solar d'Almeria (PAS) gestionada pel CIEMAT (Centre d'Investigacions Energètiques, Mediambientals i Tecnològiques) (Domínguez Bravo, Lago Rodríguez, & Prades López, 2010), que té una dimensió de 2,47 x 2,48m, amb una obertura de 1,88m<sup>2</sup> de superfície. El tancament va ser construït amb un panell sandvitx amb un aïllament de poliestirè de 20 cm de gruix.

Una cèl·lula tipus Paslink té les següents característiques de envoltant tèrmica - U-values (W/2K) -, inferiors als que s'indiquen en la següent taula:

**Taula 41. Transmissió màxima permesa. Font: (Comisión europea para la investigación térmica y solar, 1990).**

Component	Habitació de servei	Habitació d'assaig
Sostre / Parets	=< 0,4	=< 0,1
Terra	< 0,8	=< 0,1
Partició interior	-----	=< 0,16

El prototip d'estudi és una caixa amb mesures interiors de 2.8x5x3.5m, que seguirà les directrius d'una cèl·lula tipus Paslink (Bakera & Van Dijk, 2008). Tot i que en la realitat, aquestes dimensions poden variar sensiblement, per a realitzar l'estudi comparatiu de les diferents configuracions del comportament propi de façana, no afecta a les conclusions finals (les proporcions es mantenen). Igualment, en la FASE 03 (fase posterior del projecte - verificació i calibratge-) es realitzaran els ajustos necessaris perquè les simulacions s'aproximin el màxim a les dades recollides en l'estudi empíric.

Després d'analitzar diverses opcions per a la construcció del prototip, es proposa la rehabilitació de la construcció ja existent a Sevilla, per tant, només hauria de rehabilitar-se i adaptar l'envolvent perquè compleixi els requisits necessaris per poder dur a terme l'estudi. L'estalvi respecte a la construcció d'un nou prototip suposa d'un 70% mínim (tenint en compte el cost de la sensòrica) i, en relació al lloguer d'una cèl·lula Passys, suposa un sobre cost d'un 30% (referit a la cèl·lula del país Basc).



Fig. 94. Imatge exterior del prototip. Ubicació: parc tecnològic de Sevilla. Font: projecte JSEED.

En quant als materials utilitzats en la rehabilitació del prototip, es disposarà un premarc de fusta, constituït per uns muntants i travessers compostos per 3 capes de panells contraxapats de 18mm cadascun. El interstici entre els 4 premarcs es resoldrà amb el mateix sistema existent de Knauf (Knauf, 2016), utilitzant el panell per a exteriors *Aquapanel*, revestit amb malla i morter, acabat blanc.

Després de l'estudi i caracterització del comportament de la façana doble, ja es coneix l'impacte que té sobre el sistema la modificació d'elements d'aquest, com ara; les proteccions solars, la ventilació, el vidre, el gruix de la càmera o la presència d'inèrcia. En aquesta part de l'estudi es farà un **procés d'optimització** de les diferents configuracions per trobar una combinació dels elements que millor comportament ofereixin del sistema.



## SIMULACIÓ MITJANÇANT MOTOR DE CÀLCUL TÈRMIC DINÀMIC

Per realitzar les simulacions, s'utilitza el model *BuildingSim* i el *SDLPS* per governar el procés de simulació principal. Les interaccions entre totes aquestes eines es detallen i especifiquen en el model, el que permet una comprensió més profunda del procés que defineix la vida d'un edifici a partir del punt de vista de la seva sostenibilitat.

Aquest procés es realitzarà en dos escenaris diferents, el primer en el clima de Sevilla, on el model presenta una tendència al sobreescalfament, i el segon en el clima de Bilbao, on el model presenta una demanda de calor en gran part de l'any. Per tant el sistema es sotmetrà a una necessitat de dissipar la calor i evitar sobrecàrregues en el primer cas, i a una necessitat de generar calor en el segon.

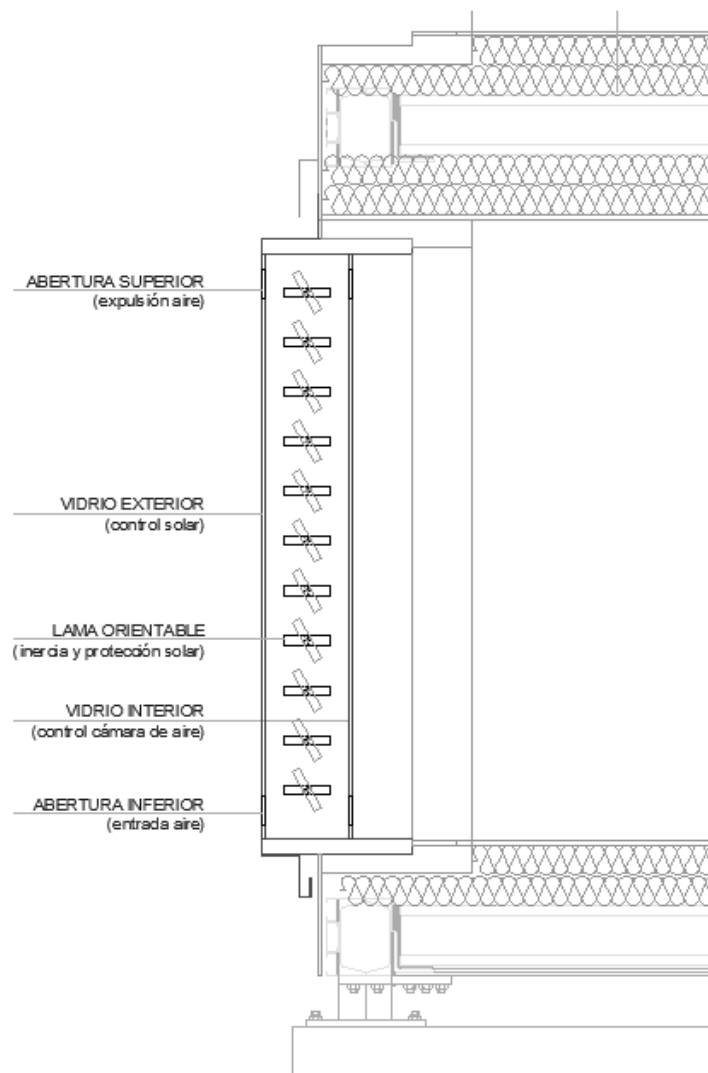


Fig. 95. Configuració general de la proposta amb inèrcia en la càmera d'aire. Font: projecte JSEED.

Els diferents vidres escollits per realitzar les simulacions són:

**Taula 42. Taula de característiques dels vidres utilitzats. Font: Transmissió màxima permesa.  
Font: (Giménez, 2011).**

NOM MATERIAL VIDRE	Concepte	Transmissió Solar total (SHGC)	U (W/m <sup>2</sup> ·K)	Transmissió solar directa	Transmissió de llum
FachTe_Glass_FV - SHGC 0.1, Light transmission 0.1, U 1.1	placa fotovoltaica Schott	0,1	1,1	----	0,1
FachTe_Glass_6-8-6	vidrio doble	0,5	3	0,373	0,5
FachTe_Glass_3-8-3	vidrio normal	0,828	3.087	0,813	0,839
FachTe_Glass_10-12-10	vidrio bajo emisoro	0,559	1,89	0,418	0,71
FachTe_Glass_6-13-6	vidrio control solar 6+12+6	0,168	1,672	0,087	0,114
FachTe_Glass_6	vidrio sencillo	0,819	5,718	0,775	0,881

La zona climàtica escollida inicialment és Sevilla, per situació del prototip cèl·lula TestCell; per tant, les simulacions d'estudi es realitzaran en base a l'arxiu de la base de dades IWEC - Sevilla.epw (International Weather Climate) (Departamento de energía, 2012). Posteriorment, es genera el vector de optimització per zona climàtica freda - Bilbao per acabar de verificar la proposta òptima (IWEC - Bilbao.epw).

## VECTOR OPTIMITZACIÓ SEVILLA

El vector d'optimització s'esquematitza segons la següent figura, amb l'objectiu de treure el major partit als elements de la doble façana i el seu disseny i composició.

Análisis previo

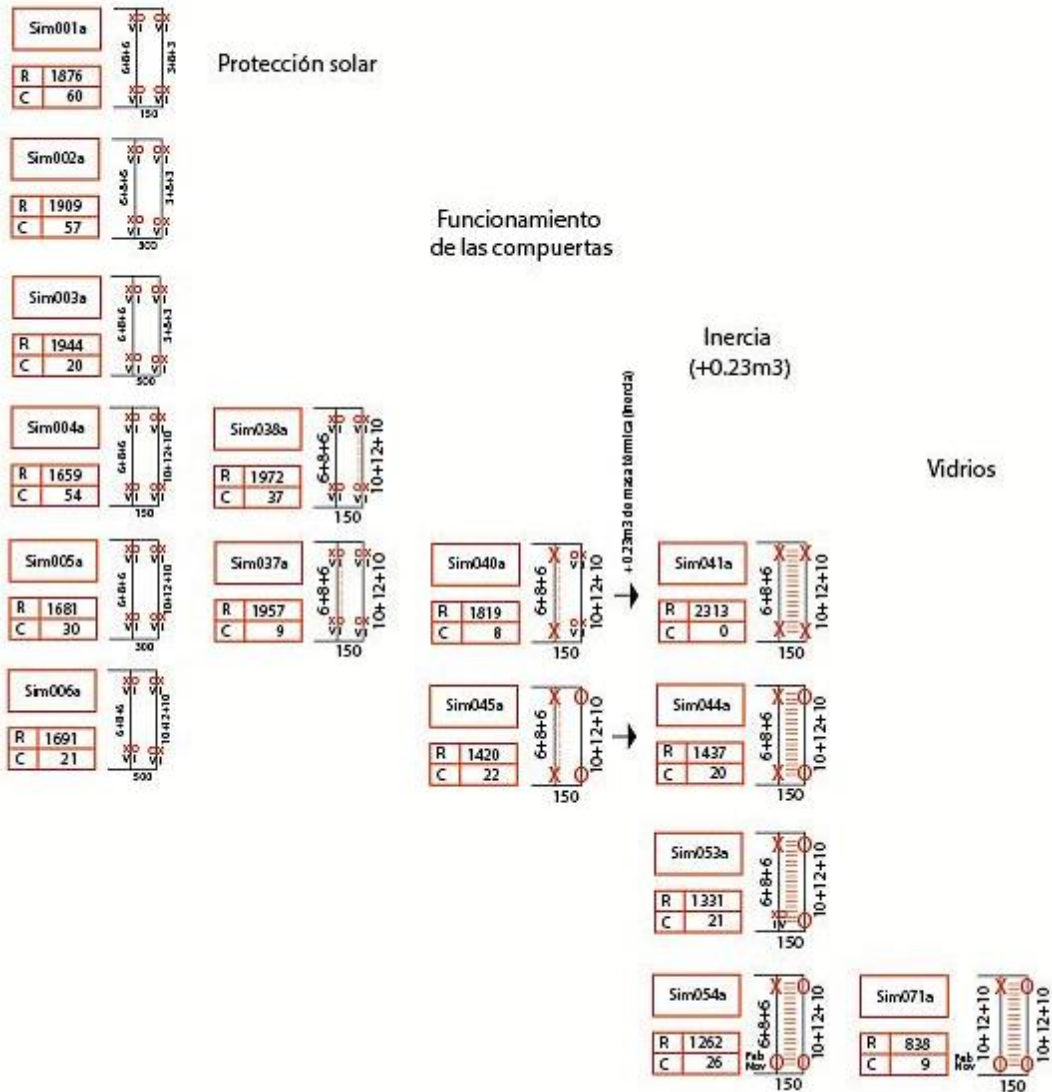


Fig. 96. Vector de simulació seguit en el procés d'optimització. Escenari Sevilla. Font: projecte JSEED.

**VECTOR OPTIMITZACIÓ BILBAO**

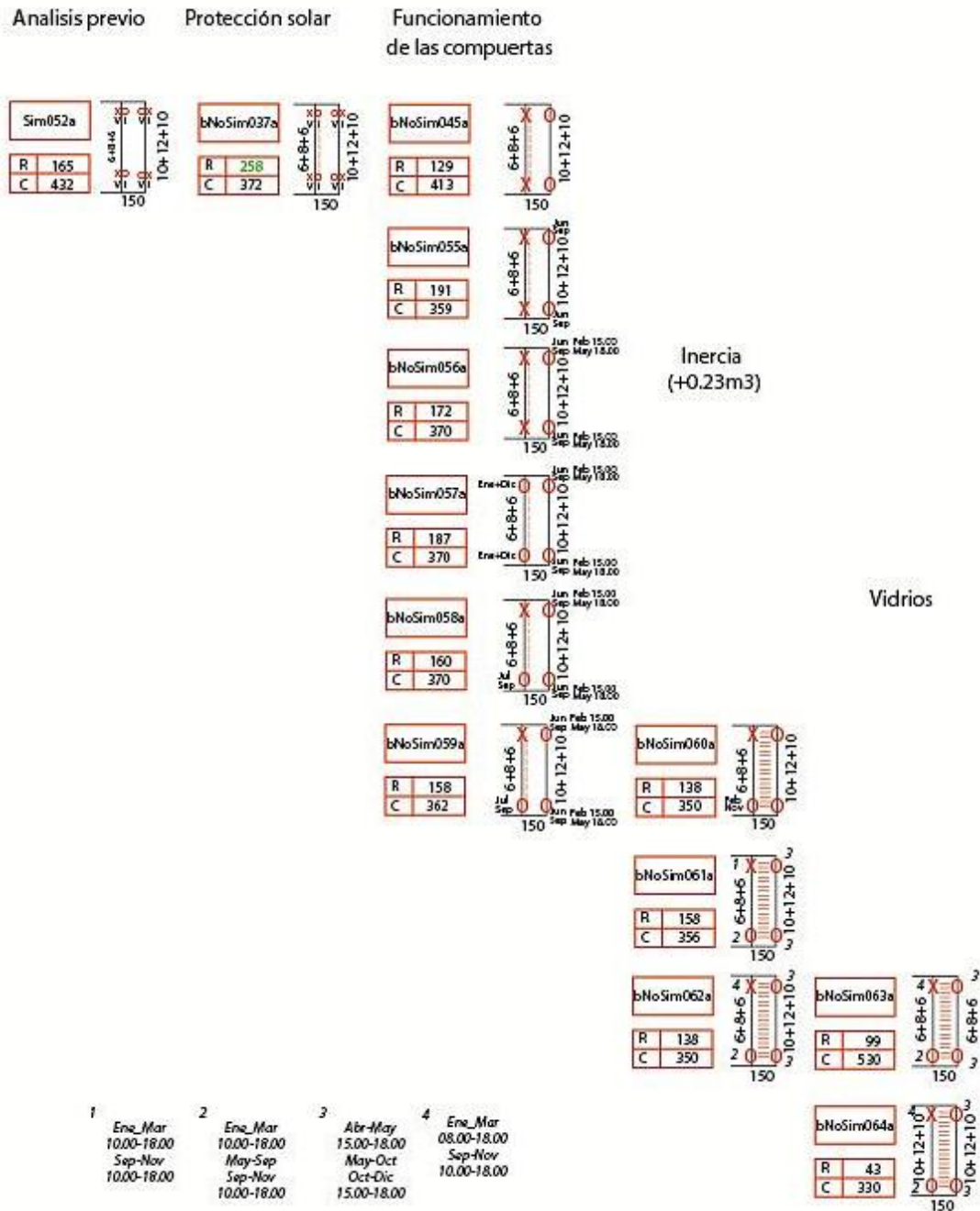


Fig. 97. Vector de simulació seguit en el procés d'optimització. Escenari Bilbao. Font: projecte JSEED.

**SIMULACIONS MITJANÇANT CFD (COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS)**

En un segon anàlisi, es realitzarà l'optimització mitjançant CFD - OpenFoam.

S'han generat 2 models de CFD corresponents als mòduls del prototip que s'assajarà a Sevilla.

Per a la realització d'aquesta optimització, i amb la intenció de no sobredimensionar el nombre de configuracions possibles, s'ha cregut convenient construir 1 model amb el qual s'han llançat 4 simulacions.

La informació extreta de les simulacions, permetrà completar les conclusions extretes en les simulacions realitzades mitjançant el càlcul tèrmic dinàmic, per a les configuracions de façana a optimitzar.

Les configuracions analitzades són les següents :

Taula 43. Configuracions de Façana 1 simulades mitjançant CFD. Font: projecte JSEED.

SIM	CONDICIONS	INERCIA	COMPORTES			
			INTERIOR		EXTERIOR	
			INFERIOR	SUPERIOR	INFERIOR	SUPERIOR
1	hivern	SI (lames a 20º)	OBERTA	OBERTA	TANCADA	TANCADA
2	hivern	NO	OBERTA	OBERTA	TANCADA	TANCADA
3	estiu	NO	OBERTA	TANCADA	OBERTA	OBERTA
4	estiu	NO	TANCADA	OBERTA	OBERTA	OBERTA

Els models CFD generats reproduïen la geometria dels mòduls de façana que es construiran en el prototip de Sevilla: consisteixen en un habitacle de 2,2 x 5 x 2,3 m en els que s'instal·la una façana que sobresurt cap a l'exterior. Les principals característiques geomètriques del model es descriuen en la següent figura.

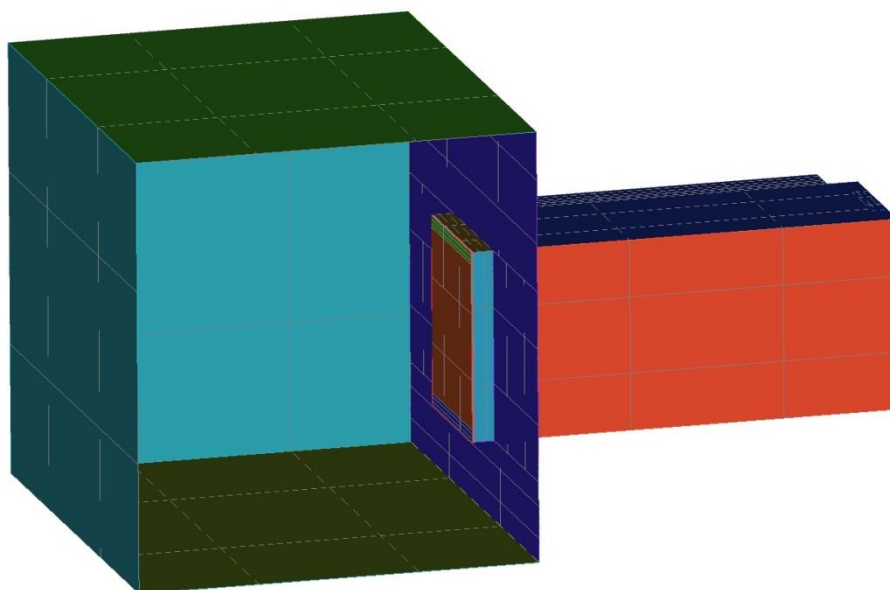


Fig. 98. Geometria del model de CFD i domini de càlcul considerat. Font: projecte JSEED.

Per aconseguir que es desenvolupin les corrents convectives corresponents al vidre exterior, s'ha inclòs una àrea de 6 x 6 x 6 m a l'exterior del prototip. D'aquesta manera s'aconsegueix que la distribució de temperatures, coeficients de convecció i radiació sigui més realista, ja que capturarà l'estratificació tèrmica corresponent a l'ascens de l'aire calent quan l'aire entra en contacte amb el vidre a l'exterior del prototip.

Els tancaments instal·lats en el model consten de vidrieres dobles amb dues capes de vidre estàndard, usant un 6-13-6 en l'envidrament exterior i un 8-8-6 a l'interior. Tots dos vidres ( interior i exterior ) compten amb sengles comportes de 15 cm d'altura que es poden obrir i tancar segons interressi per una o altra simulació.

Per poder capturar la influència d'una inèrcia tèrmica instal·lada a la cambra d'aire es van generar 9 lames de 5 cm de gruix inclinades 20º respecte a l'horitzontal. El propòsit principal d'aquestes lames és el de capturar l'energia solar i actuar com inèrcia tèrmica, confinant la calor capturat a l'espai entre vidres i impeding que passi a l'interior del mòdul. Les dimensions de les lames són 5 x 25 x 170 cm i representen aproximadament la inèrcia tèrmica d'1 m3 de formigó.

En el prototip de Sevilla s'instal·larà un equip de climatització Daikin Ururu Sarara, (Daikin, 2016) l'objectiu serà el de climatitzar l'espai del mòdul i registrar el consum d'energia necessari per a això.

Per tant, s'ha construït un petit element geomètric que representa aquest equip i en el qual posteriorment es configuraran les entrades i sortides d'aire corresponents a aquest climatització.

Per discretitzar el domini de càlcul i capturar la geometria del model s'ha escollit un mallat hexaèdric de precisió. Aquest tipus de mallat, malgrat requerir un major esforç i temps de realització que altres opcions automatitzades, permet una major precisió en els resultats i una convergència més estable de les simulacions.

Els dos avantatges són indispensables en el present estudi, ja que els càlculs de radiació resulten molt costosos computacionalment a causa de la seva naturalesa acoblada i solen mostrar una convergència molt lenta i altament inestable.

La malla generada consta de 6 milions de cel·les hexaèdriques.

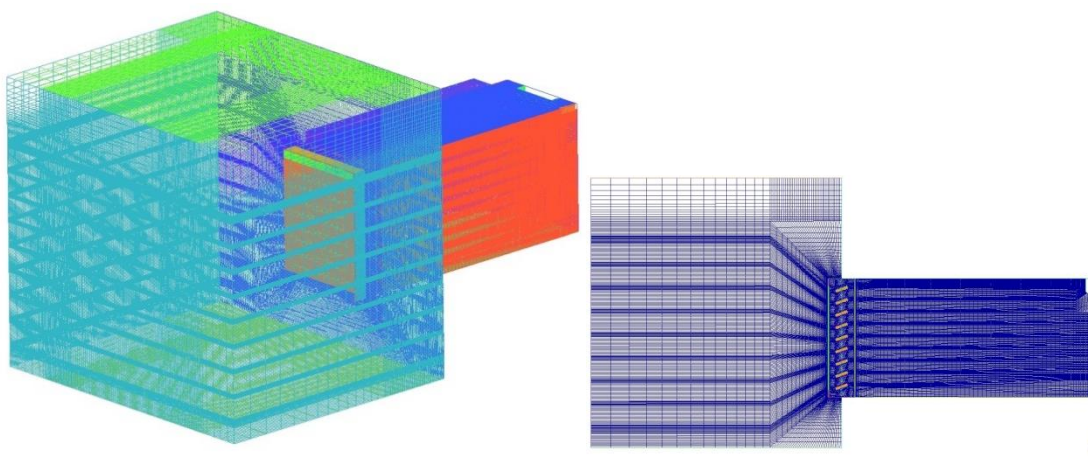


Fig. 99. Mallat hexaèdric del model CFD de Façana 1. Font: projecte JSEED.

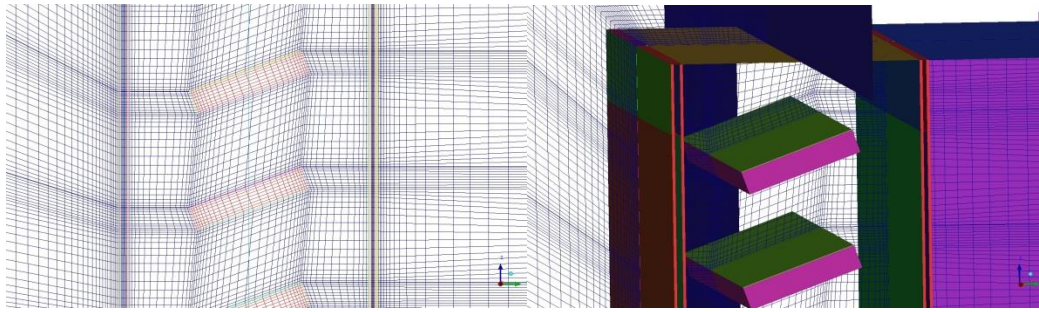


Fig. 100. Detalls del mallat hexaèdric en zona de lames del model CFD de Façana 1. Font: projecte JSEED.

La física introduïda en les simulacions CFD de la façana 1 consta dels següents modelats físics:

- S'han considerat les propietats de l'aire al nivell del mar amb densitat variable en funció de la temperatura. Per a això s'ha utilitzat el model de Bousinesqui (Nicolás & Bermúdez, 2010), que corregeix el terme de forces inercials de l'equació de Navier Stokes (Cannone, 1997) per poder capturar la variació de densitat de l'aire amb la temperatura i les corresponents forces convectives generades. Aquest model permet capturar estratificació tèrmica i els corrents generats pels gradients de temperatura a la cambra entre vidres.
- S'ha considerat un model de turbulència Realitzable K – E (Scott-Pomerantz, 2004), que resol en detall les equacions de capa límit en lloc d'aproximar-les (com fan altres models, com el K -l estàndard). Això permet obtenir uns coeficients de convecció molt realistes i capturar en detall els fluxos de calor a les diferents superfícies del model, factors que resulten crítics a l'hora d'avaluar el rendiment termodinàmic de la càmera d'aire i capturar la formació de corrents convectius.
- Per capturar l'efecte de la radiació s'ha emprat el model "Discrete Ordinates" (Caliot, 2010). Aquest model resol les equacions de transferència de calor per radiació per a un determinat nombre d'angles sòlids entre les superfícies designades com a participants en aquesta transferència.

Aquest model és el més apropiat per a simulacions amb un baix "gruix òptic", és a dir, simulacions en les que l'efecte de la radiació absorbida per l'aire és menyspreable.

El model permet especificar propietats dels materials davant diferents longituds d'ona, per tant, es diferencia entre la radiació solar entrant i la radiació infraroja que les superfícies emeten a l'escalfar-se. Aquest modelatge, per tant, permet capturar efectes com l'energia perduda per radiació o l'efecte hivernacle que té lloc en els vidres de l'envidrament en absorbir la radiació infraroja emesa per les parets interiors.

El càlcul de la radiació té un elevat cost computacional, però donada la naturalesa del model s'han hagut de considerar l'intercanvi de radiació entre les parets interiors i els vidres de l'envidrat, el que ha suposat un temps de simulació de gairebé 2 setmanes per a cada escenari.

La física representada en aquestes simulacions resulta extremadament sensible als valors de propietats radioactives dels materials, com l'emissivitat, l'absorbància o la difusivitat a diferents longituds d'ona.

Per tant, i donada la dificultat en trobar els valors d'aquestes propietats en les especificacions dels fabricants, s'han considerat els valors estàndard recollits en el CTE per poder extreure conclusions qualitatives en avaluar els resultats.

Les propietats considerades, que determinen els valors definitius de magnituds com la calor produïda per efecte hivernacle, són les següents:

**Taula 44. Propietats radiatives estàndard usades en els materials del model CFD de Façana 1.**  
Font: projecte JSEED.

	Emisivitat	Absortivitat Banda 1 0 - 2.5 nm	Absortivitat Banda 2 2.5 - 100 nm (Infrarrojo)
Vidre	0,85	0,1	0,95
Terra Prototip (contraxapat)	0,65	0,65	0,65
Parets Prototip (guix / morter)	0,8	0,8	0,8
Lames (ciment)	0,8	0,8	0,8

El procés de càlcul es dirigeix segons el model SDL BuildingSim, tant per llençar les simulacions com per recuperar els resultats, segons arxiu \*.csv, per permetre anàlisi posterior de resultats.

#### 4.2.4. RESULTATS

##### RESULTATS PER LA PART SIMULACIÓ TÈRMICA DINÀMICA

##### ESCENARI SEVILLA:

Les primeres simulacions realitzades en l'escenari SEVILLA, presenten els següents resultats:

**Taula 45. Valors de demanda dels primers models estudiats.** Font: projecte JSEED.

	6+8+6 (int) 10+12+10 (ext)	
(mm)	Refrigeració (Kwh)	Calefacció (Kwh)
150	1659,09	54,32

A partir d'aquí, el primer que es planteja és la col·locació d'elements de protecció solar que millorin el rendiment del sistema. Depenent d'on es situa la protecció solar, el rendiment serà diferent. Finalment s'opta per la següent opció.



**Taula 46. Característiques del model Sim037a. Font: projecte JSEED.**

cod. Simulació	Espessor càmera	Període de simulació	Sistema de clima	Inèrcia	Càrrega lluminació	Tipus vidre interior	Tipus vidre exterior	Protecció solar	Total Refrigeració (kwh)	Total Calefacció (Kwh)
Sim037a	150	anual	si	no	si	6+8+6	10+12+10	Sí. Protecció interior	Estiu: -882,16 Hivern: -1074,06	Estiu: 0 Hivern: 9,73

Com podem veure a la taula anterior, la col·locació de protecció solar (sense inèrcia tèrmica suficient per a ser tinguda en compte) dins de la càmera millora el rendiment pel que fa a calefacció però no millora la refrigeració. No obstant això, després de l'anàlisi, s'ha verificat que la ventilació amb comportes ens permetrà dissipar la calor acumulada en aquells moments que no sigui necessari.

Es continua el procés de simulació amb la col·locació d'inèrcia i la ventilació de la cambra.

**Taula 47. Característiques dels escenaris sim041a i sim043a. Font: projecte JSEED.**

cod. Simulació	Espessor càmera	Període simulat	Sistema de clima	Inèrcia	Càrrega lluminació	Tipus Vidre Interior	Tipus Vidre Exterior	Protecció solar	Total Refrigeració (Kwh)	Total Calefacció (Kwh)
Sim041a	150	anual	si	0,23m3	si	6+8+6	10+12+10	Sí. Protecció interior partició	Estiu -1256,07 Hivern -1057,83	Estiu: 0 Hivern: 0,43
Sim040a	150	anual	si	no	si	6+8+6	10+12+10	Sí. Protecció interior partició	Estiu: -882 Hivern: -937,9	Estiu: 0 Hivern: 8,19

De les dades de la taula anterior, es pot veure que la inèrcia afavoreix el comportament tèrmic en aquells moments on hi ha una demanda de calor, i ho empitjora per al global de la demanda de refrigeració (segons la zona climàtica de l'estudi). Malgrat el resultat de la simulació, s'opta per seguir mantenint la inèrcia, ja que s'espera que gran part del problema de la sobrecàrrega tèrmica es solucioni amb la dissipació, però se seguirà tenint l'aportació de la inèrcia en la millora de la demanda de calefacció.

En un inici, el procés de dissipació de calor del interior es realitza mitjançant l'obertura de comportes exteriors.

**Taula 48. Característiques de l'escenari sim044a. Font: projecte JSEED.**

cod. Simulació	Espessor càmera	Període simulat	Sistema de clima	Inèrcia	Càrrega lluminació	Tipus Vidre Interior	Tipus Vidre Exterior	Protecció solar	Total Refrigeració (Kwh)	Total Calefacció (Kwh)
Sim044a	150	anual	si	0,23m3	si	6+8+6	10+12+10	Sí. Protecció interior partició	Estiu: -882,03	Estiu: 0 hivern: 20,32
Compuertas	(int) sup. lzq	(int) sup. Derch.	(int) inf. lzq.	(int) inf. Derch.	(ext) sup. lzq	(ext) sup. Derch.	(ext) inf. lzq.	(ext) inf. Derch.	Hivern: -555,71	
Sim044a	Tancat	Tancat	Tancat	Tancat	Obert	Obert	Obert	Obert		

El resultat d'obrir les portes exteriors és una reducció de la demanda de refrigeració i un augment de la demanda de calefacció. Com era d'esperar, l'obertura de portes té un gran impacte sobre el comportament. Es proven diverses configuracions i finalment es dona per millor la que veiem a continuació.

**Taula 49. Característiques de l'escenari sim054a. Font: projecte JSEED.**

cod. Simulació	Espessor càmera	Període simulat	Sistema de clima	Inercia	Càrrega Il·luminació	Tipus Vidre Interior	Tipus Vidre Exterior	Protecció solar	Total Refrigeració (Kwh)	Total Calefacció (Kwh)
Sim054a	150	anual	si	0,23m3	si	6+8+6	10+12+10	Sí. Protecció interior partició	Estiu: -79278	Estiu: 0
compuertas	(int) sup. Izq	(int) sup. Derch.	(int) inf. Izq.	(int) inf. Derch.	(ext) sup. Izq	(ext) sup. Derch.	(ext) inf. Izq.	(ext) inf. Derch.	Hivern: 470	Hivern: 26,16
Sim054a	Tancat	Tancat	Feb-Nov Obert	Feb-Nov Obert	Obert	Obert	Obert	Obert		

A continuació, s'analitzen el comportament dels diferents vidres.

**Taula 50. Característiques de l'escenari sim071a. Font: projecte JSEED.**

cod. Simulació	Espessor càmera	Període simulat	Sistema de clima	Inercia	Càrrega Il·luminació	Tipus Vidre Interior	Tipus Vidre Exterior	Protecció solar	Total Refrigeració (Kwh)	Total Calefacció (Kwh)
Sim071a	150	anual	si	0,23m3	si	10+10+10	10+12+10	Sí. Protecció interior partició	Estiu: -676,06	Estiu: 0
compuertas	(int) sup. Esq	(int) sup. Dreta.	(int) inf. Esq.	(int) inf. Dreta.	(ext) sup. Esq	(ext) sup. Dreta.	(ext) inf. Esq.	(ext) inf. Dreta.	Hivern: -162,7	Hivern: 9,64
Sim071a	Tancat	Tancat	Feb-Nov Obert	Feb-Nov Obert	Obert	Obert	Obert	Obert		

Com es Pot observar, la col·locació d'un vidre de millor qualitat a la façana interior millora el rendiment del sistema.

#### ESCENARI BILBAO:

Les primeres simulacions realitzades en l'escenari de Bilbao llancen els següents resultats.

**Taula 51. Característiques de l'escenari sim052a. Font: projecte JSEED.**

cod. Simulació	Espessor càmera	Període simulat	Sistema de clima	Inèrcia	Càrrega lluminació	Tipus Vidre Interior	Tipus Vidre Exterior	Protecció solar	Total Refrigeració (Kwh)	Total Calefacció (Kwh)
sim052a	150	anual	si	no	no	6+8+6	10+12+10	no	Estiu: -64,13	Estiu: 35,02
compuertas	(int) sup.Esq	(int) sup. Dreta.	(int) inf.Esq.	(int) inf.Dreta.	(ext) sup.Esq	(ext) sup. Dreta.	(ext) inf.Esq.	(ext) inf.Dreta.	Hivern: -101,41	Hivern: 397,69
sim052a	Obert Hiv Tancat Est	Obert Hiv Tancat Est	Obert Hiv Tancat Est	Obert Hiv Tancat Est	Tancat Hiv Obert Est	Tancat Hiv Obert Est	Tancat Hiv Obert Est	Tancat Hiv Obert Est		

Com es pot observar, el model presenta una demanda de calefacció gairebé 3 vegades més gran que la de refrigeració. De l'anàlisi previ es coneix la capacitat de la càmera per generar calor amb la col·locació d'una protecció solar a la cambra intermèdia.

**Taula 52. Característiques de l'escenari bNoSim037a. Font: projecte JSEED.**

cod. Simulació	Espessor càmera	Període simulat	Sistema de clima	Inèrcia	Càrrega lluminació	Tipus Vidre Interior	Tipus Vidre Exterior	Protecció solar	Total Refrigeració (Kwh)	Total Calefacció (Kwh)
bNoSim037a	150	anual	si	no	si	6+8+6	10+12+10	Si. Protecció interior partició	Estiu: -91,06	Estiu: 23,15
compuertas	(int) sup.Esq	(int) sup. Dreta.	(int) inf.Esq.	(int) inf.Dreta.	(ext) sup.Esq	(ext) sup. Dreta.	(ext) inf.Esq.	(ext) inf.Dreta.	Hivern: -167,12	Hivern: 348,91
bNoSim037a	Obert Hiv Tancat Est	Obert Hiv Tancat Est	Obert Hiv Tancat Est	Obert Hiv Tancat Est	Tancat Hiv Obert Est	Tancat Hiv Obert Est	Tancat Hiv Obert Est	Tancat Hiv Obert Est		

Amb la inclusió de la protecció solar ja hem aconseguit disminuir en part la demanda de calefacció.

**Taula 53. Característiques de l'escenari bNoSim059a. Font: Elaboració pròpia.**

cod. Simulació	Espessor càmera	Període simulat	Sistema de clima	Inèrcia	Càrrega lluminació	Tipus Vidre Interior	Tipus Vidre Exterior	Protecció solar	Total Refrigeració (Kwh)	Total Calefacció (Kwh)
bNoSim059a	150	anual	si	no	no	6+8+6	10+12+10	Si. Protecció interior partició	Estiu: -90,79	Estiu: 17,5
compuertas	(int) sup.Esq	(int) sup. Dreta.	(int) inf.Esq.	(int) inf.Dreta.	(ext) sup.Esq	(ext) sup. Dreta.	(ext) inf.Esq.	(ext) inf.Dreta.	Hivern: -67,24	Hivern: 344,92
bNoSim059a	Tancat	Tancat	Obert Jul- Sep	Obert Jul- Sep	Obert Jun/Set/Feb/ Maig 15:00-18:00	Obert Jun/Set/Feb/ Maig 15:00-18:00	Obert Jun/Set/Feb/ Maig 15:00-18:00	Obert Jun/Set/Feb/ Maig 15:00-18:00		

Amb la configuració de ventilació plantejada en el model bNosim037a s'aconsegueix una reducció de la demanda de refrigeració d'un 5% i una demanda de calefacció d'un 17%.

A continuació, s'estudia l'aportació que la inèrcia pot fer al sistema.

**Taula 54. Característiques de l'escenari bNoSim060a. Font: projecte JSEED.**

cod. Simulació	Espessor càmera	Període simulat	Sistema de clima	Inèrcia	Càrrega Il·luminació	Tipus Vidre Interior	Tipus Vidre Exterior	Protecció solar	Total Refrigeració (Kwh)	Total Calefacció (Kwh)
bNoSim060a	150	anual	si	0.23m3	no	6+8+6	10+12+10	Sí. Protecció interior partició	Estiu: -81,59	Estiu: 14,36
compuertas	(int) sup.Esq	(int) sup. Dreta.	(int) inf.Esq.	(int) inf.Dreta.	(ext) sup.Esq	(ext) sup. Dreta.	(ext) inf.Esq.	(ext) inf.Dreta.	Hivern: -56,62	Hivern: 336,55
bNoSim060a	Tancat	Tancat	Obert Jul-Sep	Obert Jul-Sep	Tancat Hiv Obert Est	Tancat Hiv Obert Est	Tancat Hiv Obert Est	Tancat Hiv Obert Est		

La taula anterior mostra que la col·locació de la inèrcia no suposa tot just variació. Això es deu principalment a dos motius. El primer és que, per raons constructives, tan sols es poden col·locar 0.23m3 de massa, la qual cosa no és suficient per generar un impacte. El segon és el funcionament de màxima ventilació de la càmera, la qual cosa també mitiga la influència de la inèrcia.

Finalment, es planteja un canvi en les característiques dels vidres utilitzats. Dels models estudiats on el millor rendiment que es va obtenir va ser el següent:

**Taula 55. Característiques de l'escenari bNoSim062a. Font: projecte JSEED.**

cod. Simulació	Espessor càmera	Període simulat	Sistema de clima	Inèrcia	Càrrega Il·luminació	Tipus Vidre Interior	Tipus Vidre Exterior	Protecció solar	Total Refrigeració (Kwh)	Total Calefacció (Kwh)
bNoSim062a	150	anual	si	0.23m3	No	10+12+10	10+12+10	Sí. Protecció interior partició	Estiu: -22,76	Estiu: 10,99
comportes	(int) sup.Esq	(int) sup. Dreta.	(int) inf.Esq.	(int) inf.Dreta.	(ext) sup.Esq	(ext) sup. Dreta.	(ext) inf.Esq.	(ext) inf.Dreta.	Hivern: -20,52	Hivern: 318,64
bNoSim062a	Tancat	Tancat	Obert Jul-Set	Obert Jul-Set	Obert Jul-Set Feb-Maig 15:00 - 18:00	Obert Jul-Set Feb-Maig 15:00 - 18:01	Obert Jul-Set Feb-Maig 15:00 - 18:02	Obert Jul-Set Feb-Maig 15:00 - 18:03		

Com podem observar el model presenta una millora respecte a l'inicial, sent la reducció de la demanda de refrigeració d'un 74%, i la calefacció d'un 24%. És probable que amb un control més exhaustiu de la ventilació pogués permetre una major reducció de la demanda, però les eines informàtiques utilitzades no arriben a aquest grau de control, podent plantejar aquest estudi en la fase de monitorització.

### **RESULTATS PER LA PART CFD**

Tenint en compte les simulacions realitzades, les dues simulacions d'hivern pretenen capturar la influència d'usar lames en l'espai intermedi de la façana com inèrcia tèrmica. En una d'elles (SIM1) es van instal·lar lames de formigó capturant el sol entrant, que per tant no accedia a l'interior.

En les simulacions d'estiu es va combinar l'obertura de les comportes interiors i exteriors per intentar obtenir una major ventilació i evacuació de calor de l'interior.

En totes les simulacions es van considerar propietats de transferència de calor mitjançant ones de radiació en els vidres.

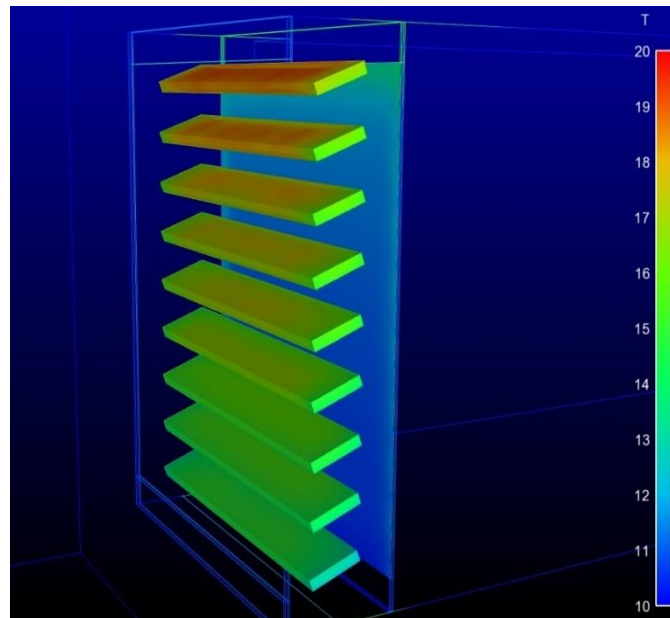


Fig. 101. Temperatura assolida per les lames a l'hivern( Sevilla). Font: projecte JSEED.

Les lames actuen com a motor tèrmic emmagatzemant calor i alliberant-lo lentament a l'aire que circula entre elles en funció de la seva velocitat.

És important destacar que la inclinació de 20º de les lames és la necessària perquè aquestes capturin el màxim de radiació solar, evitant que aquesta escalfi l'interior del prototip i concentrant la calor a l'espai de la càmera.

La següent imatge mostra el camp de velocitats que es genera en l'espai de la càmera com a conseqüència de la irradiació solar rebuda per aquestes.

S'observa que l'aire circula lentament entre les lames per accelerar-un cop circula al costat del vidre interior. La proporció de l'aire que circula ràpidament cap amunt i la de l'aire que circula lentament entre les lames extraient calor del seu interior ve determinada per l'espai entre les lames i els vidres i per la inclinació de les lames. Per tant tots dos factors constitueixen un bon instrument de regulació de la temperatura i de la durada de la inèrcia tèrmica.

També s'observa una clara diferència en el flux de la meitat inferior de la cambra i la meitat superior. La següent imatge mostra el camí seguit per l'aire després d'entrar a la cambra.

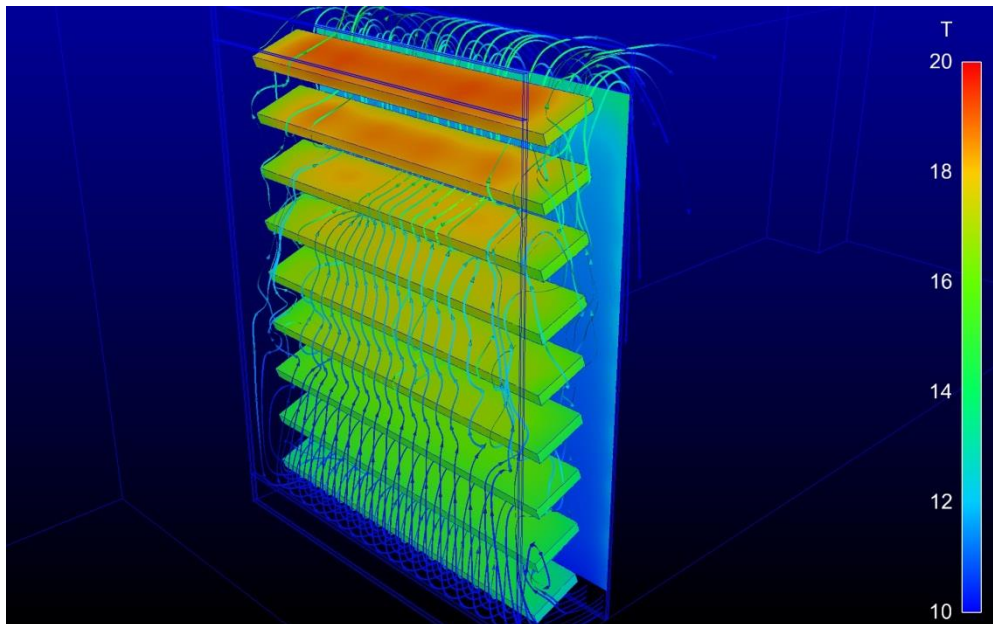


Fig. 102. Línies de flux entre lames per escenari d'hivern amb lames. Font: projecte JSEED.

S'observa com l'aire fred recentment introduït a la cambra ascendeix pel vidre exterior, responant a les forces convectives d'ascensió vertical.

La calor introduïda al prototip per l'aire escalfat en les lames de la cambra d'aire és de 138 W, elevant 7°C la temperatura de l'aire.

Per tot l'anterior es pot concloure que per a cada disseny de lames hi ha unes corbes de comportament que descriuen la temperatura, el cabal i la durada de la inèrcia obtingudes.

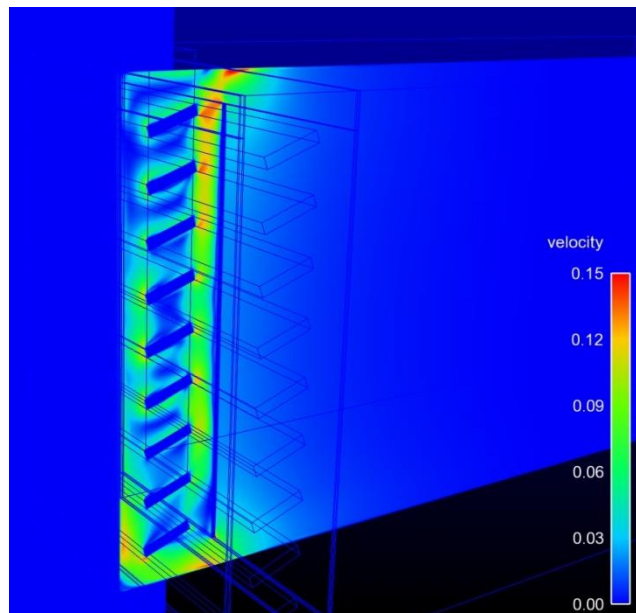


Fig. 103. Camp de velocitats en cambra d'aire per escenari d'hivern amb lames. Font: projecte JSEED.

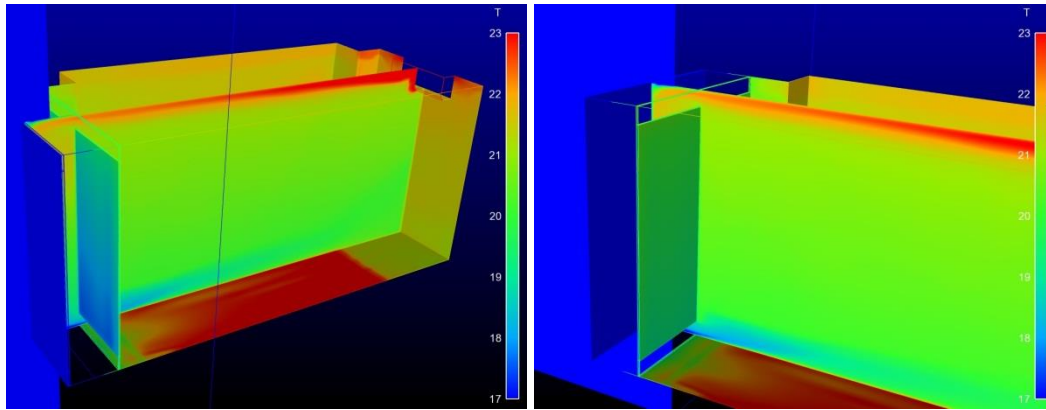


Fig. 104. Mapa de temperatures de vidres i sòl per escenari hivern sense lames. Font: projecte JSEED.

És important destacar que, mentre que en la solució amb lames el corrent generat era ascendent a causa de l'elevada temperatura assolida per aquestes, en aquest següent escenari sense lames, el corrent de la càmera és descendent. Això es deu al fet que la principal font de calor, formada per terra irradiat i reforçada pel climatitzador injectant aire a 30°C, es troba a l'interior del prototip. La següent imatge mostra el camp de velocitats obtingut.

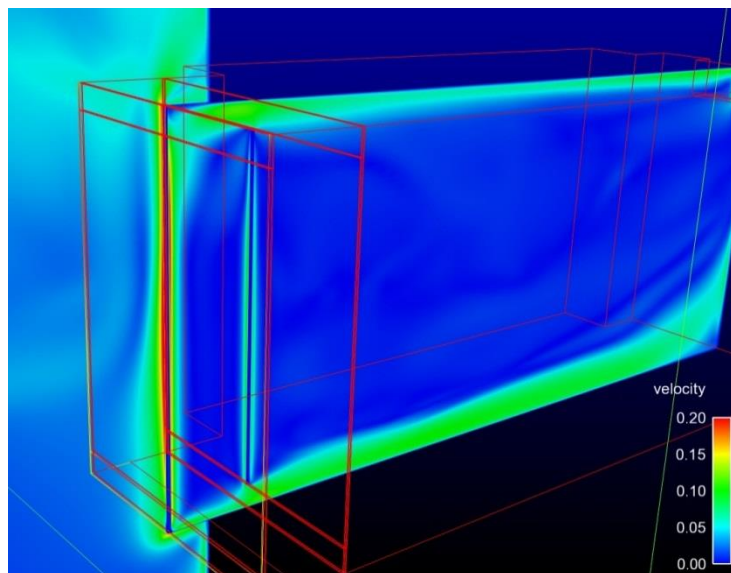


Fig. 105. Mapa de velocitats per escenari hivern sense lames. Font: projecte JSEED.

S'observa que el corrent rotatori generat " escombra " la superfície del vidre exterior fins amb 0,12 m/s. Aquest efecte dota de gran rellevància el nivell de qualitat (aïllament) del vidre exterior en detriment de l'interior, que queda relegat a un segon pla.

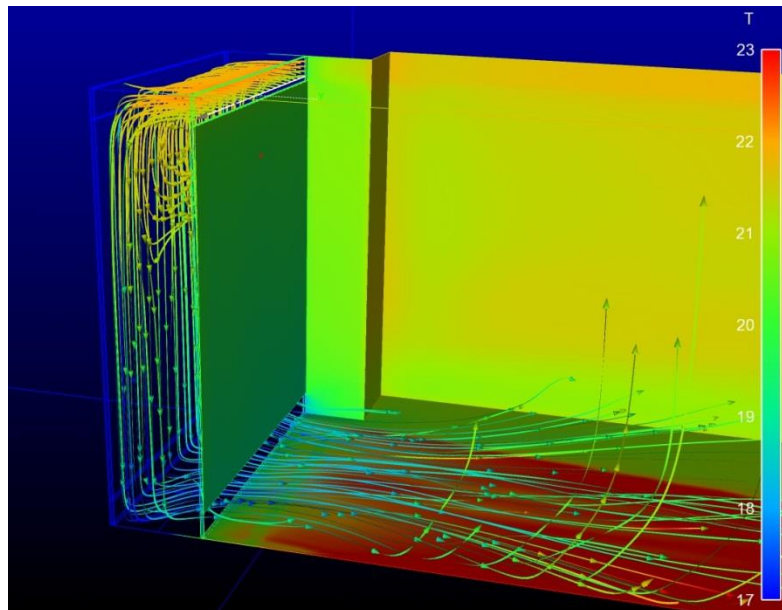


Fig. 106. Línies de flux en cambra d'aire per escenari hivern sense lames. Font: projecte JSEED.

A tall d'exemple, els resultats mostren una diferència de 4°C entre les cares externes i internes del vidre exterior i tan sols d'1 °C per a les del vidre interior.

Analitzant el **comportament de les comportes**: en aquest punt s'analitza el comportament del sistema en obrir les comportes inferiors, o superiors o totes dues.

Les condicions de radiació solar i resta de condicions de contorn corresponen a les de Sevilla a 21 de juny (15.00 h, aire exterior a 25°C, aire refrigeració a 21°C, cabal nominal d'equip de climatització: 0,4m<sup>3</sup>/min).

#### COMPORTA INFERIOR:

Les dues comportes exteriors es troben obertes per evacuar l'aire calent. La comporta interior inferior es troba també oberta perquè el corrent ascendent de la càmera pugui aspirar aire de l'interior del prototip.

L'objectiu principal d'aquesta simulació és el de capturar els detalls del refredament de l'espai interior i dels corrents d'aire de la cambra a causa de la penetració de la radiació solar sense obstacles.



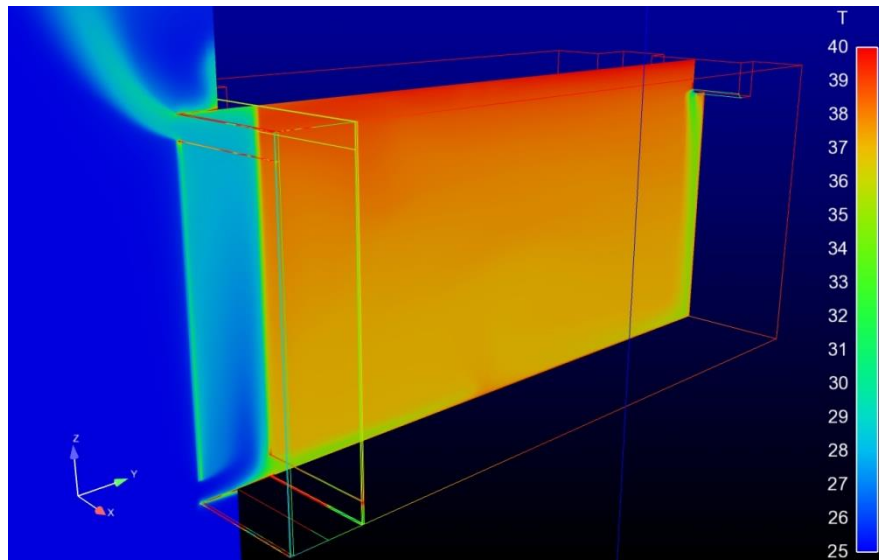


Fig. 107. Distribució de temperatures en pla mitjà per escenari d'estiu. Font: projecte JSEED.

S'observa que, tot i la temperatura exterior elevada corresponent a les condicions d'estiu, l'interior del prototip es troba a una temperatura molt més gran (38 °C aproximadament). Això es deu principalment a la radiació solar que entra a l'interior del prototip i per la distribució dels corrents d'aire.

Les parets interiors reben radiació solar difusa, que malgrat ser molt inferior en magnitud a la radiació solar directa rebuda per la càmera (fins a 700 W/m<sup>2</sup>), a l'estiu constitueix una font de calor gens menyspreable (uns 5 W/m<sup>2</sup> enfront de els 0,5 W/m<sup>2</sup> de l'hivern).

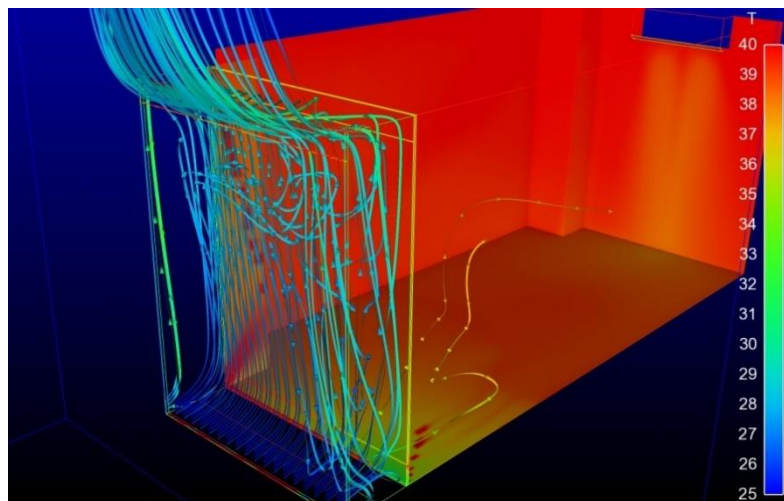


Fig. 108. Pathlines de l'aire introduït a la cambra per escenari d'estiu. Vista 1. Font: projecte JSEED.

Els resultats mostren que el flux d'aire exterior que entra a l'interior del prototip és virtualment nul ( 0,000005 kg/s ) .

*En total, la cambra d'aire en aquesta configuració de comportes extreu 477 W mitjançant l'aire calent expulsat per les seves comportes respecte al mateix prototip sense càmera ventilada.*

### COMPORTA SUPERIOR:

L'objectiu és el d'observar si obrint la comporta superior es millora l'extracció de calor de l'interior del prototip en aquesta configuració d'estiu.

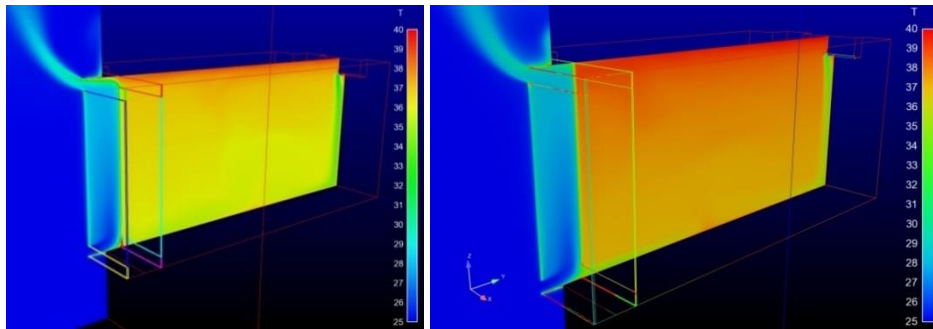


Fig. 109. Comparativa entre mapa de temperatures per escenari d'estiu amb comporta interior superior oberta( esquerra) o inferior( dreta). Font: projecte JSEED.

S'observa clarament que s'obté una millora de 2°C aproximadament en la temperatura de l'interior del prototip, així com millores equivalents a les temperatures dels vidres interior i exterior.

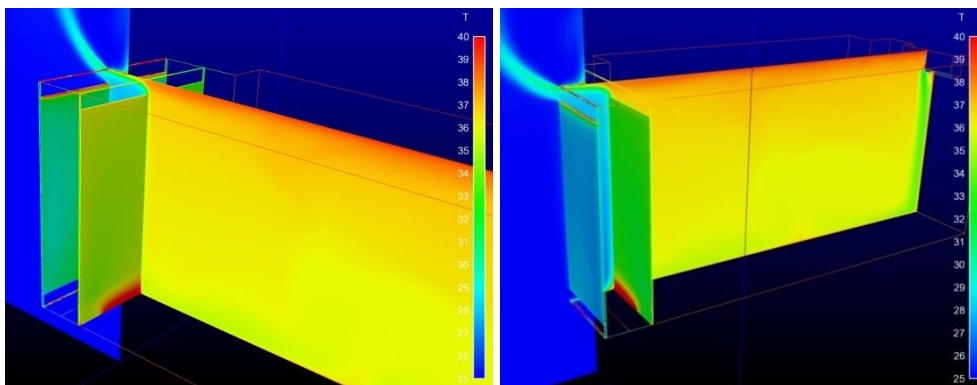


Fig. 110. Mapa de temperatures de vidres per escenari d'estiu amb comporta interior superior oberta. Font: projecte JSEED.

Aquesta millora de la temperatura interior es deu al fet que el corrent convectiu de la cambra d'aire extreu aire calent de la part superior del prototip, reduint significativament la seva càrrega tèrmica.

No obstant això, igual que en la configuració amb comporta inferior oberta, el flux d'aire és reduït i inestable a causa de les reduïdes dimensions del prototip i a la seva configuració de portes, que no permet una entrada d'aire clara i independent.

En aquesta configuració s'aconsegueix extreure 563 W de calor tan sols pel fet de tenir obertes les dues portes en el vidre interior, el que suposa un increment del 25 % respecte al cas anterior( només comporta inferior oberta).

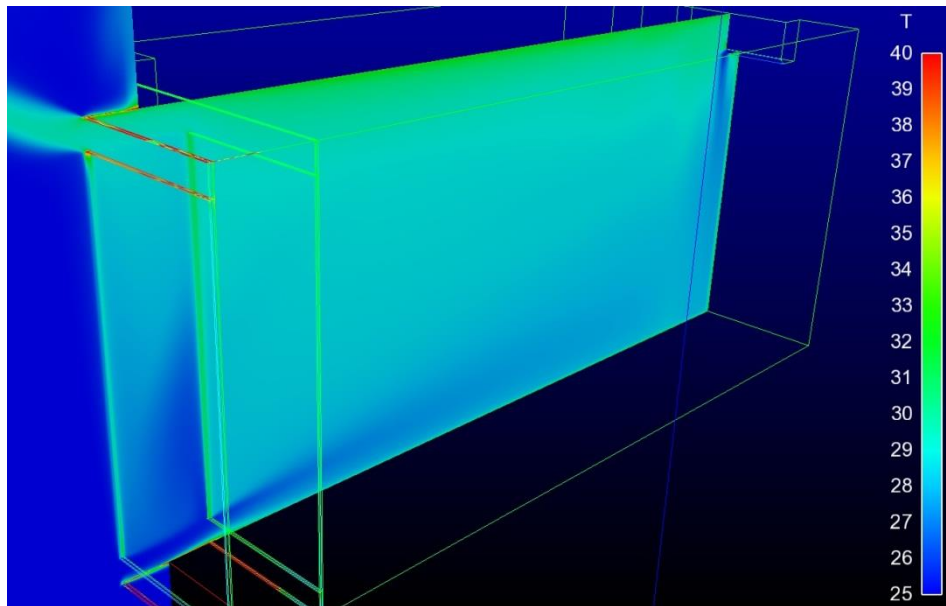
Tot sembla indicar que obrir més la comporta inferior ajudaria tant a l'ingrés d'aire fresc al prototip a la part inferior com a l'extracció de l'aire calent de la seva part superior, el que podria contribuir a reduccions de temperatura de 5 graus o fins i tot majors.

### COMPORTA INFERIOR I SUPERIOR:

L'objectiu és el d'observar si l'obertura de totes les comportes afavoreix la ventilació i, per tant, l'evacuació de la calor acumulada per l'efecte hivernacle.

L'estratificació tèrmica generada tant a la cambra com a l'interior del prototip podrien generar corrents convectius prou forts com per afavorir la ventilació de l'espai interior a través de les comportes independentment del funcionament del sistema de clima.

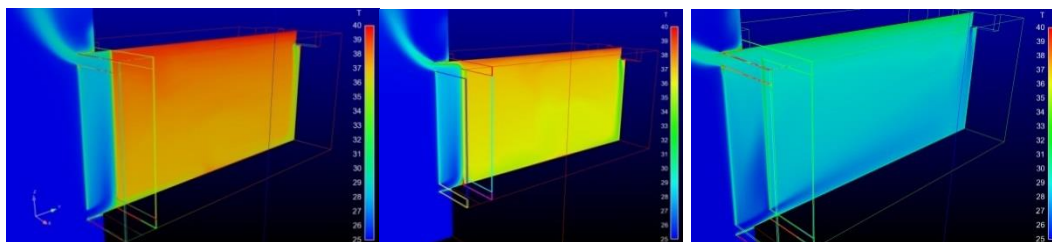
La següent imatge mostra el mapa de temperatures assolit per aquesta configuració.



**Fig. 111. Distribució de temperatures en pla mitjà per escenari d'estiu amb les dues comportes interiors obertes. Font: projecte JSEED.**

La temperatura interior es troba al voltant dels 29°C i al voltant dels 28°C a la cambra d'aire. S'observa clarament que l'obertura de les comportes interiors afavoreix la renovació de l'aire interior, el que permet extreure l'aire calent acumulat a la part superior de l'espai interior.

Les següents imatges mostren comparativament les temperatures assolides en les configuracions d'estiu per a les simulacions 3, 4 i 5 a la mateixa escala de valors.



**Fig. 112. Distribució de temperatures en pla mitjà per escenaris d'estiu amb diferents configuracions de comportes interiors. Només inferior (esquerra), només superior (centre) i les dues (dreta). Font: projecte JSEED.**

La diferència de temperatura, s'aprecia especialment a la cara interior del vidre interior, que presenta una temperatura 6°C inferior a la de les configuracions anteriors.

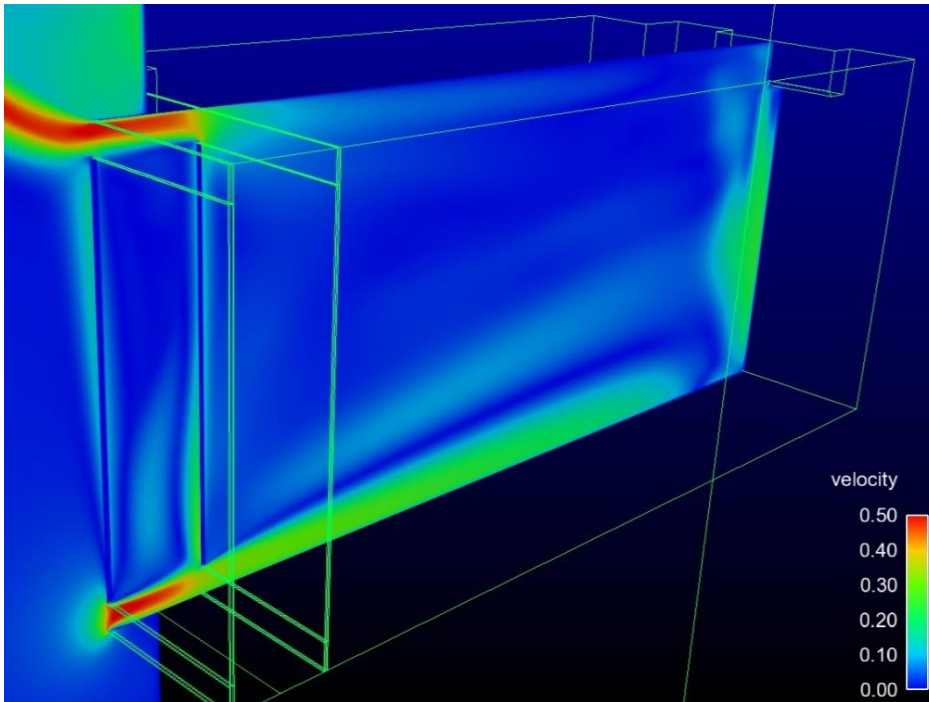


Fig. 113. Mapa de velocitats per escenari d'estiu amb totes les comportes obertes. Font: projecte JSEED.

En els mapes de velocitat s'observa clarament com l'aire fresc exterior s'accedeix a l'interior del prototip engolit per la sortida d'aire calent a través de les comportes superiors. L'aire exterior no només accedeix a l'interior i renova l'aire del prototip, sinó que també ventila la càmera i refrigera els vidres, escalfats per la radiació solar i l'efecte hivernacle. A la imatge següent s'arriben a apreciar aquests corrents convectius ascendents de l'aire que entra en contacte amb el vidre.

La major ventilació de l'espai interior afavoreix la barreja de tres masses d'aire: l'aire calent interior, el provinent del climatitzador Daikin i l'introduït des de l'exterior per la comporta interior inferior. Aquest fenomen, a més d'extreure aire calent i disminuir el nivell de temperatures, redueix dràsticament l'estratificació tèrmica dins del prototip. La següent imatge mostra el camí seguit per l'aire absorbit per la comporta inferior i el nivell de barreja en l'interior del prototip.

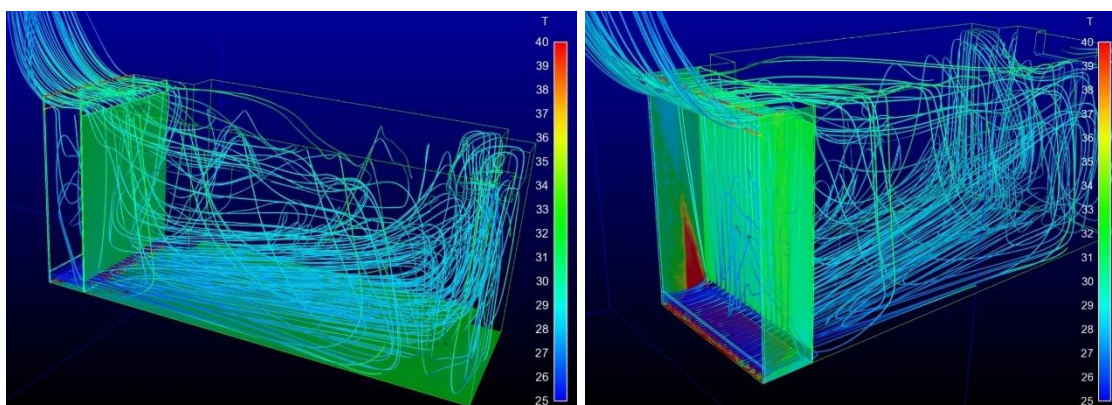


Fig. 114. Pathlines de l'aire absorbit per les comportes de la càmera per escenari d'estiu amb totes les comportes obertes. Vista 1 i 2. Font: projecte JSEED.

En aquesta configuració s'extreuen 607 W de calor amb l'aire que abandona el prototip per la comporta exterior superior. No obstant, la situació tèrmica és molt més favorable que en els casos anteriors, ja que el nivell de renovació de l'aire és molt superior i descendeix dràsticament el nivell de radiació infraroja acumulada a l'interior del prototip.

#### 4.2.5. CONCLUSIONS

Conclusions de l'entorn de co-simulació:

- El procés metodològic utilitzat i la combinació de dos motors de càlcul va permetre arribar a major detall en l'estudi.
- BuildingSim va integrar en un mateix entorn, model SDL, essent capaç de recopilar totes les dades i resultats per la mostra de resultats posterior.
- La rapidesa en la preparació dels diferents escenaris sota aquest entorn de co-simulació va permetre reduir despeses internes del projecte millorant l'eficiència de comunicació entre els equips i eliminar possibles errors humans.

Les conclusions inicials, específiques del cas d'estudi, que s'arriben són:

- La metodologia presentada és eficaç per trobar els millors escenaris ja que, en relació a la configuració inicial, es milloren: Per a Sevilla, s'ha aconseguit reduir la demanda de refrigeració respecte al punt inicial en un 34%, mentre que la demanda de calefacció s'ha reduït en un 52% (sense optimitzar els vidres). Finalment l'última configuració, Sim071a (veure taula 47), presenta una reducció de la demanda de refrigeració del 50% i una demanda de calefacció el 84%. Per a Bilbao, s'aconsegueix una reducció de la demanda de refrigeració d'un 74%, i la calefacció d'un 24%. És probable que amb un control més exhaustiu de la ventilació pogués permetre una major reducció de la demanda, però les eines informàtiques utilitzades no arriben a aquest grau de control, podent plantejar aquest estudi en la fase de monitorització.
- L'ampliació del gruix de la cambra d'aire millora el comportament a l'hivern, redueix la demanda de calefacció, però l'empitjora a l'estiu.
- La millora del vidre suposa un augment de l'eficiència tant a l'estiu com a l'hivern.
- En tractar-se d'una oficina, amb altes càrregues internes, seria interessant comprovar el comportament amb una configuració de comportes pròpia d'estiu (flux d'aire exterior) també a l'hivern.
- Les reixetes ajuden a un millor confort interior per hivern sempre que s'obrin tant superiorment com inferiorment i que la de fora no superi a la interior. En cas contrari, és recomanable aïllar l'interior, tancar les comportes perquè la cambra d'aire es comporti com a mur protector; sempre en combinació amb les lames de protecció solar (ja que la major aportació de calor es deu per la radiació solar).

Com a conclusions finals, observem:

- Els resultats revelen que d'aquests elements; gruix de la càmera, protecció solar, ventilació, vidre i inèrcia, són la ventilació, protecció solar i vidre els elements que major impacte tenen en el funcionament del sistema.

- La protecció solar interior aconsegueix acumular calor a la cambra intermèdia aconseguint temperatures de més de 50°C a l'hivern. El principal problema per poder aprofitar aquesta calor és el moment en què es produeix, ja que no és el moment en què més es necessita, sent la seva acumulació difícil per les pèrdues cap a l'exterior. Aquestes pèrdues es poden millorar col·locant vidres amb uns valors de transmissivitat baixos, però aquests valors solen venir acompanyats de valors de factor solar també baixos, la qual cosa redueix la captació, tal com s'ha pogut observar en l'estudi de CFD. Per tant, l'equilibri entre aquests dos factors és important i requereix d'un estudi particular de cada situació on una façana es vagi a col·locar.
- En el cas estudiat el factor solar té un impacte major sobre la temperatura de la cambra.
- En tractar l'estudi sobre una tipologia d'oficina, les demandes de calefacció es central en les primeres hores del dia, de 08:00 a 10:00. L'aportació de la façana en aquestes hores del dia no és significatiu, reduint-se a un funcionament com matalàs tèrmic, no havent radiació solar significativa a aquelles hores. Per aquest motiu els millors resultats s'obtenen amb vidres de valors de transmissivitat baixos.
- La segona concentració de demanda de calefacció es produeix en les últimes hores del dia, de 20:00 a 22:00. En aquest cas la presència d'inèrcia no ha estat suficient per disminuir la demanda significativament, tot i que l'estudi de CFD indica que les llames proporcionen un augment de 7°C en la temperatura de l'aire que ingressa a la cambra. A més el seu rendiment depèn molt de paràmetres geomètrics com la mida, l'orientació o la disposició dins la cambra. El funcionament d'aquesta a més es veu perjudicat per la necessitat de ventilar en les hores de major calor acumulada, entre 15:00 i 18:00, per evitar sobreescalfament. Els estudis amb CFD indiquen que en condicions d'hivern la radiació solar directa penetra en el prototip, en el qual s'escalfa l'aire fins als 21°C per l'efecte hivernacle. Això genera que en obrir les portes de la cambra es generi un corrent convectiu descendent que li fa perdre 118W.
- La configuració de portes en mode estiu suposa un paràmetre crític, ja que no només influeix en la temperatura de l'aire extret de l'interior, sinó també en el nivell de radiació involucrada en l'efecte hivernacle:
  - S'ha observat que amb només una de les dues portes interiors obertes no s'aconsegueix renovació d'aire per l'efecte convectiu de la cambra.
  - Malgrat aquest efecte, el fet d'obrir la porta interior superior suposa una diferència de 2 ° C en la temperatura de l'interior del prototip pel que fa a l'obertura de la porta inferior. L'aire en contacte amb el flux convectiu de la cambra es troba a major temperatura i evacua més calor al corrent de la cambra.
  - No obstant això, s'observa que si s'obren totes les portes es genera un corrent d'aire que renova l'espai interior i no només redueix la seva temperatura mitjana sinó també els nivells de radiació infraroja i l'efecte

hivernacle associat. Això es tradueix en una disminució de 9°C aproximadament en la temperatura de l'interior del prototip.

- La gestió de la ventilació, evitant el sobreescalfament però sense refredar la càmera per complet. Aquesta gestió amb alt grau de control no es pot realitzar amb l'eina de programari utilitzada, de manera que els resultats pel que fa a la inèrcia deixen llancen cert nivell d'incertesa. Per aprofundir en el seu estudi, es proposa continuar l'estudi durant el monitoratge i / o la realització de simulacions transitòries amb eines de CFD.

- Un cop fet tot l'estudi es comprova que la configuració de les solucions adoptades per als dos escenaris proposats són molt similars, diferenciant-se únicament en el tipus vidre interior.

Es pot concloure que la metodologia utilitzada, el sistema de simulació i l'entorn de co-simulació emprat, van facilitar la tasca en la realització de l'estudi, ja que va permetre controlar tot el procés de càlcul sota un mateix entorn, evitant errors i millorant el rendiment del sistema.

#### **RECOMANACIONS FINALS PER LA CONSTRUCCIÓ DEL PROTOTIP:**

Finalment, per a la construcció final del prototip de façana, es proposen les següents recomanacions, que atenen, no solament a criteris d'optimització del model sinó a la seva facilitat i viabilitat de construcció.

Sevilla: Doble façana amb cambra d'espessor de 150mm \*. Vidre intern de 6 + 8 + 6, amb un valor U de 3 (W/m<sup>2</sup>°C) i un factor solar (SHGC) de 0,5 i un vidre extern de 10 + 12 + 10 sota emissiu amb un valor U de 1.89 (W/m<sup>2</sup>°C) i un factor solar (SHGC) de 0559. Disposa d'una protecció solar al centre de la cambra formada per lames de formigó \*\*. La ventilació de la cambra es realitza a través de comportes superiors i inferiors i encara que en el present estudi s'ha desenvolupat un funcionament horari, en el model es proposa un funcionament a força de setpoints de temperatures.

Bilbao: Doble façana amb cambra d'espessor de 150mm \*. Vidre intern i extern de 10 + 12 + 10 sota emissiu amb un valor U de 1.89 (w / M2c) i un factor solar (SHGC) de 0559. Disposa d'una protecció solar al centre de la cambra formada per lames de formigó \*\*. La ventilació de la cambra es realitza a través de comportes superiors i inferiors i encara que en el present estudi es desenvolupat un funcionament horari, en el model es proposa un funcionament a força de setpoints de temperatures.

*\* El gruix de cambra que millor rendiment va oferir va ser el de 150mm. No obstant això aquesta millora respecte a altres gruixos no és significativa en relació als valors quantitatius totals de millora de la solució proposada. Això unit a la complexitat des d'un aspecte constructiu i de manteniment que ofereix una càmera de 150 mm de gruix fa aconsellar la construcció de la càmera amb un gruix de 500mm.*

*\*\* L'anàlisi del comportament del sistema en relació amb la inèrcia fa veure que aquesta pot tenir un paper interessant en el desenvolupament de façanes dobles. Per aquest motiu, s'aconsella la construcció d'almenys una de les dues façanes amb unes lames que aportin inèrcia i ens permetin comprovar el funcionament del sistema i comparar els resultats entre elles.*

### **4.3. PROJECTE ACE: Assistent per a l'educació per al comportament energètic eficient dels usuaris.**

Projecte de I+D en el marc del Mecanisme Financer EEA-Grants 2009-2014 en l'àmbit de les energies renovables i el canvi climàtic.

Les entitats participants han estat: VIAS, LaVola i la UPC Barcelonatech.

Part dels resultats han estat presentats en la següent revista: **Sustainability, MPDI, 2016**. 'Analysis of Applications to Improve the Energy Savings in Residential Buildings based on SQMO'. DOI: 10.3390/su8101051.

El projecte va permetre validar l'algorisme Hill climbing, comparant els resultats de les simulacions mitjançant 'força bruta'. Es van poder analitzar diferents assistents energètics 'on line' per incorporar la seva funcionalitat en el sistema NECADA.

Després d'atendre a tot el procés de càlcul, també es va integrar i millorar al simulador, el sistema de tractament de dades i de mostra de resultats per tal de que fos comprensible pels usuaris i millorar el comportament amb benefici de l'estalvi energètic i confort, mitjançant la 'gamificació'.

#### **4.3.1. INTRODUCCIÓ**

La modelització, simulació i anàlisi de resultats d'un sistema d'eficiència energètica aplicat a la construcció i/o remodelació d'habitatges és una tasca àrdua i complexa que requereix d'un elevat càlcul computacional, i la conseqüent demora que aquest procés comporta.

La idea de canviar el comportament dels usuaris s'ha fet popular els darrers 10 anys. D'altra banda, el desenvolupament de sistemes de gestió d'energia (SGE) per als usuaris domèstics va ser accelerada pels primers assajos en aquest camp de les empreses internacionals ben coneguts fa uns 5 anys, que accidentalment no va tenir èxit i va haver de tancar els seus projectes (Fehrenbacher, Katie, 2011). Per tant, aquest mercat és bastant nou i no estructurat.

Les necessitats de reducció del impacte ambiental i del consum energètic impulsa a les empreses i els usuaris finals a posar en pràctica els instruments de política ambiental, com SGE. Una anàlisi específica pot ser revisat en (Merli, Preziosi, & Ippolito, 2015) que assenyalen els problemes crítics en la implementació d'aquests sistemes.

La *gamificació* és una simulació d'esdeveniments del món real o processos desenvolupats per tal de resoldre un problema (Adams, 2009). Els principals objectius d'un 'game' aplicat a sistemes (sense tenir en compte l'entreteniment), en general, són per entrenar o educar els usuaris. La gamificació es pot utilitzar per atraure els usuaris en el procés d'estalvi d'energia sense sobrecarregar-lo amb grans quantitats d'informació. Dins del 'game', la informació sobre l'estalvi d'energia es torna útil per l'usuari. El procés té dos objectius principals: (i) obtenir informació sobre els hàbits dels usuaris per proporcionar dades més properes a la realitat; (ii) donar informació a un usuari per tal d'ensenyar-li com fer servir l'energia amb eficiència.



Una aplicació '*gamificada*' ha de proporcionar a l'usuari quatre característiques principals (Houda Mouaheb, 2012):

1. **Desafiament:** Hi ha dues raons òbvies per a la gestió de l'energia: gastar menys diners en les factures d'energia i, si està preocupat pel medi ambient, per reduir els impactes associats. Però, sobre la base de la primera regla de la persuasió: el desafiament és un dels sistemes amb major influència social pel comportament de la gent (Goldstein N. J., 2008). Per tant, una competició pot ser una font d'un SGE desafiament.
2. **Curiositat:** Si la informació proporcionada és exacta a la realitat, ben explicat i mostra les relacions i connexions que no són tan òbvies per a un client no tècnic, aquesta informació el motiva per veure "quin serà el següent pas i millora proposada per saber fins a on es pot arribar".
3. **Control:** Després de la característica anterior, si la persona pot notificar els canvis i veure les millores, si pot veure com canvien les seves decisions la situació en l'aplicació, es podria tractar d'aplicar aquests canvis en la vida real per veure si realment es fa real. Finalment, tenim, no només la seva participació en tot el procés d'aprenentatge, sinó també la contribució a l'adquisició de nous coneixements per l'aplicació a les situacions de la vida real (Villar, 2012).
4. **Imaginació:** Algunes missions han de ser més difícils perquè el client pugui utilitzar la seva imaginació. Això evita que s'avorreixen amb l'aplicació massa ràpid.

El projecte es centra en els temes relacionats, com s'assenyala en (Tourais & Videira, 2016). Per a l'adopció dels SGE es va centrar en la definició dels aspectes (en mètriques seguint la metodologia proposada) que permet obtenir dades precises de l'usuari, donant informació precisa per a modificar el comportament de l'usuari i introduint tot el procés de *gamificació* al sistema<sup>7</sup>.

#### 4.3.2. OBJECTIUS

L'objectiu principal és crear una aplicació mitjançant la qual l'usuari pugui analitzar l'eficiència energètica del seu immoble i atendre a les recomanacions que l'eina li proporcioni, mitjançant sistema de *gamificació*. Per a desenvolupar aquest propòsit, es dissenyarà una "*webapp*", amb la qual els futurs usuaris puguin fer el pertinent anàlisi energètic utilitzant el seu *Smartphone* i/o per via de la plataforma online.

S'opta per un sistema híbrid que permeti aplicar sobre un extens conjunt de dades, pre-calculades mitjançant co-simulació intensiva, tècniques estadístiques i metodologies d'optimització que permetin determinar l'eficiència energètica expressada en kWh/m<sup>2</sup>.

Per aconseguir, englobar/resumir el total de tipologies possibles, s'ha utilitzat el model simulació BuildingSim (amb el motor de càlcul energyplus), elaborant així totes les simulacions energètiques necessàries dels diferents escenaris possibles.

Per tant, es creen una sèrie de tipologies "base" (residencial i oficines) en les que l'usuari pot classificar el seu habitatge; completant una sèrie de qüestionaris i característiques pròpies del seu immoble, es podrà classificar en una de les tipologies

---

<sup>7</sup> Certes dades específiques del projecte no es mostren per estar sota la llei de protecció de dades Intel·lectuals.

establertes, reduint així de forma molt considerable el temps de la realització de l'anàlisi energètic.

També es trobarà una sèrie de recomanacions energètiques a tenir en compte per a millorar l'eficiència energètica del seu habitatge i reduir el impacte de CO<sub>2</sub> associat.

### **4.3.3. METODOLOGIA**

Com a punt de partida d'aquest projecte, en la realització dels models s'han pres per vàlides un seguit d'assumpcions o simplificacions en les simulacions:

- Els elements constructius que divideixen un espai condicionat d'un altre condicionat es consideren adiabàtics . Per cada tipologia s'ha considerat com a espais condicionats planta superior, intermitja i inferior.

- Cada tipologia s'ha modelat incloent un entorn urbà des d'un punt de vista d'asolellament. Els càlculs d'ombres s'han realitzat per tant en cadascuna de les simulacions considerant l'orientació i el recorregut del Sol.

#### **ESTRUCTURA DEL PROJECTE:**

El projecte s'estructura en quatre seccions:

1. En la primera s'esmenten les diferents tipologies arquitectòniques considerades en el prototip ;
2. En la segona secció es defineixen els diferents factors de simulació, elements passius, que es tindran en compte per al càlcul d'eficiència energètica a càrrec del simulador ;
3. En la tercera s'exposen els paràmetres, elements actius, que s'han de tenir en compte per establir el nivell òptim d'eficiència energètica en funció de la tipologia de l'usuari ;
4. Finalment s'exposen els formats esperats per a cada un dels factors descrits en les seccions segona i tercera.

#### **FACTORS DE DEFICIÈNCIA DE LES TIPOLOGIES ARQUITECTÒNIQUES:**

El simulador accepta infinitat de tipologies però donat el requisit de pre-calcular les dades prèviament es centra en un conjunt de tipologies pre-dissenyades.

Les tipologies considerades es defineixen en funció de:

1. Estructura edifici: unifamiliar , unifamiliar adossada, plurifamiliar o terciari.
2. Aïllament: si o no.
3. Planta: baixa, intermèdia, darrera planta.
4. Forma: L, I, C , O.

El total de tipologies considerades pel simulador dissenyat i atenent a les característiques anteriorment descrites, sumen un total de 27 permutacions base.

**Taula 56. Resum de tipologies en funció de la seva geometria. Font: Elaboració pròpia.**

Tipologies usuari	Identificador	Estructura edifici	Aïllada	Planta	Forma	Nº façanes exposades
1	A	Unifamiliar adossada	No	-		2
2	B	Unifamiliar	Si	-		4
3	C	Plurifamiliar	No	Planta baixa	L	2
4	C	Plurifamiliar	No	Intermèdia	L	2
5	C	Plurifamiliar	No	Última planta	L	2
6	D	Plurifamiliar	Si	Planta baixa	L	2
7	D	Plurifamiliar	Si	Intermèdia	L	2
8	D	Plurifamiliar	Si	Última planta	L	2
9	E	Plurifamiliar	No	Planta baixa	I	1
10	E	Plurifamiliar	No	Intermèdia	I	1
11	E	Plurifamiliar	No	Última planta	I	1
12	F	Plurifamiliar	Si	Planta baixa	I	2
13	F	Plurifamiliar	Si	Intermèdia	I	2
14	F	Plurifamiliar	Si	Última planta	I	2
15	G	Plurifamiliar	Si	Planta baixa	O	4
16	G	Plurifamiliar	Si	Intermèdia	O	4
17	G	Plurifamiliar	Si	Última planta	O	4
18	J	Terciari		Planta baixa	I	1
19	K	Terciari		Planta baixa	O	4
20	M	Terciari		Planta baixa	L	2
21	I	Terciari		Intermèdia	I	1
22	O	Terciari		Intermèdia	O	4
23	L	Terciari		Intermèdia	L	2
24	I	Terciari		Última planta	I	1
25	O	Terciari		Última planta	O	4
26	L	Terciari		Última planta	L	2
27	H	Terciari		Planta baixa	I	1

Les dimensions de les obertures varien segons la tipologia de l'edifici:

Dimensions de les obertures per a HABITATGES :

- Alçada entre plantes per a residencial : 2,75 m , 3,2 o 3,5 m
- Finestres simples : 1'50 per 1'20 m
- Finestres dobles : 2,10 per 2 m
- Portes : 2,1 per 0,9 m " fusta "

Dimensions de les obertures per a TERCIARI :

- Alçada entre plantes : 2,50 m
- Fals de sostre : 35 cm
- Finestres : 1,5 m d'alt
- Portes : 2,10 per 2 m "Vidre Simple "

En quant a la inserció de plantes: com a planta baixa considerem planta en contacte amb el terreny i que acostuma a ser un local comercial. Per sobre de planta baixa, hi hauria la planta primera que ja seria habitatge o oficina, en cas de terciari.

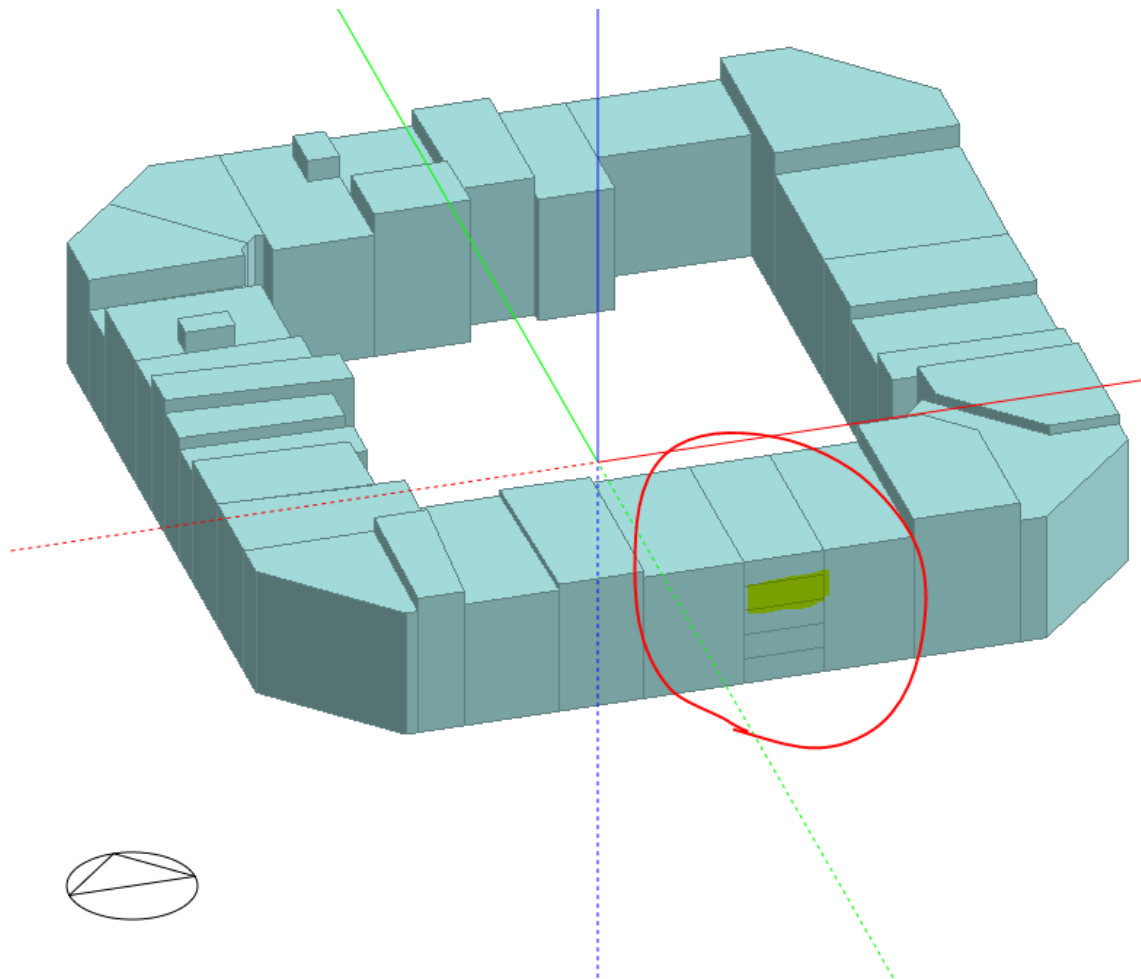


Fig. 115. Inserció de les plantes. Font: Elaboració pròpia.

## FACTORS DE SIMULACIÓ - ELEMENTS PASSIUS

A continuació es descriuen els factors passius( elements que es permutaran en l'estudi) per a cadascuna de les diferents tipologies. En global es tindran un conjunt de 18 factors possibles , el que donarà un global de 336 permutacions a analitzar per a cada tipologia. En aquestes permutacions, s'han tingut en compte 2 climes, 7 solucions constructives, 3 aïllaments envidriats i 8 orientacions diferents.

Els elements o factors considerats per realitzar aquest estudi previ són 4:

1. Climatologia
2. Solucions constructives
3. Aïllament envidriat
4. Orientació

### Climatologia

En el factor de la climatologia, es considera treballar inicialment amb dues àrees d'estudi, Barcelona, que representarà el clima mediterrani i Madrid, representant el clima continental. Les dades climàtiques s'obtidran del web de EnergyPlus (Departament d'Energia d'EEUU).

### Solucions constructives

#### Façanes

Per a l'estudi projectat en el prototip es consideren 5 solucions constructives: M1 a M5.

- M1 (anterior a 1940)
- M2 (anterior 1959)
- M3 (1960-1979)
- M4 (U) UNIFAMILIAR (1980-2006)
- M4 (P) PLURIFAMILIAR (1980-2006)
- M5 (Posterior2006)

La resta d'elements, mitgeres i forjats interiors es consideraran adiabàtics, és a dir, no permeten l'intercanvi de calor entre l'interior i exterior de l'element.

La configuració d'aquestes solucions constructives es realitza mitjançant la definició de les propietats físiques dels materials. Aquestes solucions incorporen com a element fix l'altura i el tipus de coberta.

Taula 57. Descripció de les solucions constructives \_ACE\_M1 i \_ACE\_M2: Elaboració pròpia.

de ext-int	_ACE_M1		_ACE_M2	
<b>Descripció del material</b>	1 Paret de Tàpia o tova de 600 mm	Arrebossat de guix 1000 < d < 1300	Maó doble vist o massís de 300mm	Arrebossat de guix 1000 < d < 1300

Taula 58. Descripció de la solució constructiva \_ACE\_M3. Font: Elaboració pròpia.

de ext-int	_ACE_M3			
<b>Descripció del material</b>	Mortor de ciment o calç per a obra de paleta i per arrebossat 1000 < d < 1250	Maó foradat de 140 mm	Càmera de 70 mm (no ventilada)	_ACE_Envà de LH senzill [40 mm < gruix < 60 mm]

Taula 59. Descripció de la solució constructiva \_ACE\_M4\_U (unifamiliar). Font: Elaboració pròpia.

de ext-int	_ACE_M4_U			
<b>Descripció del material</b>	Mortor de ciment o calç per a obra de paleta i per arrebossat 1000 < d < 1250	Bloc de formigó 400x200x190 mm	Aïllant tèrmic e=40 mm	_ACE_envà de LH senzill [40 mm < Gruix < 60 mm]

Taula 60. Descripció de la solució constructiva \_ACE\_M4\_P (plurifamiliar). Font: Elaboració pròpia.

de ext-int	_ACE_M4_P				
<b>Descripció del material</b>	Maó cara vista perforat 115 mm	Mortor de ciment o calç per a obra de paleta i per arrebossat 1000 < d < 1250	Aïllant tèrmic (EPS)e=30 mm	Maó Foradat de 70 mm	Arrebossat de guix 1000 < d < 1300

Taula 61. Descripció de la solució constructiva \_ACE\_M5. Font: Elaboració pròpia.

de ext-int	_ACE_M5				
<b>Descripció del material</b>	Mortor de ciment o calç per a obra de paleta i per arrebossat 1000 < d < 1250	Maó perforat de 115 mm	Càmera d'aire de 50 mm (sense ventilar)	Aïllant tèrmic e=60 mm	Placa de guix laminat de 15 mm

## Cobertes

Es defineixen 4 tipus de coberta: una plana i inclinada anterior al 1960 i posterior després. Cal posar en comú l'ús més comú.

C1 INCLINADA (anterior al 1940)

C2 PLANA (anterior 1979)

C3 INCLINADA (1980 - actual)

C4 PLANA (1980 - actual)

**Taula 62. Descripció de la solució constructiva \_ACE\_C1. Font: Elaboració pròpia.**

de ext-int		<b>_ACE_C1</b>				
<b>Descripció del material</b>	Teula ceràmica	Canyís	Càmera d'aire ventilada	Canyís	Arrebossat de guix 1000 < d < 1300	

**Taula 63. Descripció de la solució constructiva \_ACE\_C2. Font: Elaboració pròpia.**

de ext-int		<b>_ACE_C2</b>					
<b>Descripció del material</b>	Rajola ceràmica	Morter	Sorra	Impermeabilització - làmina bituminosa	Morter	Forjat Unidireccional de 200 mm	Arrebossat de guix 1000 < d < 1300

**Taula 64. Descripció de la solució constructiva \_ACE\_C3. Font: Elaboració pròpia.**

de ext-int		<b>_ACE_C3</b>			
<b>Descripció del material</b>	Teula Ceràmica	Aïllant tèrmic (EPS)e=30 mm	Forjat unidireccional de 250 mm	Arrebossat de guix 1000 < d < 1300	

**Taula 65. Descripció de la solució constructiva \_ACE\_C4. Font: Elaboració pròpia.**

de ext-int		<b>_ACE_C4</b>					
<b>Descripció del material</b>	Rajola Ceràmica	Morter	Impermeabilització - làmina bituminosa	Formigó	Aïllant Tèrmic (EPS)e=60 mm	Forjat unidireccional de 300 mm	Arrebossat de guix 1000 < d < 1300

## Obertures

Pel que fa a les dimensions en les tipologies es defineixen 5 tipus de obertures, 2 per a habitatge i 3 per a terciari.

Taula 66. Tipus d'obertures. Font: Elaboració pròpia.

Tipologia	Tipus	Codi	Dimensions (m)	Superfície (m2)
Habitatge	Simple	HS	1.5x1.2	1.8
Habitatge	Doble	HD	2.1x2	4.2
Terciari	Simple	HS	1.2x1.5	1.8
Terciari	Porta	P	2x2.1	4.2
Terciari	Llarg	HL	1.5x "llarg façana"	*depèn del llarg de la façana

### Tipus de vidre

El vidre s'ha definit a partir de tres de les seves característiques ; (1) Factor Solar , (2) transmissió lumínica i (3) Transmittància. En un primer moment es van definir tres tipus de vidres; "H1" , "H2" i "H3".

Taula 67. Tipus de vidre. Font: Elaboració pròpia.

	H1	H2	H3
Definició	Fusteria de fusta i vidre simple	Fusteria metàl·lica vidre simple	Fusteria metàl·lica i vidre doble
Nom	_ACE_H1	_ACE_H2	_ACE_H3

No obstant, per atendre el factor solar modificat, s'ha tingut en consideració l'ombra llançada pel marc de la pròpia finestra. Com en l'estudi es defineixen tancaments de grans espessors, aquesta ombra pot arribar a ser rellevant. Per tenir en consideració aquesta ombra s'ha utilitzat la metodologia definida en el Codi Tècnic de l'Edificació, on a partir de les dades de gruix del mur, ample de la fusteria i grandària del buit s'obté un factor solar modificat. La metodologia proposada segueix la següent equació :

$$F = F_s \cdot [(1 - F_M) \cdot g_{\perp} + F_M \cdot 0,04 \cdot U_m \cdot \alpha]$$

Sent:

$F_s$  = factor d'ombra del forat o lluernari en funció del dispositiu d'ombra o mitjançant simulació;

$F_M$  = fracció del forat ocupada pel marc en el cas de finestres o la fracció d'ela part massissa en el cas de portes;

$g_{\perp}$  = factor solar de la part semitransparent del forat o lluernari a incidència normal;

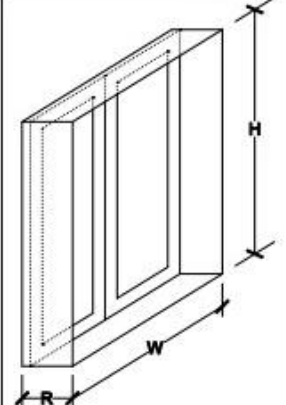
$U_m$  = transmittància tèrmica del marc del forat o lluernari [ $W/m^2 \cdot K$ ]

$\alpha$  = absorbitat del marc obtingut en funció de la seva calor.



Per obtenir el Factor d'Ombra del forat (Fs) s'utilitza la següent taula:

Taula 68. Factor d'Ombra per obstacles de façana. Font: CTE.



ORIENTACIONES DE FACHADAS		0,05 < R/W ≤ 0,1	0,1 < R/W ≤ 0,2	0,2 < R/W ≤ 0,5	R/W > 0,5
		S	0,05 < R/H ≤ 0,1 0,1 < R/H ≤ 0,2 0,2 < R/H ≤ 0,5 R/H > 0,5	0,82 0,76 0,56 0,35	0,74 0,67 0,51 0,32
SE/SO	0,05 < R/H ≤ 0,1 0,1 < R/H ≤ 0,2 0,2 < R/H ≤ 0,5 R/H > 0,5	0,86 0,79 0,59 0,38	0,81 0,74 0,56 0,36	0,72 0,66 0,47 0,32	0,51 0,47 0,36 0,23
E/O	0,05 < R/H ≤ 0,1 0,1 < R/H ≤ 0,2 0,2 < R/H ≤ 0,5 R/H > 0,5	0,91 0,86 0,71 0,53	0,87 0,82 0,68 0,51	0,81 0,76 0,61 0,48	0,65 0,61 0,51 0,39

Cada valor de Factor Solar Modificat es convertirà en una nova variació de solució de vidre sobre les ja existents H1, H2 i H3. Per disminuir el màxim possible el nombre de variacions s'agruparan els valors similars entre habitatge i terciari, així com entre obertures amb fusteries de fusta i metàl·liques.

Finalment s'obtenen 7 valors diferents de Factor Solar Modificat per habitatge i 7 per terciari. Es prendran com a valors generals, tant per a obertures amb fusteria metàl·lica com amb fusteria de fusta els valors d'aquest últim cas.

### Orientació

El simulador permet la simulació orientada als 360 graus de llibertat possibles, tot i així es redueix el factor d'estudi a les principals 8 orientacions representades en la següent il·lustració:

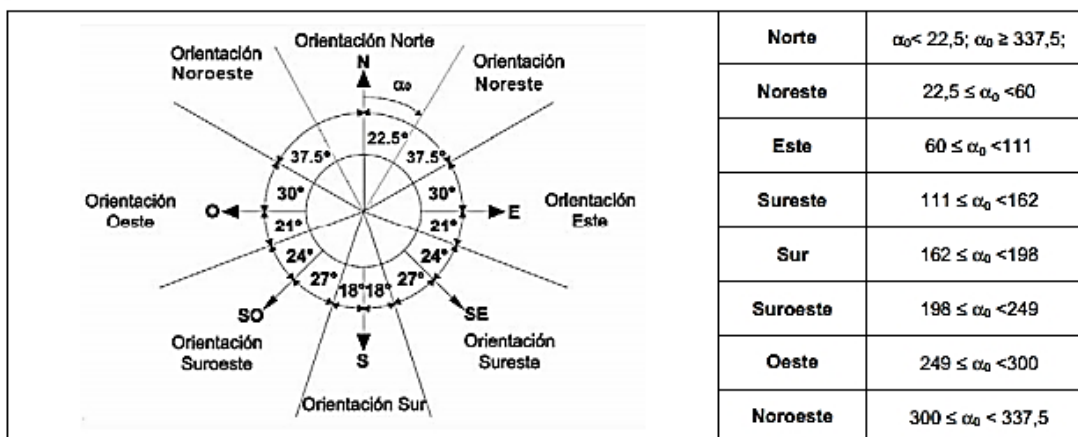


Fig. 116. Orientacions d'estudi i la seva azimut. Font: Elaboració pròpia.

## PARÀMETRES - ELEMENTS ACTIUS

Complementant els elements passius de l'estudi es defineixen els elements actius que el simulador considera per determinar i avaluar l'eficiència energètica de l'habitatge en funció de l'usuari i el seu ús .

Es consideren les següents categories per agrupar els diferents factors que s'han tingut en compte en l'estudi:

- Càrregues internes
- Ventilació i / o infiltracions
- Proteccions solars
- Sistema de clima( HVAC)
- ACS

### Càrregues internes

Els elements passius de càrregues internes contempnen factors com la il·luminació, equips i ocupació de l'habitatge.

Es considera una càrrega d'ocupació homogènia. Segons CTE.

El consum de il·luminació es calcularà segons les necessitats contemplades pel CTE. El tipus de làmpades utilitzades han estat: baix consum, leds, halògens, fluorescents i incandescents.

En el cas del terciari administratiu, s'haurà de tenir en compte un consum en ofimàtica , que inclourà: ordinadors, fotocopiadores, impressores, servidors / SAIs. Segons CTE.

### Ventilació i / o infiltracions

Els factors associats a ventilacions i / o infiltracions contempnen aquells factors que tenen un impacte directe en la temperatura interna de l'habitatge, és per això que es consideren les estacions extremes d'hivern i estiu (segons CTE).

### Proteccions solars

Les proteccions solars tenen un impacte directe en la temperatura interna de l'habitatge però a diferència de les ventilacions i / o infiltracions depenen directament de l'ús que realitza l'usuari i/o els sistemes domotitzats.

### Sistema de clima( HVAC)

L'últim factor és el sistema de clima HVAC (*"Heating, Ventilating, and Air Conditioning"*), que tenen per objectiu compensar la temperatura interna de l' habitatge a ús i gust de l'usuari.

El règim de funcionament es calcularà en funció de les hores d'ús introduïdes per l'usuari i amb uns dies / any predeterminats (per exemple : 250 dies / any en terciari i 330 dies / any en residencial).

## ACS

En funció de l'any de construcció de l'edifici, es selecciona un rendiment que, aplicant-lo a la demanda obtinguda en la simulació energètica, permet calcular el consum d'aquest (caldera i termoacumuladors elèctric o de gas).

Aquest consum energètic obtingut, es pot utilitzar per al posterior càlcul de mesures d'estalvi energètic.

## FORMATS ESPERATS

A continuació s'especifica el conjunt final de permutacions en funció dels factors detallats anteriorment en funció de la composició de murs(M), coberta(C) i obertures(O).

### Escenaris i permutacions a partir d'elements passius:

Taula 69. Escenaris i permutacions a partir d'elements passius. Font: Elaboració pròpia.

Número	Tipologia	Simulacions
1	A_270	192
2	A_320	96
3	A_350	48
4	B_320	336
5	C_320_cub	336
6	C_320_int	336
7	D_320_cub	336
8	D_320_int	336
9	E_275_cub	192
10	E_275_int	192
11	E_320_cub	96
12	E_320_int	92
13	E_350_cub	48
14	E_350_int	48
15	F_320_cub	336
16	F_320_int	336
17	G_320_cub	336
18	G_320_int	336
19	H_250_baj	240
20	J_250_baj	240
21	K_250_baj	240
22	L_250_cub	336
23	L_250_int	240
24	N_250_cub	336
25	N_250_int	240
26	O_250_cub	336
27	O_250_int	240
	TOTAL	6476

### 4.3.4. RESULTATS

Sense ser l'objectiu d'aquest informe, es presenten, a mode d'exemple, els resultats dels consums de calefacció i refrigeració en els dos tipus de clima, obtinguts de les simulacions; essent el de Barcelona un clima Mediterrani i el de Madrid un clima Continental, obtenint els següents resultats:

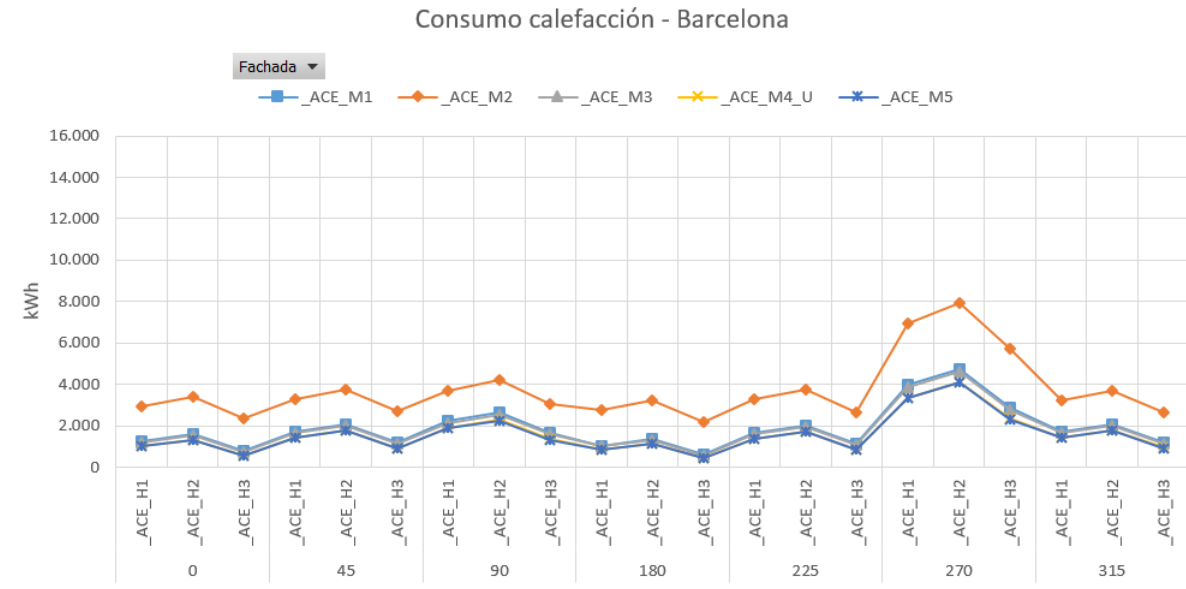


Fig. 117. Consum de calefacció a Barcelona (tipologia habitatge unifamiliar): la sèrie AC\_M4\_U és pràcticament coincident a la sèrie ACE\_M5 i la sèrie ACE\_M3 és quasi paral·lela a la sèrie ACE\_M1.

Font: Elaboració pròpia.

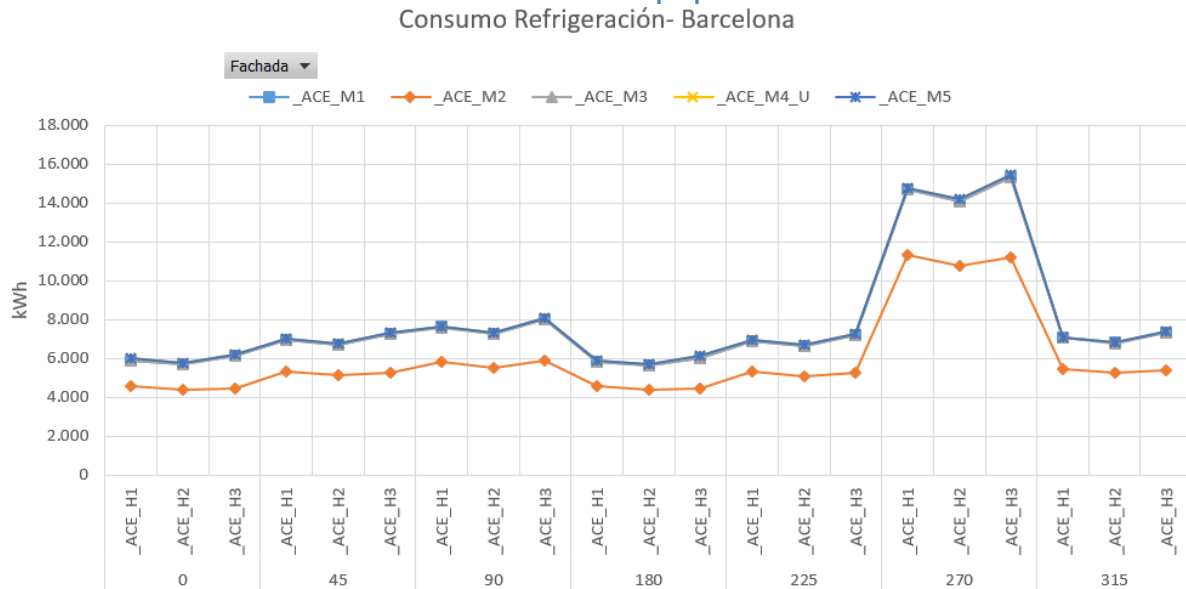


Fig. 118. Consum de refrigeració a Barcelona (tipologia habitatge unifamiliar). Les sèries ACE\_M1, ACE\_M3 i ACE\_M4\_U són quasi coincidents a la sèrie ACE\_M5. Font: Elaboració pròpia.

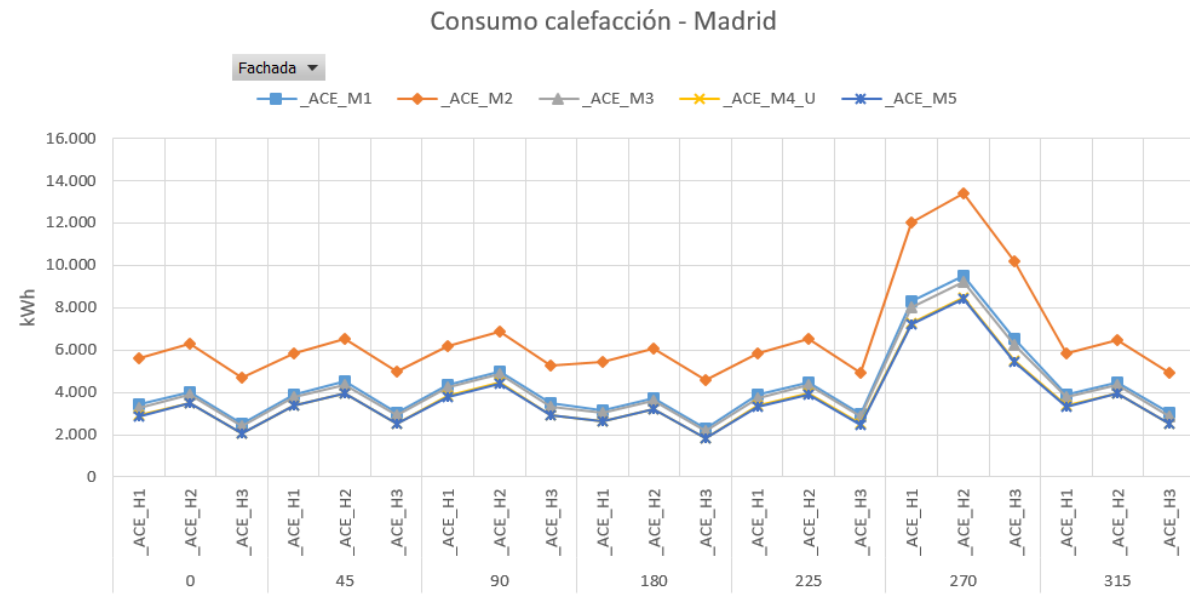


Fig. 119. Consum de calefacció a Madrid (tipologia habitatge unifamiliar). La sèrie ACE\_M4\_U és pràcticament paral·lela a la sèrie ACE\_M5. Font: Elaboració pròpia.

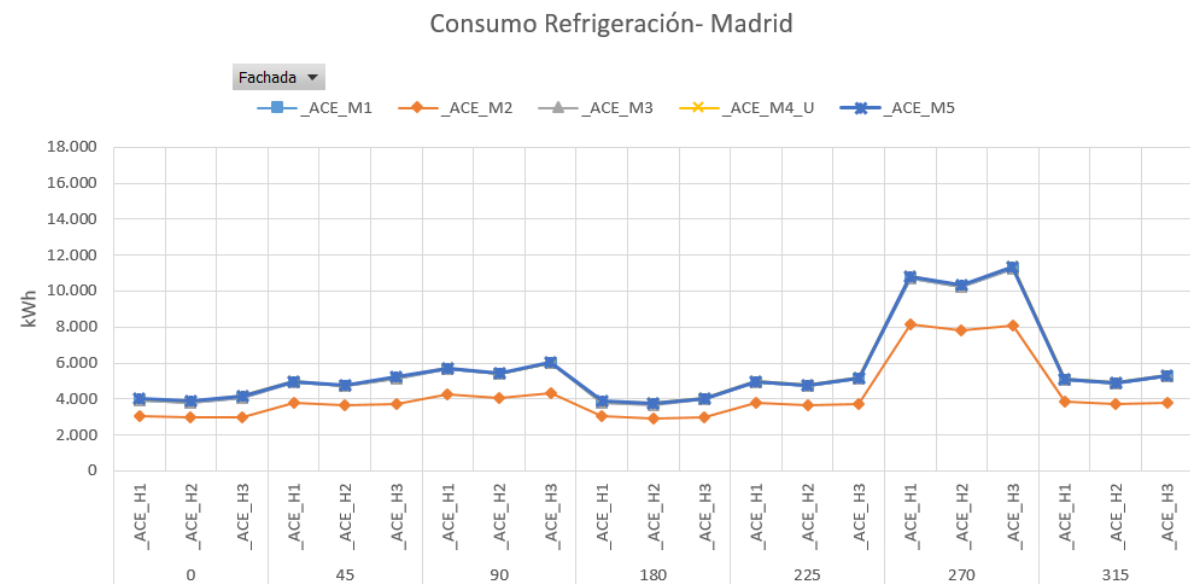


Fig. 120. Consum de refrigeració a Madrid (tipologia habitatge unifamiliar). Les sèries ACE\_M1, ACE\_M3 i ACE\_M4\_U estan darrere de la sèrie ACE\_M5. Font: Elaboració pròpia.

Com a darrer resultat, la creació de la “webapp” és la cara visible del projecte al públic que necessiti fer l’anàlisi energètic del seu immoble. A continuació es descriu com les variables han estat parametritzades a la web a través d'establir una correspondència entre la interfície i els factors definits prèviament.

Gràcies al simulador i, a partir de les tipologies definides prèviament, tenim un conjunt de dades que representen el comportament dels diferents edificis. Aquestes dades estan estructurades en diferents sub-grups, en funció de la tipologia que representen.

A continuació detallarem com podem establir la relació entre les dades que estan estructurades en diferents carpetes i la parametrització que es presenta a la web.

### **Tipologies:**

Per a les tipologies s'estableix la relació, on l'identificador determina l'inici del nom del directori que conté l'experiment. Així, l'habitatge unifamiliar adossat començaria per TA seguit per la seva alçada. TA\_275 , TA\_320 o TA\_350 .

Per als habitatges plurifamiliars i atès que cal incorporar també la posició que ocupa a l'edifici l'etiqueta es correspondria a TE\_int\_320 per a un pis intermedi i TE\_ult\_320 per a un pis situat a l'última planta.

```
UNIFAMILIAR ADOSADA,NO,-,-,2
UNIFAMILIAR,SI,-,-,4
PLURIFAMILIAR,NO,PLANTA BAJA,L,2
PLURIFAMILIAR,NO,INTERMEDIA,L,2
✓ PLURIFAMILIAR,NO,ULTIMA PLANTA,L,2
PLURIFAMILIAR,SI,PLANTA BAJA,L,2
PLURIFAMILIAR,SI,INTERMEDIA,L,2
PLURIFAMILIAR,SI,ULTIMA PLANTA,L,2
PLURIFAMILIAR,NO,PLANTA BAJA,I,1
PLURIFAMILIAR,NO,INTERMEDIA,I,1
PLURIFAMILIAR,NO,ULTIMA PLANTA,I,1
PLURIFAMILIAR,SI,PLANTA BAJA,I,2
PLURIFAMILIAR,SI,INTERMEDIA,I,2
PLURIFAMILIAR,SI,ULTIMA PLANTA,I,2
PLURIFAMILIAR,SI,PLANTA BAJA,O,4
PLURIFAMILIAR,SI,INTERMEDIA,O,4
PLURIFAMILIAR,SI,ULTIMA PLANTA,O,4
TERCIARIO,PLANTA BAJA,I,1
TERCIARIO,PLANTA BAJA,O,4
TERCIARIO,PLANTA BAJA,L,2
TERCIARIO,INTERMEDIA,I,1
TERCIARIO,INTERMEDIA,O,4
TERCIARIO,INTERMEDIA,L,2
TERCIARIO,ULTIMA PLANTA,I,1
TERCIARIO,ULTIMA PLANTA,O,4
TERCIARIO,ULTIMA PLANTA,L,2
```

Fig. 121. Elecció de la tipologia. Font: Elaboració pròpia.

Amb això ens podem situar en l'arrel del conjunt d'experiments per recuperar la informació.

### **Solucions constructives:**

Per determinar els resultats d'una solució constructiva concreta, i atès que ja es sap a quina tipologia pertany, a partir del fitxer d'experiments (experiment.exp), comprovar quines parametritzacions corresponen amb la solució constructiva.

L'estructura de la parametrització ve donada per fragments de codi .xml que segueixen l'esquema que es mostra a continuació.

```
<experiment label="default.param_1" path="default.param" description="model.">  
<variables>  
  <variable name="Tipologia" type="building" value="C:\Users\joan.garcia\TA\Baseline_TA_275_nv_perm.idf"/>  
  <variable name="Envolvente" type="solution" value="_ACE_M3"/>  
  <variable name="Cubierta" type="solution" value="_ACE_C1"/>  
  <variable name="Hueco Simple" type="solution" value="Simple 1001"/>  
  <variable name="Hueco doble" type="solution" value="Simple 1002"/>  
  <variable name="bcn" type="weather" value="C:\Users\joan.garcia\TA\ESP_Barcelona.081810_SWEC.epw"/>  
  <variable name="orientation" type="orientation" value="0"/>  
</variables>  
</experiment>
```

D'aquesta manera, aquest experiment identificat per "default.param\_1" es correspondria amb una solució constructiva de tipus M3 (\_ACE\_M3 al xml).

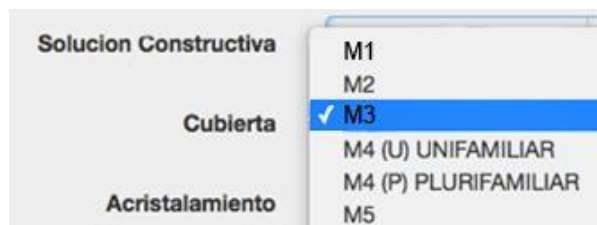


Fig. 122. Exemple de selecció de la solució constructiva de façana. Font: Elaboració pròpia.

### **Cobertes:**

Per determinar les cobertes el procés seria el mateix. En l'exemple anterior la coberta que tenim és C1 ( representat pel codi < variable name = " Coberta " type = " solution " value = " \_ACE\_C1 " / > ).

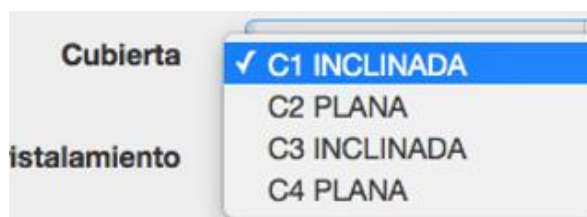


Fig. 123. Exemple de selecció de la solució constructiva de coberta. Font: Elaboració pròpia.

### **Envidriament:**

Per al vidre de nou cal mirar el codi XML, en aquest cas, no obstant, cal tenir en compte que hi ha dos tipus d'obertures per a buits simple i l'obertura doble.

El codi que determina el tipus de solució és :

```
<variable name="Hueco Simple" type="solution" value="Simple 1001"/>  
<variable name="Hueco doble" type="solution" value="Simple 1002"/>
```

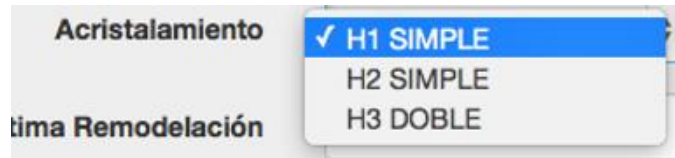


Fig. 124. Exemple de selecció del tipus de vidre. Font: Elaboració pròpia.

### **Clima:**

Per al clima el codi a utilitzar és:

```
<variable name="bcn" type="weather" value="C:\Users\joan.garcia\TA\ESP_Barcelona.081810_SWEC.epw"/>
```

En aquest exemple estaríem fent servir el clima de Barcelona.

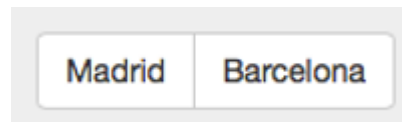


Fig. 125. Selecció del tipus de clima. Font: Elaboració pròpia.

### **Orientacions:**

Finalment per les orientacions el codi és:

```
<variable name="bcn" type="weather" value="C:\Users\joan.garcia\TA\ESP_Barcelona.081810_SWEC.epw"/>  
<variable name="orientation" type="orientation" value="0"/>
```

On 0 seria orientació nord i es va girant tal com indica la següent figura , de 45 a 45 graus (per tant Nord-est és 45 i Sud és 180.

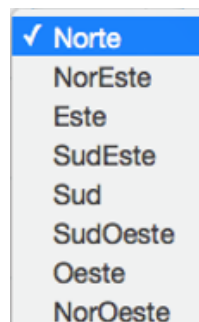


Fig. 126. Selecció de la orientació. Font: Elaboració pròpia.

El disseny de la aplicació s'ha realitzat amb la intenció que l'usuari utilitzi aquesta de forma àgil i sense grans complicacions. Durant tot el procés d'anàlisi existeixen diferents instruccions i ajudes per tal de facilitar la seva utilització. Seguidament mostrem algunes de les parts de l'aplicació "Energímetro":





Fig. 127. Presentació de l'aplicació. Font: Elaboració pròpia.

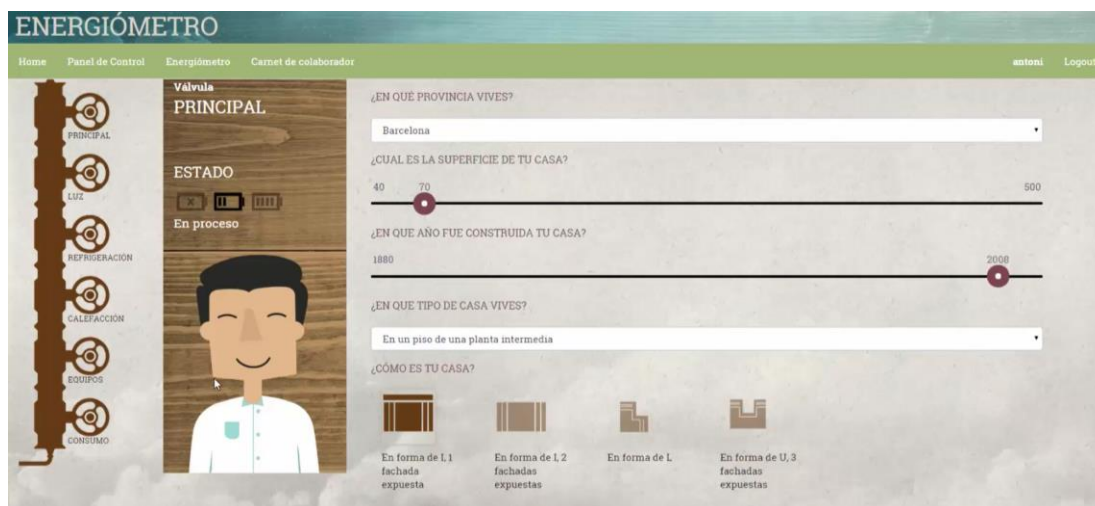


Fig. 128. Panell de control. Font: Elaboració pròpia.

La webapp permet la definició de les tipologies tenint en compte la ubicació, orientació, sistemes passius i sistemes actius. L'aplicació va recorrent les diferents 'vàlvules' que és on es defineixen els elements específics: il.luminació, refrigeració, calefacció i equips.

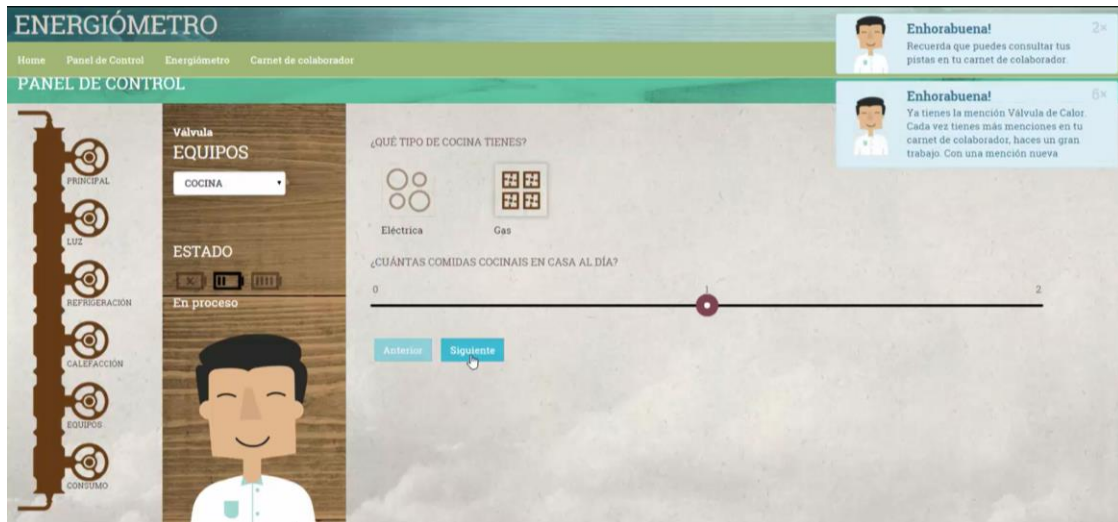


Fig. 129. Panell de control. Font: Elaboració pròpia.



Fig. 130. Distribució de consums. Font: Elaboració pròpia.

Com s'observa en la figura anterior, l'aplicació ofereix una distribució de consum final on l'usuari pot verificar l'estat on es troba, per tal de poder passar a les propostes de millora. A mida que el client va realitzant millores en el seu edifici es veu recompensat amb un sistema de 'gamificació', obtenint premis i reconeixements, fent-lo partícip, cercant la seva implicació dins del joc, alhora que el va instruint.



Fig. 131. Millores energètiques. Font: Elaboració pròpia.

### VALIDACIÓ ALGORISME HILL CLIMBING

En el projecte s'ha aprofitat per validar l'algorisme *Hill Climbing* amb la tipologia 'tip\_b-320\_mod.idf'. Van ser analitzats 336 escenaris per aquest cas concret.

La tipologia que anem a analitzar és un edifici residencial. Aquesta és una tipologia molt simplificada, que ajuda a comprendre el comportament de l'heurística que es vol analitzar.

Taula 70. Disseny experimental utilitzat en l'experiment. Font: Elaboració pròpia.

FACTOR	VALUES
TPOLOGY	Tip_B-320_mod.idf
WALLS MATERIAL	M1, M2, M3, M4, M5
ROOF MATERIAL	C1, C2, C3, C4
WINDOWS	H1, H2, H3
WINDOWS MATERIAL	H1, H2, H3
SITUATION	ESP_Barcelona.081810_SWEC.epw, ESP_Madrid.082210_SWEC.epw
ORIENTATION	0, 45, 90, 135, 180, 225, 270, 315

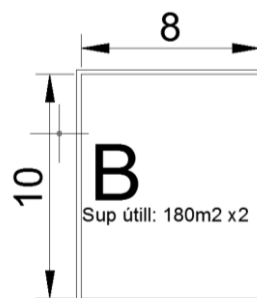


Fig. 132. Esquema que representa la tipologia d'habitatges unifamiliars. Font: Elaboració pròpia.

Per les parets es van considerar 5 solucions constructives com alternatives diferents i pel sostre es van considerar 4 diferents que resumeixen les principals alternatives que s'utilitzen, tenint en compte la tipologia de l'edifici. Per les finestres es consideren varis tipus de vidres i de fusterires. Finalment, amb l'orientació es determinen les diferents alternatives que els especialistes volen considerar.

Si es permetès definir totes les combinacions possibles de la quantitat d'escenaris que han de ser analitzades, ha de ser 2880, però hi ha algunes combinacions, a causa de la naturalesa dels materials, que no estan permeses, per tant, el nombre final d'escenaris a considerar són 336.

Tenint en compte que per a cada escenari es necessiten aproximadament 5 minuts, es necessita un dia i 4 hores per calcular els escenaris generals. Altres tipologies poden ser molt més exigents, i les combinacions poden ser enormes. Això fa òbvia la necessitat d'utilitzar algun procediment d'optimització per tal de reduir el temps necessari per obtenir solucions òptimes o semi-òptims. En aquest cas, s'utilitzarà el *Hill Climbing*.

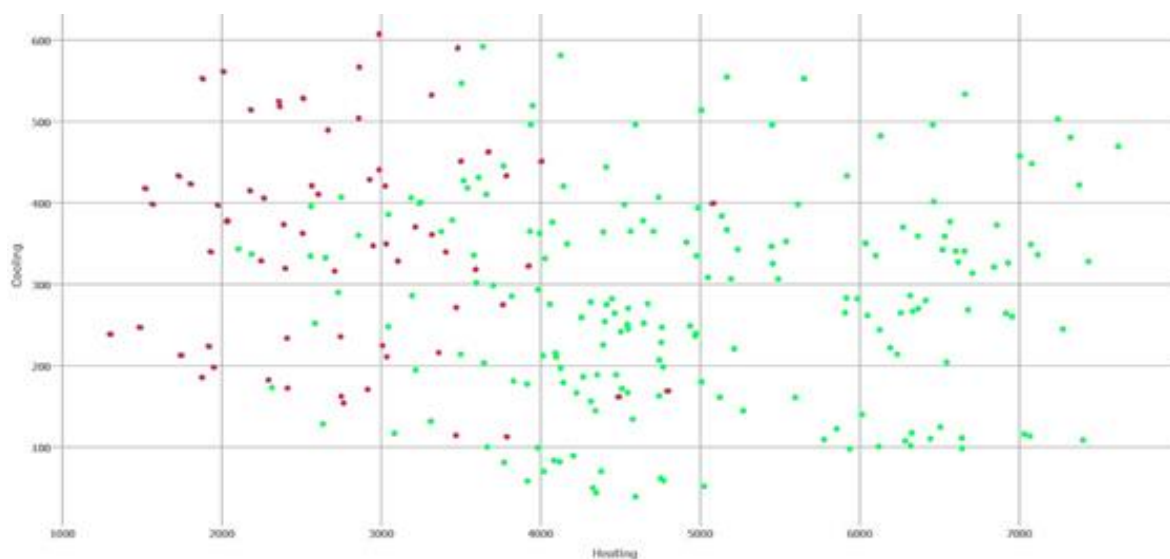


Fig. 133. Comparació entre simulació mitjançant 'força bruta' i algorisme d'optimització Hill Climbing (mínim local – punts vermells). Font: Elaboració pròpia.

En la figura anterior, es comprova l'eficàcia de l'algorisme d'optimització: millora el rendiment del sistema en una reducció de temps de l'experiment al voltant d'un 80% (l'algorisme troba la corba òptima després de realitzar menys de 70 simulacions). La integració de l'algorisme en el model BuildingSim és complert i no presenta cap interrupció en el procés d'optimització, ni en la realització de les simulacions, ni en la recollida de dades i ni en la mostra de resultats.

#### 4.3.5. CONCLUSIONS

Cal destacar que gràcies, a la metodologia emprada entre el grup de treball que va desenvolupar l'aplicació web-app i el grup responsable de les simulacions energètiques, es van poder comunicar amb facilitat.

La decisió d'utilitzar models formals per realitzar les simulacions i arxius estructurats (.xml) per mostrar els resultats, va facilitar molt l'enteniment i comunicació no ambigua entre els diferents tècnics del projecte, millorant el rendiment i minimitzant possibles errors.

Utilitzar el model formal BuildingSim ha reduït en gran mesura el temps del procés de càlcul i gràcies a la facilitat del model, ha permès participar en les simulacions a tècnics no experts en aquesta àrea.

A falta de proves de camp en relació a la usabilitat de l'eina, es considera que proporcionarà gran coneixement amb l'usuari animant a participar en la '*gamificació*' plantejada per tal d'aconseguir una millora energètica en l'espai de l'estudi.

Es considera que es podrien aconseguir millores substancials en l'impacte social i major participació de l'usuari si, per exemple, pel sector terciari, s'acompanyés les millores obtingudes amb retorns de premis reals, com ara descomptes per productes o similars.

L'aplicació web-app resultant és una versió beta amb gran futur i altes perspectives de millora i evolució.

#### 4.4. OPTIHAB. PROJECTE MARIE: optimització per la rehabilitació energètica del sector residencial a Catalunya.

Part dels resultats han estat presentats en revistes indexades:

**Journal of Building Performance Simulation, Taylor & Francis, 2016.** Co-simulation model to find the best comfort, energy and cost scenarios for building refurbishment. En procés de revisió i publicació.

**Energy and buildings, Elsevier, 2016.** Cost-effective analysis for selecting energy efficiency measures for refurbishment of residential buildings in Catalonia. DOI: 10.1016/j.enbuild.2016.06.059

**Energy and Buildings, Elsevier, 2015.** Comfort and economic criteria for selecting the optimal passive measures for the energy renovation of residential buildings in Catalonia. DOI: 10.1016/j.enbuild.2015.10.022.

**Mathematical Problems in Engineering, Hindawi Publishing Corporation, 2015.** Optimal buildings' energy consumption calculus through a distributed experiment execution. DOI: 10.1155/2015/267974.

Gràcies a la participació en aquest projecte, es va integrar el motor de càlcul Trnsys (Trnsys, 2016) en el model BuildingSim i es va validar el sistema de simulació distribuïda amb un '*farmer computer*' específic pel projecte.

##### 4.4.1. INTRODUCCIÓ

El projecte consisteix en crear un model de simulació distribuïda per trobar els escenaris òptims en rehabilitació energètica, és a dir, per localitzar els millors escenaris per confort, energia i cost en la rehabilitació energètica.

En la caracterització energètica, cal destacar la gran capacitat que tenen els estats membres d'estalvi a nivell de rehabilitació del parc edificat. En aquest sentit, hi ha actuacions tant en l'àmbit nacional com el internacional que aborden aquests temes, on s'arriba a la conclusió de la necessitat de la renovació energètica dels edificis per tal d'arribar als objectius proposats per la Comissió Europea, garantint que les mesures disponibles són rendibles en el llarg termini, així com, es millora la comoditat dels usuaris. (N. Garrido-Soriano, 2012), (A. Manyes, 2013), (A. Cuchí, 2011), (Ministry of Development of Spain, 2013), (CEN, EN 15459, 2008), (S. Carlucci, 2013)

Per tal d'abordar aquestes parametritzacions i càlculs, es presenta una metodologia que facilita la comunicació entre els diferents actors que intervenen en el projecte. Aquesta metodologia permet definir un escenari d'execució distribuïda de diferents experiments plantejats. Aquests plantejaments, entre d'altres avantatges que es veuran al llarg de l'escrit, permeten reduir el temps necessari per obtenir els resultats i les possibilitats de l'exploració de més alternatives.

El model de simulació s'aplica en l'estudi Optihab, realitzat en el marc del projecte MARIE (edifici Mediterrani replantejament de millora de l'eficiència energètica, [www.marie-medstrategic.eu](http://www.marie-medstrategic.eu)). L'objectiu d'OptiHab és proporcionar informació tècnica i econòmica per optimitzar la renovació energètica de sector residencial a Catalunya. L'estudi dóna els criteris per al desenvolupament d'estratègies i polítiques regionals per millorar l'eficiència

energètica del sector residencial a Catalunya. OptiHab utilitza com a punt de partida la caracterització de construcció estoc fet també durant el projecte MARIE, on es va analitzar el sector residencial català en detall (les normes de construcció, estat de l'art, dades estadístiques i campanya d'enquesta). La caracterització social defineix les característiques constructives, l'equip i els usuaris de totes les tipologies de construcció.

La publicació descriu, com estudi de cas, el mètode utilitzat en OptiHab i els resultats d'una de les tipologies d'edifici residencial avaluades. A partir de dades de mesurament i de l'enquesta per millorar la interacció entre l'ocupació i la construcció i la consideració de la situació de la construcció, s'aplica el model en una doble simulació: en un primer moment, es simula l'experiment a nivell passiu tenint en compte estratègies vernacles de les regions mediterrànies, com ara, la ventilació natural i l'ús de protecció solar (el confort tèrmic té un paper important en aquest estudi perquè és un el principal criteri per a la selecció de les mesures d'eficiència energètica); i, finalment, el model s'utilitza per trobar l'òptim amb sistemes actius, aplicant criteris cost-òptim d'eficiència energètica i econòmica. Aquest procés d'optimització prioritza les mesures passives en lloc dels més actius, garantint el confort tèrmic dels usuaris.

#### 4.4.2. OBJECTIUS

Per tal d'aconseguir els objectius proposats amb la normativa de Rehabilitació energètica (RD 235/2013), els estats membres han posat en marxa un seguit de projectes, actuacions i directrius polítiques per especificar les actuacions amb un rendiment cost-òptim més favorable, per comprovar quines zones urbanes tenen major necessitat de rehabilitació i/o quines poden patir l'anomenat 'pobresa energètica'.

Anant més enllà, s'han proposat varis projectes europeus i nacionals per tal de donar finançament a iniciatives que, a part d'abordar el tema de l'eficiència energètica ja sigui per obra nova com per rehabilitació, també integri el impacte de l'edificació en l'entorn; és a dir, ser capaç de realitzar un ACV (anàlisi del cicle de vida) de l'edificació i, així, saber els impactes associats a aquesta. Cal abordar aquests conceptes per completar l'anàlisi – no només energètic i cost econòmic- (una idea que ja es va introduir a Cradle to Cradle (McDonough & Braungart, 2002) i en el qual ens enfrontem a un nou paradigma de disseny. Cal completar.

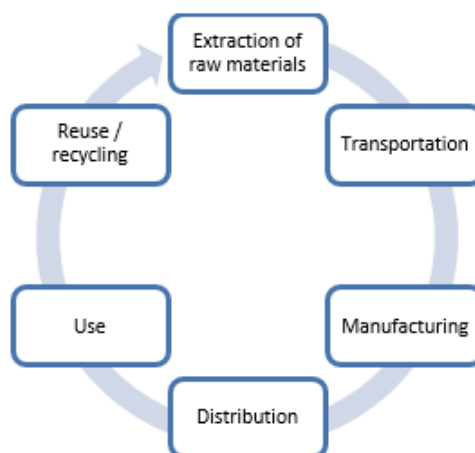


Fig. 134. Esquema de representació del concepte Cradle to Cradle. Font: Elaboració pròpia.

Definir el model no és suficient; és necessari realitzar diversos càlculs. Per a això, es van identificar diferents motors de càlcul capaços d'analitzar l'edifici des del punt de vista de l'energia (Griffith D. B., 2005), com DOE-2.1, BLAST, EnergyPluS, TRNSYS i IES <VE>. En aquesta ocasió es va utilitzar el motor de càlcul TRNSYS donada l'expertesa en l'ús de l'eina en el grup de treball.

Un dels objectius d'aquesta investigació és presentar i utilitzar el model formal que mitjançant la co-simulació és capaç de descriure l'estructura i el comportament del cicle de vida d'un edifici. Per solucionar la problemàtica de multidisciplinarietat dins del grup de treball, el model es basa amb el llenguatge SDL per definir formalment el model.

#### **4.4.3. METODOLOGIA**

Per permetre la combinació de diferents models en un sol model de simulació (Vangheluwe H. L., 2000) es proposen tres mecanismes principals:

1. Meta-formalisme: Aquest enfocament es basa en la idea que un formalisme subsumeix els diferents formalismes dels sub-models que componen la representació del sistema.

2. Formalisme comú: Aquest enfocament es basa en la transformació dels diferents models de sub a un formalisme comú.

3. Co-simulació: Metodologia que pot simular simultàniament diferents components individuals. Cada un d'aquests components pot ser definit i implementat en diferents plataformes i infraestructures, intercanvi, col·laboració, informació entre ells.

La co-simulació és l'enfocament que s'utilitza en la investigació, ja que hem de combinar el nostre model amb altres motors de simulació.

Com l'objectiu principal del mètode és proporcionar les mesures òptimes de rendibilitat per a la rehabilitació energètica d'edificis d'habitatges, tenint en compte tres criteris principals: confort tèrmic, ús de l'energia primària i els costos econòmics mundials. El mètode va ser introduït prèviament en (Salom, Jaume; Ortiz, Joana; Russo, Verdiana, 2014). L'estudi es realitza mitjançant simulacions de construcció dinàmica, on l'edifici i la seva interacció amb l'usuari es caracteritza en detall amb TRNSYS (Solar Energy Laboratory Univ. of Wisconsin-Madison, 2015). La simulació avalua els tres criteris principals per al cas base, és a dir, l'edifici existent, i per a l'edifici amb diferents paquets de mesures d'eficiència energètica (mesures passives i actives).

Totes les simulacions es realitzen en l'optimització de dos passos:

1. Optimització passiva (optimització confort-econòmic): l'objectiu és obtenir mesures passives òptimes que proporcionen un millor confort tèrmic sense l'ús de sistemes mecànics i tenint en compte el cost d'inversió.

2. Optimització activa (optimització cost-energètic): s'apliquen les mesures actives i el consum d'energia primària i els costos globals s'han comparat per obtenir la solució econòmica òptima

Per tal de reduir el nombre de possibilitats, se seleccionen cinc paquets de mesures passives en el primer pas. Es combinen aquestes mesures seleccionades amb les mesures actives a assajar en el segon pas.



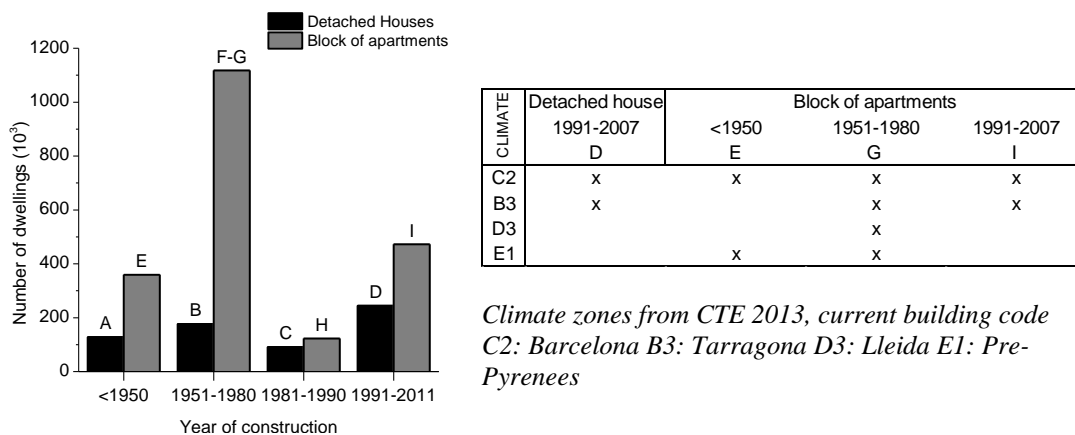
El procés de co-simulació, com ja s'ha comentat, es realitza a partir del model BuildingSim amb el SDLPS que gestiona el procés principal de simulació TRNSYS i s'utilitza com un motor de càlcul per a la simulació d'energia.

Atès que l'objectiu és obtenir una caracterització completa del problema, s'utilitza l'enfocament de força bruta. Aquest enfocament consisteix en l'execució de la simulació amb totes les combinacions possibles. Els factors són l'aïllament de façanes, aïllament de sostre, finestra, protecció solar, sistema de calefacció i refrigeració, il·luminació i sistemes renovables, el que suposa al voltant de 10.000 simulacions, en total (part passiva més activa) per tipologia d'edifici.

**ESTUDI DE CAS (TIPOLOGIA D):**

L'estudi de cas forma part d'un projecte global d'anàlisi òptim de rendibilitat, que ha realitzat una caracterització del parc edificat centrat en la regió de Catalunya: és una exhaustiva investigació fet per Estudi Ramon Folch (Estudi Ramon Folch i Associats, 2015) en el marc del projecte MARIE (MARIE, 2010-2014), per tal de triar els edificis més representatius. Quatre tasques principals es van realitzar en aquest treball previ: anàlisi dels codis de construcció; revisió d'estudis anteriors; anàlisi de dades estadístiques; i estudi detallat per completar i validar la informació recollida. El principal interès de l'enquesta era destacar els aspectes relacionats amb la propietat dels sistemes i aparells, juntament amb informació sobre el comportament de l'usuari.

Després de la caracterització de valors, es van triar les tipologies d'edificis més representatius, per tal de dur a terme l'estudi òptim de rendibilitat. La següent figura mostra la distribució del parc immobiliari residencial a Catalunya i les tipologies de construcció seleccionats amb els seus corresponents climes. La classificació del clima segueix el codi de construcció espanyola ("Codi Tècnic de l'Edificació CTE", (BOE, 2013)). La carta representa la severitat de l'hivern (E és el més fresc), i el nombre de la gravetat d'estiu (3 és el més càlid).



**Fig. 135. Distribució del parc immobiliari residencial a Catalunya. Selecció de les tipologies de construcció i el seu clima. Font: elaboració pròpia**

El document se centra en la tipologia D, edificis construïts entre el 1991-2007 i es caracteritza per tenir un rendiment tèrmic bàsic. La tipologia edifici és una casa adossada amb una planta baixa i 2 plantes. És un únic propietari amb 175.3 m<sup>2</sup> de superfície total, amb una ocupació de 2 adults i dos infants. La tipologia es simula en dos climes: C2 (Barcelona) i B3 (Tarragona). I, per cada clima, es té en compte segons si s'utilitza la ventilació natural o no.

Caracterització de la tipologia d'estudi:

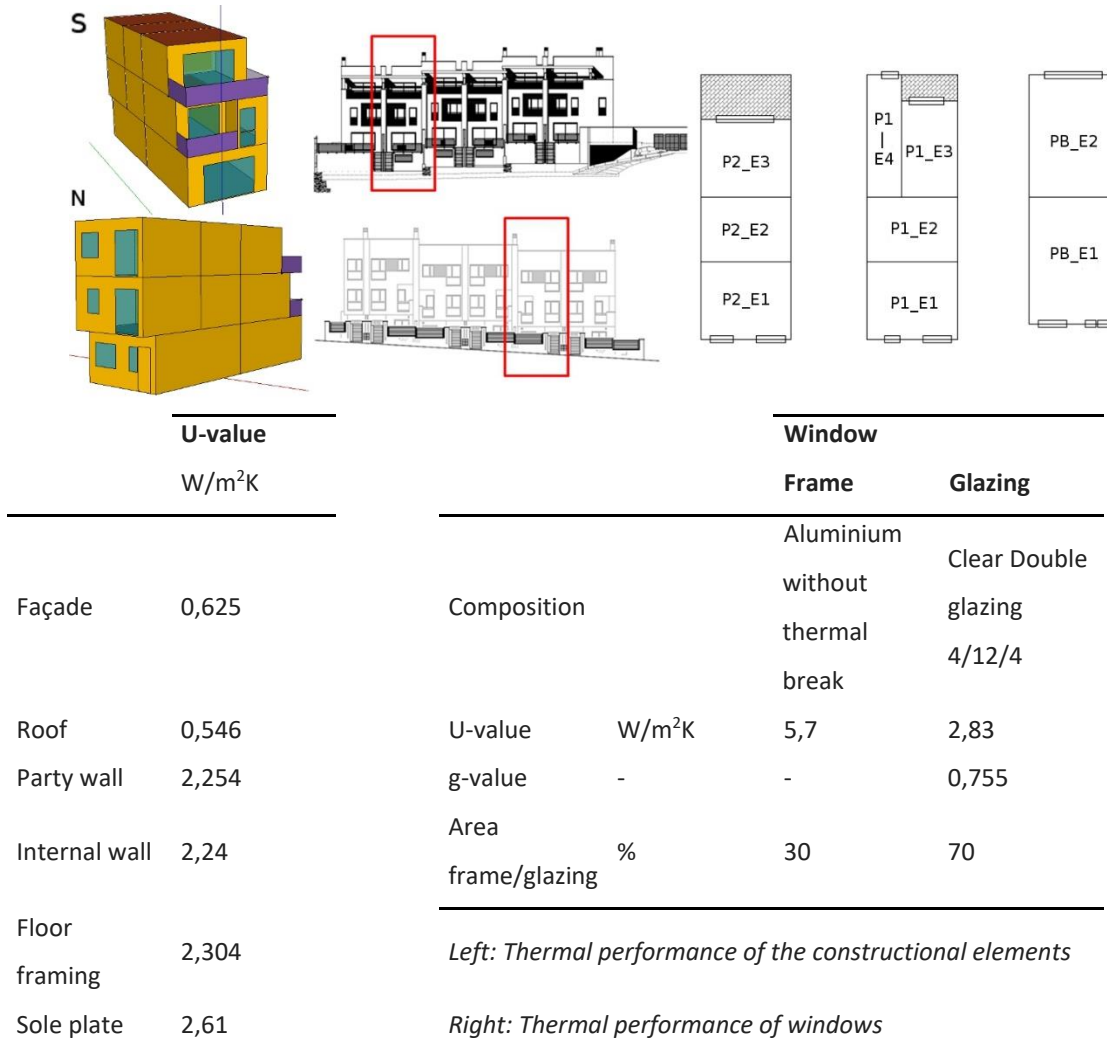


Fig. 136. Tipologia: casa adossada (1991-2007). Font: Elaboració pròpia

La geometria de l'edifici (Figura anterior) s'introdueix en la simulació d'un model 3D multi zona, utilitzant el Trnsys3D "plug-in" per Google SketchUp. Només dos pisos s'inclouen, per tal de simular l'edifici amb més detall: el pis estàndard i el pis baix sostre. Després, cada habitatge es divideix seguint dos criteris de zonificació d'ús: dia i nit, i d'orientació. El model de construcció inclou l'entorn extern i els seus corresponents matisos.

En la simulació, l'ocupació ha estat definit com el principal motor de la utilització de l'edifici (calefacció, refrigeració, ventilació natural, la protecció solar i l'ús d'il·luminació). Per aquesta raó, un dels objectius principals és l'ús de perfils realistes dels ocupants. Aquest

perfil ha de reproduir la variabilitat dels ocupants reals i, al mateix temps, el seu comportament ha de ser representativa de la mitjana dels ocupants. Els perfils estocàstics es creen a partir de l'enquesta d'ocupació del temps de Dades d'Espanya (INE, 2010). Aquesta enquesta permet conèixer el que la gent està fent en cada moment del dia. A continuació, un perfil anual es pot crear l'aplicació d'una anàlisi estadística de les dades en brut, l'assignació d'un estat de cada ocupant: fora de la casa, passiu a la llar, i actiu a la llar (Joana Ortiz, 2015).

Estratègies vernaculars dels climes mediterranis s'han inclòs en la simulació com la principal estratègia per refredar la llar durant l'estació càlida. Les estratègies de control de la ventilació natural i l'ús de proteccions solars s'han definit amb l'objectiu de reproduir el comportament real dels usuaris. Els detalls de l'enfocament utilitzat en les simulacions s'expliquen en (Salom, Jaume; Ortiz, Joana; Russo, Verdiana, 2014).

Finalment, els sistemes d'energia s'han definit amb un mètode simplificat basat en l'eficiència de les diferents parts del sistema: generació, d'emissió i de control. L'eficiència de la generació es calcula utilitzant (IDAE, 2009) i l'eficiència dels emissors i de control següent (EN 15316-2-1, 2008).

#### Mesures d'eficiència energètica:

Les mesures d'eficiència energètica avaluades en l'estudi inclou mesures passives i actives, incloent els sistemes d'energia renovable. La següent taula descriu breument les diferents mesures.

**Taula 71. Descripció de les mesures d'eficiència energètica. Font: Elaboració pròpia.**

MEASURE	DESCRIPTION	ADD. BENEFIT
Façade insulation	- External - Air chamber - Internal	Reduce the thermal bridge
Roof insulation	- Inverted - Internal	-
Window change	- 4/16/4 Aluminium - 4/16/4 PVC	Reduce air infiltration
Solar protection	Awning	-
Condensing boiler	$\eta$ 1.09	-
Improve efficiency installation	- Programmable thermostat - Thermostatic valve - Tap aerators - Water volume saving	-
Solar thermal system	16 m <sup>2</sup> /building 1500 litres storage tank	-
Efficient split	EER 4	-
PV system	12 m <sup>2</sup> /building 240 Wp	-
LED	1.5 W/m <sup>2</sup>	Luminous efficiency 80%
Awareness campaign	Reduction of 13% of lighting and appliances	Reduction internal gains

#### Implementació i execució del model:

L'experiment es basa en la definició de diversos factors que determina l'estructura dels edificis que es desitja modelar. Aquesta estructura genera els escenaris del mapa de la mostra total .

En la totalitat del projecte, cal llençar més de 60.000 simulacions, i, per tal de no emprar massa temps 'cost-màquina' i no poder donar resposta al client dins del termini acordat (ens aniríem a més de 5 mesos de càlcul amb una única màquina), es decideix utilitzar un conjunt de màquines per realitzar els càlculs, dins d'un mateix escenari, amb l'objectiu de reduir el temps necessari per obtenir les respostes i reduir possibles errors i imprevistos. En aquest cas, el problema no és el nombre de repeticions de model que es necessiten per dur a terme, sinó el gran nombre de diferents escenaris que volem avaluar. Això és a causa de l'enorme quantitat de variables que podem considerar en un edifici.

Per tal de resoldre el problema, es divideix el disseny experimental en peces independents que poden executar-se en diferents màquines, i després s'uneix de nou totes les respostes en un sol equip després d'un enfocament de clúster de servidors.

S'utilitza una de les aules del campus Nord de la UPC Barceonatech. Es realitza la instal·lació dels sistemes de simulació en cada equip (SDLPS), el model BuildingSim i el motor de càlcul d'eficiència energètica dels edificis (TRNSYS). Finalment, va ser necessari instal·lar un sistema de gestió i sincronització entre tots els ordinadors. Es tria BitTorrentSync® (Jason Farina, 2014), un sistema "peer-to-peer" (P. Trunfioa, 2007) de sincronització que permet centralitzar els resultats i la definició dels escenaris en un sol servidor central.



**Fig. 137. Laboratori de computació utilitzat per a executar les simulacions. Tots els ordinadors componen un clúster que comparteix el model i executa una part de l'experiment, la possibilitat de pujar els resultats a un servidor central. Font: Elaboració pròpia**

Per preparar la distribució de l'experimentació al llarg de tots els equips, s'implementa un sistema d'anàlisi de resultats sobre el SDLSP per detectar la IP de la xarxa local i assigna una adreça IP a cadascuna de les parts en què es divideix l'experiment. També es prepara el sistema per seleccionar la IP a través d'Internet.

A la figura següent es mostra l'assignació dels IP (intranet) per als 25 equips que tenim a l'habitació per a ser utilitzat per a l'experimentació.

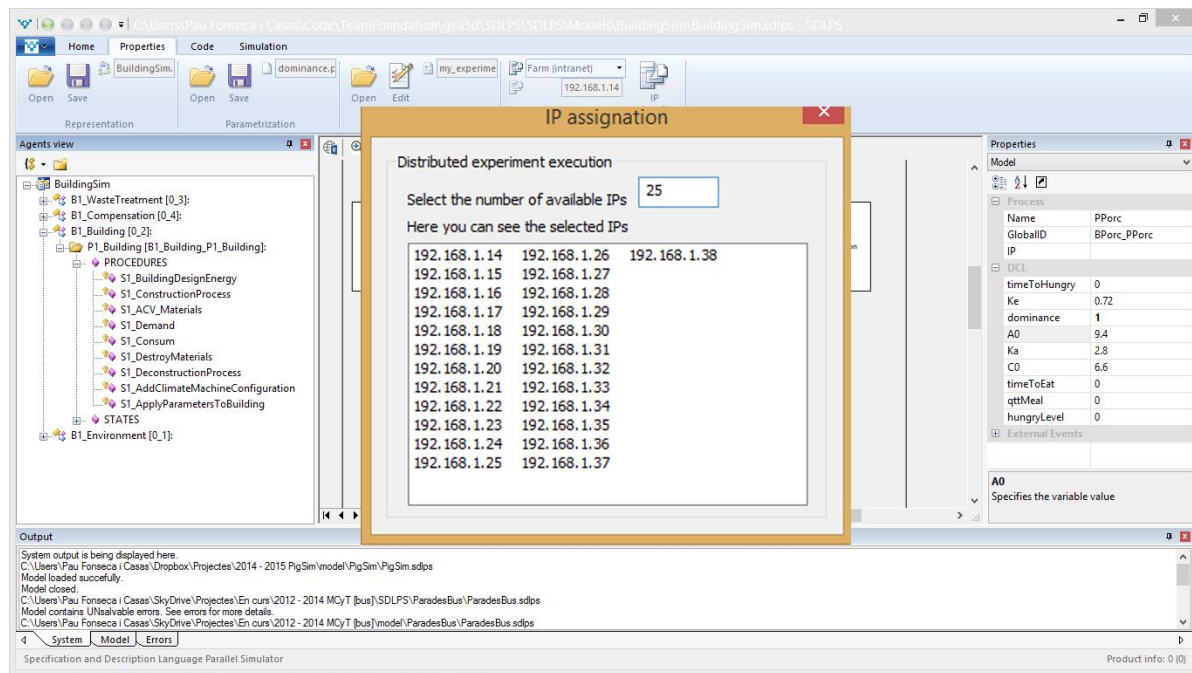


Fig. 138. Assignació de les IP's de xarxa local per distribuir l'experimentació sobre el clúster. Font: Elaboració pròpia

Una vegada que es detecten els equips que van a estar involucrats en l'execució de clúster, l'arxiu de parametrització que descriu el que va a ser executat en cada equip està preparat. Cada ordinador (a través de SDLPSParadesBus) detecta la seva pròpia IP i executa la part del treball que se l'ha assignat. El SDLPSParadesBus assegura que la definició experimental distribuït, seguint un disseny factorial, es divideix exitosament, i que els resultats es poden aconseguir de nou correctament.

### **COMFORT AND ECONÒMIC D'OPTIMITZACIÓ:**

Per tal d'optimitzar el primer grup d'escenaris en base a confort-econòmic, amb l'objectiu d'obtenir les mesures passives que proporcionen un excel·lent confort tèrmic amb el cost de la inversió inicial més baix, cal definir els criteris de confort adoptats (Joana Ortiz, 2015).

Per a l'avaluació, l'edifici s'ha simulat sense l'ús de la calefacció i la refrigeració del sistema (mode de funcionament lliure). El model de confort utilitzat és el model adaptatiu ASHRAE (ASHRAE 55, 2004). El propòsit és explorar en quina mesura les mesures passives són capaços de millorar les condicions de confort sense l'ús dels sistemes actius. Els paràmetres de confort utilitzats per a l'avaluació són el percentatge a llarg termini de Insatisfet (PDL) desenvolupat per Carlucci (Carlucci, 2013) i les hores de sobreescalfament (OH).

El PLD és un índex a llarg termini que avalua la comoditat al llarg d'un període. L'índex s'ha calculat per tres períodes (anual, temporada freda i la temporada càlida), per tal de disposar d'informació sobre el comportament de l'edifici en diferents condicions climàtiques. El requisit de la comoditat per a un edifici residencial és LDP <20%. Això vol dir que els ocupants tenen condició confortable almenys durant el 80% del temps. Els detalls de càlcul s'expliquen en (Carlucci, 2013)

$$LDP = \frac{\sum_{t=1}^T \sum_{z=1}^Z (p_{z,t} \cdot LD_{z,t} \cdot h_t)}{\sum_{t=1}^T \sum_{z=1}^Z (p_{z,t} \cdot h_t)} \quad (1)$$

On  $t$  és el comptador de l'etapa de temps del període de càlcul,  $T$  és el període de càlcul,  $z$  és el comptador per a les zones de la família,  $Z$  és el total de les zones de la casa,  $p_t$  és la taxa d'ocupació de zona en determinat interval de temps,  $h_t$  és la durada d'un interval de temps de càlcul i  $LD_{z,t}$  és la probabilitat de descontentament dins d'una zona determinada ( $z$ ) en un determinat interval de temps ( $t$ ). El LD depèn del model de comoditat i és una funció de l'índex de curt termini. A mesura que s'utilitza el model d'adaptació de ASHRAE, la LD és la probabilitat d'ASHRAE Insatisfet (ALD) i l'índex de curt termini és la temperatura operativa ( $I_{nici}$ ).

Les hores de sobreescalfament s'inclouen per tal de complementar el PLD del període d'escalfament.

Un dels principals problemes de les regions mediterrànies és l'augment de les hores de sobreescalfament a causa d'un disseny no adequat de l'edifici. Llavors, l'anàlisi de la OH podria ajudar a detectar els problemes de sobreescalfament i després, tractar d'evitar-los. El criteri utilitzat és que el percentatge d'OH ha de ser menor que l'1% del càlcul de període amb la finalitat de tenir un edifici confortable. Si les hores d'OH són inferiors a 1% que significa que l'edifici aconseguir condicions confortables sense l'ús de sistema mecànic de refrigeració, i llavors podria ser eliminat. El criteri va ser proposat per CIBSE (CIBSE, 2006) però, una adaptació al càlcul de l'índex s'ha fet: el llindar superior no és un valor constant i depèn de la comoditat model adaptatiu ASHRAE.

$$P_{OH} = \frac{\sum_{t=1}^T p_t \cdot OH_t}{\sum_{t=1}^T p_t \cdot h_t} \begin{cases} OH_t = 1 \Rightarrow T_{op,t} > T_{upperASH,t} \\ OH_t = 0 \Rightarrow T_{op,t} \leq T_{upperASH,t} \end{cases} \quad (2)$$

On  $P_{OH}$  és el percentatge d'hores de sobreescalfament,  $T_{op}$  és la temperatura operativa i  $T_{upper,ASH}$  és la temperatura de confort superior del model de la comoditat d'adaptació ASHRAE en el temps  $t$ . Pel clima analitzat condiciona l'1% de les hores d'estació càlida correspon a 41 hores.

Analitzant els dos paràmetres de confort i el cost d'inversió inicial, un conjunt de mesures passives es pot seleccionar (ve detallat en la part de resultats).

Les mesures passives que es seleccionen per generar els diferents escenaris són (CLIMA: Barcelona i Tarragona / VENT: Ventilació natural: si o no / Tendals: si o no):

Taula 72. Descripció de mesures passives. Font: Elaboració pròpia.

Measure	Code	Description	Additional benefits	Additional Investment cost (€/m <sup>2</sup> )	U-value (W/m <sup>2</sup> K)
Façade insulation	F11-F15	External – EPS 4, 6, 8, 10, 12 cm	Reduce the thermal bridge.	39.36-48.48	0.37-0.20
	F16-F20	External – XPS EPS 4, 6, 8, 10, 12 cm		43.35 – 55.90	0.38-0.21
	F21-F23	Air chamber – rock wool 3, 5, 10 cm		9.12 – 12.55	0.48-0.27
	F24-F26	Air chamber – EPS + graphite 3, 5, 10 cm		11.41 – 23.38	0.43-0.23
	F27-F28	Air chamber – cellulose 5, 10 cm		9.12 – 10.83	0.37-0.25
	F29-F31	Internal – EPS 4, 6, 8 cm		17.68 – 20.53	0.37-0.26
	F32-F34	Internal – rock wool 4, 6, 8 cm		13.12 – 14.26	0.40-0.29
Roof insulation	R11-R13	Inverted – XPS 8, 10, 12 cm	-	54.19 – 57.04	0.26-0.20
	R14-R16	Internal – rock wool 4, 6, 8 cm		15.97 – 17.11	0.37-0.27
	R17-R19	Internal – EPS 4, 6, 8 cm		21.10 – 23.398	0.34-0.25
Window change	W11	4/16/4 Aluminium with thermal break (g-value: 0.755)	Reduce air infiltration (n50=5 h <sup>-1</sup> )	59	2.83
	W12	4/16/4 PVC (g-value: 0.755)		53.42	2.83

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<permutation type="trnsys">
  <group>
    <variable name='topology' type='building'>
      <value>F:\Workspace\IREC-Unif\D_UNIF00_v09-OptimZEUS\D_UNIF00</value>
    </variable>
  </group>
  <group>
    <variable name='%F%' type='constants'>
      <value>10</value>
      <value>11</value>
    </variable>
  </group>
  <group>
    <variable name='%C%' type='constants'>
      <value>10</value>
      <value>11</value>
    </variable>
  </group>
  <group>
    <variable name='%W%' type='constants'>
      <value>10</value>
      <value>11</value>
      <value>12</value>
    </variable>
  </group>
  <group>
    <variable name='%CLIMA%' type='constants'>
      <value>301</value>
      <value>302</value>
    </variable>
  </group>
</permutation>
```

**Fig. 139.** XML generat per tal de preparar els diferents escenaris – mapa de la mostra. Font:  
Elaboració pròpia

Finalment es van llençar un total de 6000 escenaris diferents en una sala de 25 ordinadors (100 CPUs i5 intel pentium) - 240 escenaris/pc; dels quals només van fallar 2 escenaris que es van fer manualment. El temps utilitzat de simulació (temps màquina) van ser 8 hores/pc. Em temps de preparació i recollida de dades i mostra de resultats van ser de  $1 + 1 + 1 = 3$  dies.

Els resultats es van recollir de forma sincronitzada al mateix servidor, mitjançant el sistema integrat de IP's explicat anteriorment.

Com a conclusió d'aquesta fase, cal destacar que es va poder reduir de temps d'execució total en un 75% (tenint en compte les gestions que es van fer per demanar la sala i la instal·lació del programa de càlcul utilitzat, per tant, en un sistema implementat, es podria reduir força més el temps global).



### **COST-OPTIMITZACIÓ ENERGÈTICA:**

L'optimització de costos-energia és la segona part aplicada en la metodologia.

L'objectiu de l'anàlisi és reduir al mínim el consum d'energia primària amb el cost global mínim. En aquest cas, la simulació de l'edifici s'ha fet amb els sistemes de calefacció i refrigeració. El consum d'energia primària inclou calefacció, refrigeració, aigua calenta sanitària (ACS), la il·luminació i els electrodomèstics de consum.

Els escenaris escollits per ser optimitzats en la segona fase són:

**Taula 73. escenaris escollits per ser optimitzats en la segona fase. Font: Elaboració pròpia.**

PASSIVE	FAÇADE	ROOF	WINDOW	SOLAR PROT.	INITIAL INVESTMENT €	ANNUAL LDP %	COLD LDP %	WARM LDP %	OVERHEATING Hours
BC	Base case	Base case	Base case	YES	0	33.0	51.1	12.1	0
721	INT-RW 8	Base case	Base case	YES	2,466	31.3	48.4	11.4	0
151	EXT-EPS 12	Base case	Base case	YES	8,460	24.2	47.4	11.1	0
723	INT-RW 8	Base case	4/16/4PVC	YES	11,831	28.1	43.3	10.4	0
153	EXT-EPS 12	Base case	4/16/4PVC	YES	17,824	27.2	42.0	10.0	0
162	EXT-EPS 12	EXT-EPS 12	4/16/4PVC	YES	27,936	26.1	40.0	10.0	0

Les mesures actives que es seleccionen per generar els diferents escenaris són:

- HEAT: caldera convencional de GN; caldera de condensació + solar tèrmica termosifó; caldera de condensació + solar tèrmica amb captadors plans; caldera de biomassa; bomba de calor aire-aigua) (totes les opcions, menys la caldera convencional, inclouen mesures de reducció de demanda ACS i millora de l'eficiència i el control de la instal·lació de calefacció).
- COOL: cas base; Split millorat; sense aire condicionat.
- PVS: cas base sense PV; PV amb bateries; PV sense bateries.
- LIG: cas base; canvi de làmpades a LED.
- AW: cas base; campanya de conscienciació (reducció del consum elèctric)

Taula 74. Descripció de mesures actives. Font: Elaboració pròpia.

Active measure	Performance	Power (kW)	Initial investment cost (€/m <sup>2</sup> )
Conventional NG boiler	0.7	24	Base Case
Condensing NG boiler	1.09	35	21.89
Biomass boiler	0.91	15	56.75
Heat pump Air-water	2.6	11	63.31
Improve efficiency installation	-	Programmable thermostat	Including cost of condensing boiler
		Thermostatic radiator valve	
Solar Thermal system	-	Tap aerators	10.80
		Water volume saving	
		2.2 m <sup>2</sup> /household	
		160 l storage tank	
Solar Thermal system	-	6.6 m <sup>2</sup> /household	38.86
		300 l storage tank	
Conventional AC Split	2	5	Base Case
Efficient AC Split	4	5	14.63
NO cooling system	-	-	0
PV system	-	3m <sup>2</sup> /household	22.62
		140 Wp	
		3m <sup>2</sup> /household	16.71
		140 Wp	
		With bateries	
CFL	2 W/m <sup>2</sup>	-	Base Case
LED	1.5 W/m <sup>2</sup>	-	4.10
Awareness campaign	-	-	1.65

El càlcul global dels costos segueix la Directiva Europea 2010/31 / UE (European Comission, 2010) (Comissió Europea, 2010) i 2012/27/UE (European Comission, 2012), i el mètode es descriu en la norma EN 15459 (AEN/CTN 100 - CLIMATIZACIÓ, 2008). Els costos globals representen tots els costos necessaris durant un llarg període (30 anys), que inclou: els costos d'energia, els costos inicials d'inversió, els costos de reemplaçament i costos de manteniment. Tots els càlculs tenen en compte l'evolució dels diners (2,5% de la taxa d'inflació i el 4,5% de la taxa d'interès del mercat) i l'evolució dels costos d'energia. Aquest mètode permet la comparació de mesures passives i actives que mantenen la neutralitat

tecnològica entre ells (per exemple, el cost d'inversió de mesures passives són generalment superiors als actius, però, la vida útil dels actius són més curts i necessita ser reemplaçat abans).

**Taula 75. Descripció de les corresponents fonts d'energia, les hipòtesis ambientals i costos mesures actives.**  
Font: Elaboració pròpia.

Parameter	Catalonia (2014)	Source
<b>Electricity</b>		
Energy cost (€/kWh)	0.1315	(Marie, 2010)
Additional values for purchase (€/kW·yr)	40.58	(Marie, 2010)
Energy cost evolution, $RX_{E,ele}$ (%)	2.50	(Marie, 2010)
Conversion factor from final energy to primary energy (kWh <sub>p</sub> /kWh <sub>f</sub> )	2.464	(Ministry of Development of Spain, 2013)
Conversion factor from final energy to CO <sub>2</sub> emissions (g <sub>CO2</sub> /kWh <sub>f</sub> )	248	(Ministry of Development of Spain, 2013)
<b>Natural gas</b>		
Energy cost (€/kWh)	0.0527	(Marie, 2010)
Additional values for purchase (€/yr)	106.56	(Marie, 2010)
Energy cost evolution, $RX_{E,ng}$ (%)	2.00	(Marie, 2010)
Conversion factor from final energy to primary energy (kWh <sub>p</sub> /kWh <sub>f</sub> )	1.070	(Ministry of Development of Spain, 2013)
Conversion factor from final energy to CO <sub>2</sub> emissions (g <sub>CO2</sub> /kWh <sub>f</sub> )	201	(Ministry of Development of Spain, 2013)

\*Prices not include the VAT

Es van llençar un total de 4000 escenaris diferents per la part activa. En aquest cas, en comptes d'utilitzar la sala, es va preparar un conjunt de 10 màquines virtuals amb 400 escenaris cadascuna, mitjançant el sistema de IP's integrat en el SDLPS. El temps utilitzat de simulació (temps màquina) van ser 20 hores/màquina virtual. En temps de preparació i recollida de dades i mostra de resultats van ser de 1 + 1 + 1 = 3 dies.

Els resultats es van recollir de forma sincronitzada al mateix servidor, mitjançant el sistema integrat de IP's explicat anteriorment.

**Taula 76. Terminis d'execució (temps de preparació, de simulació i de recull de dades per mesures passives i actives). Font: Elaboració pròpia.**

	Simulation of passive part			Simulation of active part		
	Prep Time (h)	Simulation Time (h)	Data collection Time (h)	Prep Time (h)	Simulation Time (h)	Data collection Time (h)
Parallel Simulation	30	6	24	24	20	24
Simple Simulation	24	200	24	24	192	24

\* Parallel Simulation of passive part = 25 computers (i5 Intel Pentium CPUs)

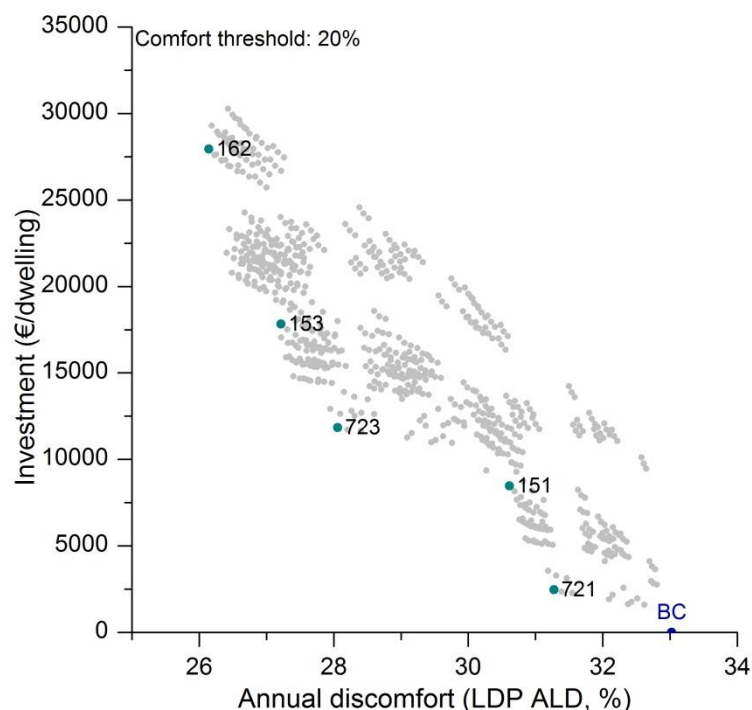
\* Parallel Simulation of active part = set of 10 virtual machines

\* Simple Simulation = 1 computer (i5 Intel Pentium CPUs)

#### 4.4.4. RESULTATS

A mode d'exemple, es mostren, a continuació, els resultats específics pel clima C2 (Barcelona) amb ventilació natural. Són els següents:

**PASSIVE ANALYSIS: Thermal comfort vs. Initial investment cost**



**Fig. 140. Relació entre el desconfort anual tèrmic i la inversió per habitatge. Els escenaris seleccionats són els que més tard passaran a ser els casos base per l'optimització activa. Font: Elaboració pròpia.**

En la figura anterior es pot veure els resultats de primer grup d'escenaris simulats. Per tal de passar a la segona optimització cost-energia, s'escullen els escenaris indicats, considerats òptims en relació a la inversió i confort anual.

Representa la relació entre el desconfort anual i la inversió per habitatge. L'eix X mostra el percentatge de desconfort anual i l'eix Y la inversió requerida per l'habitatge que s'apliquen en cada mesura passiva. Cada punt és una simulació amb una mesura específica. Els punts ressaltats amb el valor numèric són els escenaris triats per tal de continuar amb les mesures actives i aplicar la metodologia. L'elecció de les mesures es basa en trobar la relació ideal entre la inversió mínima per a un habitatge i un millor confort anual (%) - sempre donant prioritat a aquelles mesures que no requereixen sistemes de refredament del clima. Les simulacions amb "força bruta" mostra la corba de Pareto que es poden determinar a partir dels resultats en el gràfic i les opcions seleccionades són a la corba de Pareto.

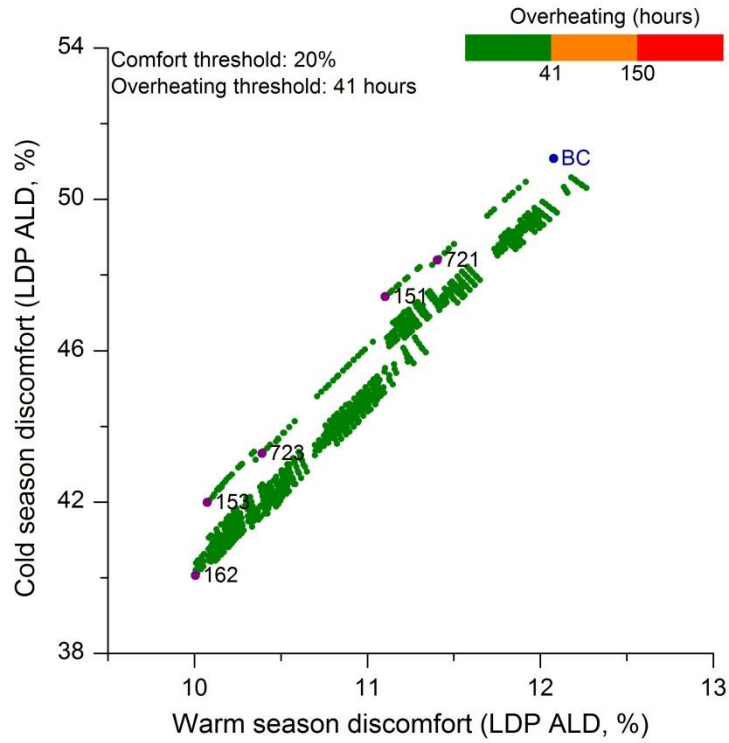


Fig. 141. Relació entre el desconfort entre l'estació càlida i l'estació freda. Font: Elaboració pròpia.

Els escenaris seleccionats, a mida que tenen major inversió, presenten un menor desconfort en les estacions (càlida o freda), tal i com es mostra en la figura anterior.

**ACTIVE ANALYSIS: Primary energy use vs. Global cost**

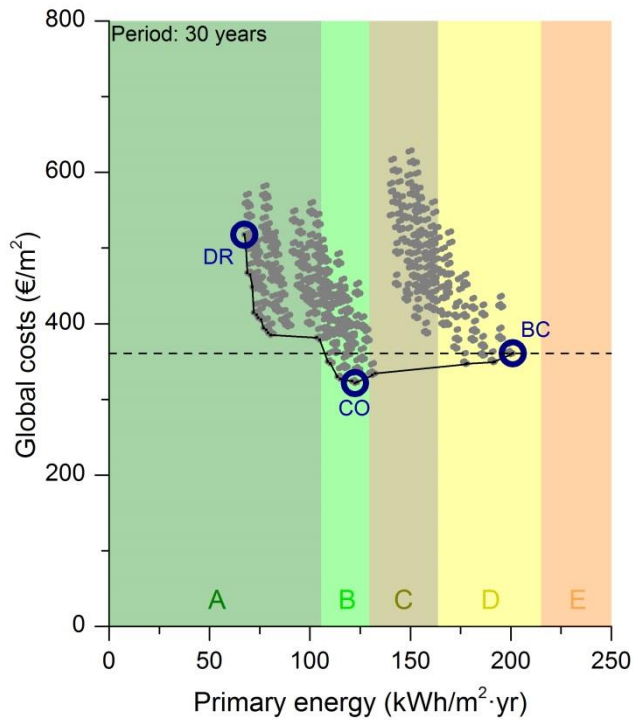


Fig. 142. Figura on es mostra la relació entre l'energia primària i la despesa global. Cada franja de color representa una lletra dins l'escala de certificació energètica. Font: Elaboració pròpia.

Com s'observa en la figura anterior, per analitzar els resultats, l'etiquetatge energètic s'ha inclòs en l'avaluació. No obstant, l'etiqueta d'energia inclou calefacció, refrigeració i aigua calenta sanitària, i els resultats de l'estudi considera la il·luminació i els electrodomèstics. Per aquesta raó, es necessita una adaptació de les etiquetes per tal de ser comparables. En primer lloc, les etiquetes energètiques es calculen seguint la normativa de la UE. A partir de llavors, el consum mig de la il·luminació i els electrodomèstics s'han inclòs per a obtenir l'etiqueta energètica del consum total de l'habitatge.

Podem observar a la gràfica anterior, que hi ha tres grups de punts agrupats clarament diferenciats, els quals corresponen a diferents sistemes de climatització: el primer grup, d'esquerra a dreta, correspon un sistema de calefacció de biomassa, seria on es troba l'escenari DR; l'escenari CO es troba en el grup del sistema de calefacció de caldera de condensació amb plaques solars tèrmiques (de 2 o 6 m<sup>2</sup>); i el tercer grup, que és on es troba l'escenari BC, seria el grup que correspon al sistema de bomba de calor o calefacció convencional.

En la figura següent, s'observa clarament com el cas de renovació profunda és el que té un ús d'energia primària menor però té un major cost global de inversió, penalitzat notablement per la forta inversió inicial. Per contra, el cas base, té un ús d'energia primària molt superior, fent incrementar el seu cost global, tot i que el cost de inversió o manteniment i reemplaçament són nuls o molt baixos.

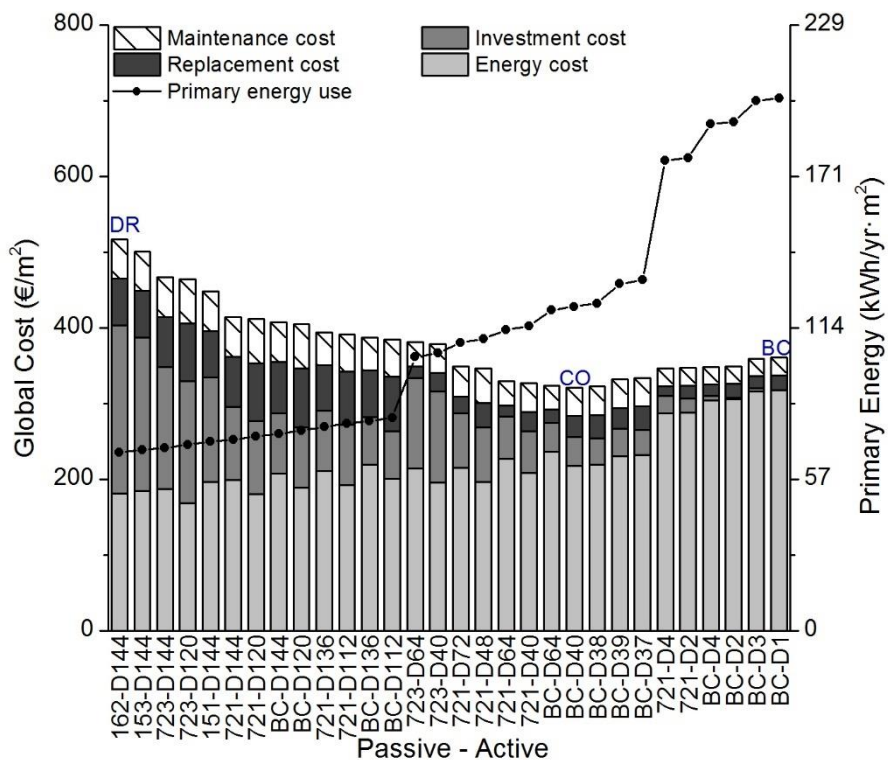


Fig. 143. Relació entre el cost global i les mesures (passives i actives). Font: Elaboració pròpia.

Es pot observar també que l'escenari BC-D112 (cas base amb caldera de biomassa per calefacció i boma de calor convencional per refrigeració), és un dels casos més interessants, ja que, sent de classe energètica A, té un cost global no molt elevat (385,05 €/m<sup>2</sup>) i un ús d'energia primària menor (80,46 kWh/yr·m<sup>2</sup>).

**Taula 77. Taula resum de les dades obtingudes de l'escenari cas base, cas òptim i cas amb menor energia primària. Font: Elaboració pròpia.**

	PASSIVE	HEATING + DHW	COOLING	PV SYSTEM	LIGHTING	AWARENESS CAMPAIGN	PRIMARY ENERGY	ENERGY SAVINGS	GLOBAL COSTS	INITIAL INVESTMENT
							kWh/yr·dw	%	€/dw	€/dw
BC	BC	Conventional NG boiler	Conventional AC Split	NO	CFL	NO	35,226	-	63,286	0
CO	BC	Condensing NG boiler+ST <sub>1</sub>	Conventional AC Split	NO	LED	YES	21,453	39	56,318	6,741
DR	162	Biomass boiler	NO	YES NO BAT.	LED	YES	11,799	66	90,69	38,926

Segons la taula anterior, s'observa que es pot aconseguir una solució de cost-òptim amb no massa inversió inicial (6.741 €/habitatge), fet que millora en gran mesura l'estalvi energètic (39%) i millora de confort interior.

#### **RESULTATS ESPECÍFICS PER ZONA CLIMÀTICA C2 (BARCELONA) AMB VENTILACIÓ:**

- **Avaluació del confort**

El desconfort anual es pot reduir del 33% al 26% només amb mesures passives.

No hi ha problemes de sobreescalfament durant l'estació càlida (<41 hores). El sistema de refrigeració podria evitar-se per garantir les condicions de confort.

- **Cas Base (BC)**

Energy label = D (201 kWhPE/m<sup>2</sup>·yr).

CO<sub>2</sub> emissions = 32 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>·yr

- **Cas mesures òptimes de rendibilitat (CO)**

Energy label= B (122 kWhPE/m<sup>2</sup>·yr). CO<sub>2</sub> emissions = 18 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>·yr

- **Cas renovació profunda de baixa energia (DR)**

Energy label = A (67 kWhPE/m<sup>2</sup>·yr). CO<sub>2</sub> emissions = 5 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>·yr

La caldera de biomassa és la mesura activa que té un alt impacte en el consum d'energia primària (55% de reducció)

La demanda de calefacció es podria reduir en un 44%.

Estalvi d'energia primària: fins al 66%

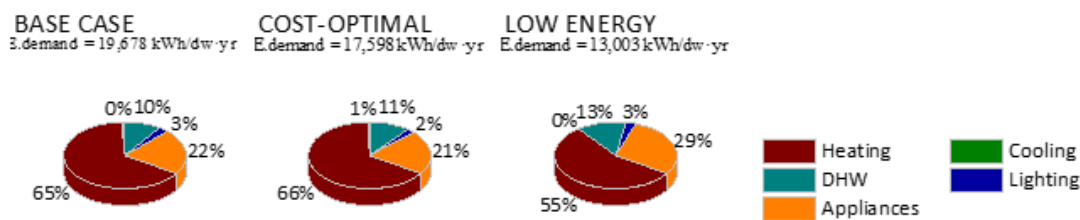


Fig. 144. Resum de la demanda energètica del cas d'estudi segons cas base, escenari òptim o escenari amb menor demanda energètica. Font: Elaboració pròpia.

Com a resum dels resultats de la tipologia D estudiada, podríem destacar:

- El cas base de la tipologia d'edifici compta amb un bon rendiment tèrmic.
- El cas base ja té aïllament a la façana i al sostre.
- L'edifici compta amb dos façana exterior que permet la ventilació creuada natural i l'àrea de la finestra és gran.
- El cas base ja té persianes i tendals, llavors l'ús de la protecció solar és òptima.
- Efecte d'aïllament a la façana:
  - L'aïllament extern té un millor impacte en el confort tèrmic, però, és l'un car.
  - En comparar l'aïllament intern i l'aïllament de la cambra d'aire, el seu cost és similar, però, l'aïllament intern té un millor rendiment tèrmic.
  - L'aïllament de la façana té un efecte positiu tant en fred i la comoditat estació càlida.
  - Efecte d'aïllament en el sostre: El comportament tèrmic de l'aïllament extern i intern és força similar sent lleugerament millor l'extern. No obstant això, la principal diferència és el cost d'inversió (aïllament extern més car que l'intern).
  - La millora del rendiment de la finestra té un alt impacte en la incomoditat anual (al voltant del 5% de reducció), però el seu cost d'inversió inicial és alta (al voltant de 9000 € / dw).
- En la majoria dels casos, el sistema de refredament es podria evitar, garantint condicions de confort, fins i tot a l'edifici sense ventilació natural.
- La majoria de les solucions òptimes de rendibilitat són només mesures actives.
- Les mesures que proporcionen un menor consum d'energia primària impliquen una renovació profunda i l'ús de sistemes d'energia renovable.



#### 4.4.5. CONCLUSIONS

En aquesta investigació, utilitzar la metodologia i el model presentat ens ha permès reduir dràsticament els temps d'execució i per tant, l'eficiència del sistema (en aquestes tipologies d'estudis, els terminis de finalització del projecte són exigents). A part, combinat que, normalment, els tècnics que participen són de vàries àrees diferents, és important poder utilitzar un model que permeti l'enteniment de part del model de simulació per part de tots els integrants de l'equip.

El model s'ha mostrat robust i amb gran capacitat d'afrontar les tasques assignades. S'ha presentat com una eina senzilla i útil per poder controlar tota la co-simulació de forma global (quan parlem de simulació, normalment, el primer enfocament és tractar de segmentar el model de simulació en diverses peces; però, amb el sistema presentat, tot és molt més àgil, amb capacitat de control i amb un baix percentatge de possibilitat de cometre errors) (Fujimoto, PARALLEL AND DISTRIBUTED SIMULATION SYSTEMS, 2001 ) (Fujimoto, Parallel and distributed simulation systems, 2001).

La metodologia proposada, basada en la formalització, a través del model SDL, redueix el temps necessari per realitzar la verificació del model i l'anàlisi i modelització. Això dona més temps per al nostre equip per completar l'experimentació, el que permet executar els escenaris globals en alguns casos sense la necessitat d'utilitzar una algorisme d'optimització específic, utilitzant només la força bruta. Aquest fet, va ser interessant per la investigació, ja que es va poder utilitzar el conjunt complet de dades obtingudes per fer l'anàlisi de resultats i generar una base de dades per ser utilitzada en futurs projectes.

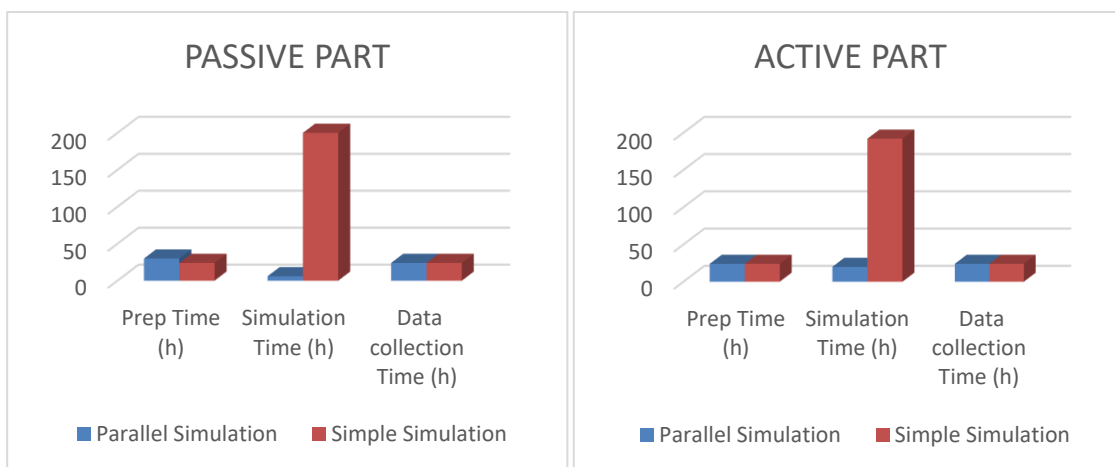


Fig. 145. Comparació del temps d'execució de mesures passives i actives atenent entre si es realitza amb una única màquina (simple simulation) o es realitza mitjançant el sistema proposat (parallel simulation). Font: Elaboració pròpia.

Concretament en l'estudi de cas, els resultats específics del projecte van ser molt útils per a definir les accions prioritàries i les solucions més eficaces per a la rehabilitació energètica d'edificis existents, garantint condicions confortables per als usuaris i l'energia i l'estalvi econòmic. A la Fig. 142 els resultats de tota la simulació es poden veure, on cada punt representa una simulació. L'eix x representa el consum d'energia primària i l'eix y els costos globals més de 30 anys. El fons de la figura es representa gràficament, a escala, el valor del certificat energètic que s'obtidria en cada cas, adaptat als resultats de l'estudi (incloent la il·luminació i electrodomèstics de consum). Els tres punts ressaltats a la figura

representen el cas base (BC), la mesura òptim de rendibilitat (CO) i la renovació profunda de baixa energia (DR). Totes les simulacions que estan per sota de la línia de traç horitzontal (i al costat esquerre de la C.) proporcionen l'energia i l'estalvi econòmic en comparació amb el cas base (BC). Podem trobar mesures cost-energia aconseguint una classe B, millorant 2 classes.

En el marc global del projecte, on s'han analitzat 4 tipologies representatives de la zona de Catalunya, Espanya (representa el 80% del parc edificat), per obtenir les millors mesures cost-efectives per estalvi energètic, el procés emprat planteja: nous enfocaments innovadors, com l'optimització de dos passos tenint en compte el confort, l'energia i els criteris econòmics; caracterització realista, amb l'ús de perfils estocàstics per al comportament dels usuaris i la seva interacció amb l'edifici, i els paràmetres de construcció relacionats amb les campanyes de mesurament i de l'enquesta; avaluació i anàlisi econòmic segons la definició de la normativa europea; i, s'aplica el criteri de mesures passives com a prioritat davant de les actives per garantir el confort tèrmic dels usuaris.

## 5. CONCLUSIONS GENERALS

L'apartat de les conclusions es divideix en 4 subapartats, on es recullen els objectius assolits en la tesi en relació al desenvolupament del model 'BuildingSim', les experiències i avanços aconseguits per la participació en els diferents 'estudis de casos' i en la proposta de l'entorn cloud integrat 'NECADA'. Finalment, es proposa un darrer apartat on es fa un *anàlisi DAFO* (debilitats i fortaleces – amenaces i oportunitats).

### 5.1. BUILDINGSIM

El model BuildingSim ha demostrat ser una eina eficaç com a co-simulador en l'àmbit de sostenibilitat. Respecte altres simuladors i optimitzadors, el model desenvolupat:

- Permet l'ús i la integració de motors de càlcul de simulació per avaluar els impactes ambientals, econòmics i socials definits en la norma de sostenibilitat CEN/TC 350 atenent l'anàlisi del cicle de vida complet.

- Té definit l'estructura de base de dades necessàries per la Integració de diferents bases de dades per obtenir els valors necessaris per les simulacions i càlcul dels diferents escenaris plantejats.

- L'arquitectura del model és visual i directe, per tant, no hi ha desconnexió entre el codi i la idea de disseny, facilitant la compressió del mateix.

- Té la capacitat d'utilitzar en els escenaris diferents algorismes d'optimització o força bruta, depenent de les necessitats del projecte.

- Redueix en gran mesura el temps d'execució i anàlisi de l'estudi de cas.

- Millora la fiabilitat reduint l'error en introducció de dades en el sistema i la resolució de conflictes en les simulacions i càlcul.

- Gràcies a l'ús del llenguatge formal SDL, s'ha fet participant els diferents membres de l'equip per millorar i continuar el desenvolupament del model en el cas de que s'hagi de integrar nous processos o procediments.

- El model pot ser utilitzat en sistema escriptori o via remot. Ha estat integrat en el sistema *cloud* NECADA per facilitar el seu ús a tècnics no especialitzats.

Taula 78. Resum principals característiques BuildingSim. Font: Elaboració pròpia.

	Motor de càlcul	Parametrització	OPTIMITZACIÓ	Càlcul Paral·lel	Multi-variable	Multi-criteri	Interface de dibuix	Interface usuari
<b>BuildingSim NECADA</b>	E+ / Trnsys R OpenFoam	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	No (sí amb programa extern)	Sí (web i local)

	Llenguatge de programació	Recollida de resultats	Llicència	NOTES	Font
<b>Building NECADA</b>	SDL (llenguatge formal, gràfic no ambigu) C++	SDLPS / EYE / R	-	ACV edifici + Redefinició de dades meteorològiques + Compensació energètica	desenvolupament propi autor www.necada.com

## 5.2. CASOS D'ESTUDI ANALITZATS

L'aplicació del model BuildingSim en els diferents estudis de casos ajudat en la presa de decisions en diferents àmbits relacions en l'edificació sostenible:

1. Solar Decathlon. Primera validació del model. Integració del motor de càlcul EnergyPlus.
  - Escenaris simulats: uns 4100 escenaris, en la totalitat del projecte.
  - Es valida la primera aproximació del model BuildingSim amb un estudi.
  - Es presenta la metodologia, llenguatge i estructura principal del model. L'ús del llenguatge SDL facilita en gran part la verificació del model, permetent als membres de l'equip, evitar errors i completar l'experimentació més ràpidament.
  - Es comprova que la utilització del motor de càlcul energyplus permet especificar les mesures de millora a tenir en compte.
  
2. Disseny de façana doble. Millora del rendiment del codi del model. Integració del motor de càlcul OpenFoam.
  - Escenaris simulats: uns 200 escenaris en la totalitat del projecte.
  - El model es valida per dos motors de càlcul diferents.
  - La utilització del co-simulador permet definir amb detall, previ edificació in situ, l'escenari òptim a construir, permetent una validació posterior dels resultats amb comparació a la monitorització presa.
  - Un cop es realitza la construcció de la façana a escala real i la seva monitorització i validació, el co-simulador permet extrapolar els resultats a altres zones climàtiques per tal de validar la solució proposada i realitzar millores i adaptacions.
  
3. Projecte ACE – disseny de app. Validació d'algorisme d'optimització Hill Climbing. Millora i optimització de codi per augmentar el rendiment del model. Integració del llenguatge R pels resultats.
  - Escenaris simulats: uns 7500 escenaris, en la totalitat del projecte.
  - El model facilita la comunicació entre el grup de treball responsable de les simulacions dels diferents escenaris i el grup de treball que desenvolupa la web app específica.
  - Utilitzar models formals per realitzar les simulacions i arxius estructurats (.xml) per mostrar els resultats, va facilitar molt l'enteniment i comunicació no ambigua entre els diferents tècnics del projecte, millorant el rendiment i minimitzant possibles errors
  - El model s'integra dins del grup de treball com a eina indispensable per l'obtenció de dades per la realització d'un anàlisi posterior.
  - La integració de R per utilitzar la potencialitat dels gràfics en els resultats, permet a l'equip l'anàlisi dels mateixos, ajudant en la presa de decisions en les propostes de millora a mostrar al client.

4. OptiHab – Marie. Validació del model amb simulació en paral·lel i granja d'ordinadors. Validació del model utilitzant el motor de càlcul Trnsys.
- Escenaris simulats: en la totalitat del projecte, uns 70.0000 escenaris.
  - La metodologia i el model presentat permet reduir dràsticament els temps d'execució (75%) i per tant, l'eficiència del sistema.
  - El co-simulador és una eina senzilla i útil per poder controlar tota la co-simulació de forma global
  - El co-simulador és una eina que va ajudar per a definir les accions prioritàries i les solucions més eficaces per a la rehabilitació energètica d'edificis existents, garantint condicions confortables per als usuaris i l'energia i l'estalvi econòmic.

### 5.3. ENTORN NECADA

L'entorn *cloud* NECADA:

- Permet treballar al núvol, amb múltiples escenaris en paral·lel, incrementar la potència de càlcul si l'estudi de cas ho necessita,
- Aporta facilitat i rapidesa de treball en el plantejament d'escenaris
- Està pensat principalment per treballar amb el motor de càlcul energyplus i retornar els resultats amb gràfics segons llenguatge R.
- A nivell de sistemes passius, permet optimitzar segons zona climàtica i orientació, tipologia modelatge 3D, solucions constructives. A nivell de sistemes actius permet optimitzar atenent diferents sistemes de climatització activa predefinits.
- El *wizzard del cadastre* permet aixecar ràpidament gran extensions edificades pel seu posterior anàlisi per ajudar en la presa de decisions a nivell de pobresa energètica, accions polítiques, plans d'acció, etc... També permet obtenir el modelatge 3D de forma senzilla, a aquells clients no experts en modelatge BIM (mirar apartat 6. Línies de desenvolupament futur).

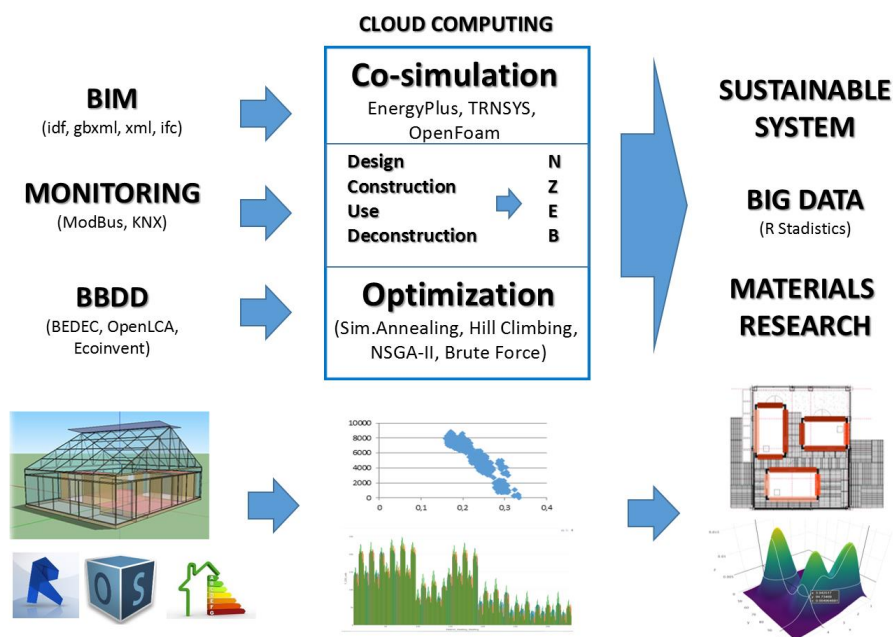


Fig. 146. Resum general de les capacitacions de NECADA. Font: Elaboració pròpia

NECADA es mostra com una eina eficaç i útil per a tècnics que necessitin un entorn capaç de realitzar optimització de sistemes analitzant els criteris de sostenibilitat per ajudar a la presa de decisions, amb gran facilitat d'ús, i intuïtiva. Presenta gran potencialitat de creixement, tal i com s'explica en el següent apartat '6. Línies de desenvolupament futur'.

## 6. LÍNIES DE DESENVOLUPAMENT FUTUR

Per tal de dotar de majors funcionalitats al model BuildingSim i major potencialitat a l'entorn Necada, s'estan desenvolupant les següents línies de investigació:

### INTEGRACIÓ SOTA L'ENTORN BUILDINGSIM

#### En desenvolupament

- Integració completa dels impactes socials
- Integració amb la BBDD del ITEC Bedec.
- Desenvolupament específic dels mòduls de meteorologia (predicció canvi climàtic), residus/reutilització, compensació. Col.laboració amb el BSC, Barcelona Supercomputing Center (BSC, 2016).

#### Futur

- Integració de l'estructura de la BBDD del model amb altres bases de dades lliures i programes d'anàlisi del cicle de vida com el OpenLCA.
- Nous algorismes d'optimització.
- Integració de nous motors de càlcul com ara el lumínic (radiance), renderització (blender) o càlcul hídric.

### INTEGRACIÓ SOTA L'ENTORN NECADA

#### En desenvolupament

- Sota conveni amb el ITEC, integració del sistema al programa TCQGMA, programa de càlcul de pressupostos de medi ambient, perquè els usuaris puguin utilitzar la potencialitat de Necada i atendre els impactes associats al ús i manteniment de l'edifici d'estudi. Mitjançant la generació de resultats amb R, l'usuari podrà fer un estudi estadístic que li permetrà la presa de decisions.
- Procés de seguretat i control d'usuaris per la gestió de l'entorn, tant a nivell administrador com a nivell client.
- Obtenció de dades a nivell massiu a partir del cadastre i un formulari senzill (Vila, 2016), per generar el model BIM (Building Information Modeling). Les següents imatges mostren de forma esquemàtica el formulari a completar i els diferents elements que el componen.

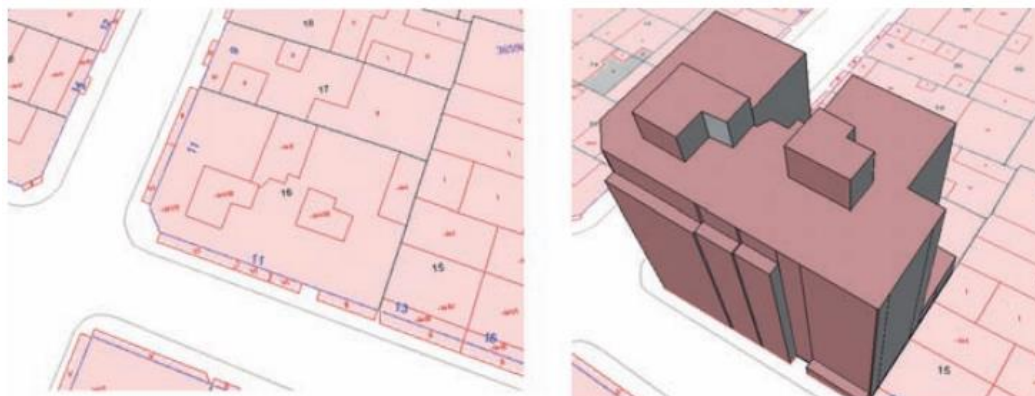


Fig. 147. Modelització edifici en 3D. Font: elaboració pròpia.

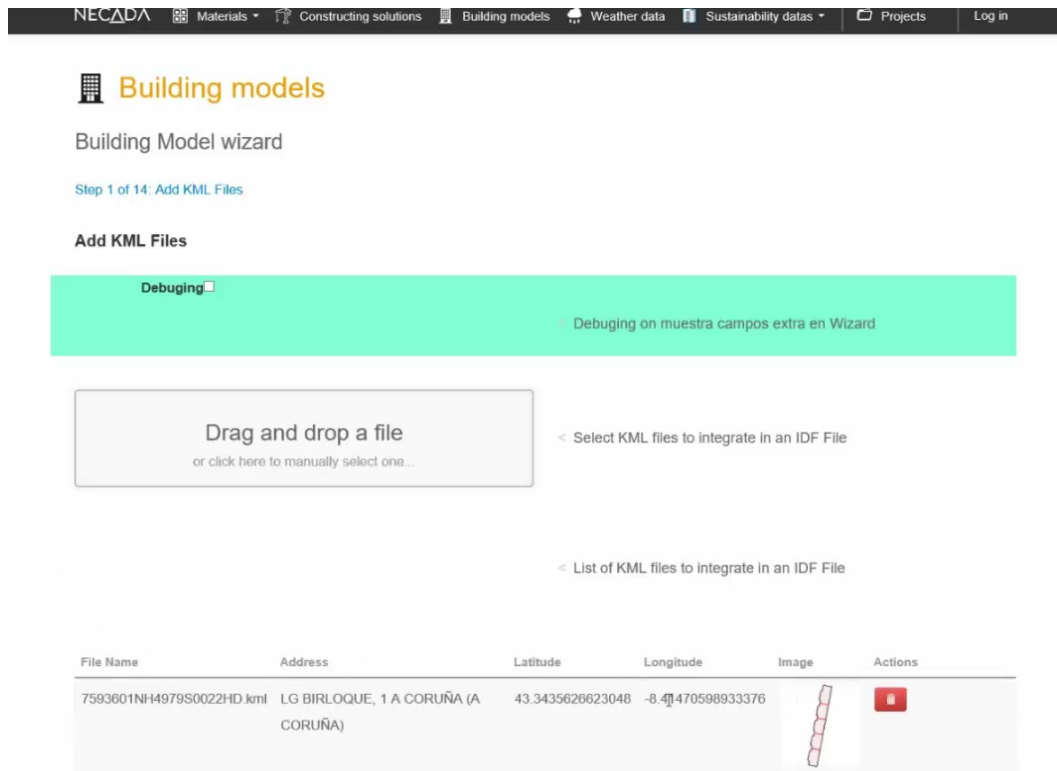


Fig. 148. Cadastre. Building model wizard. Font: NECADA.

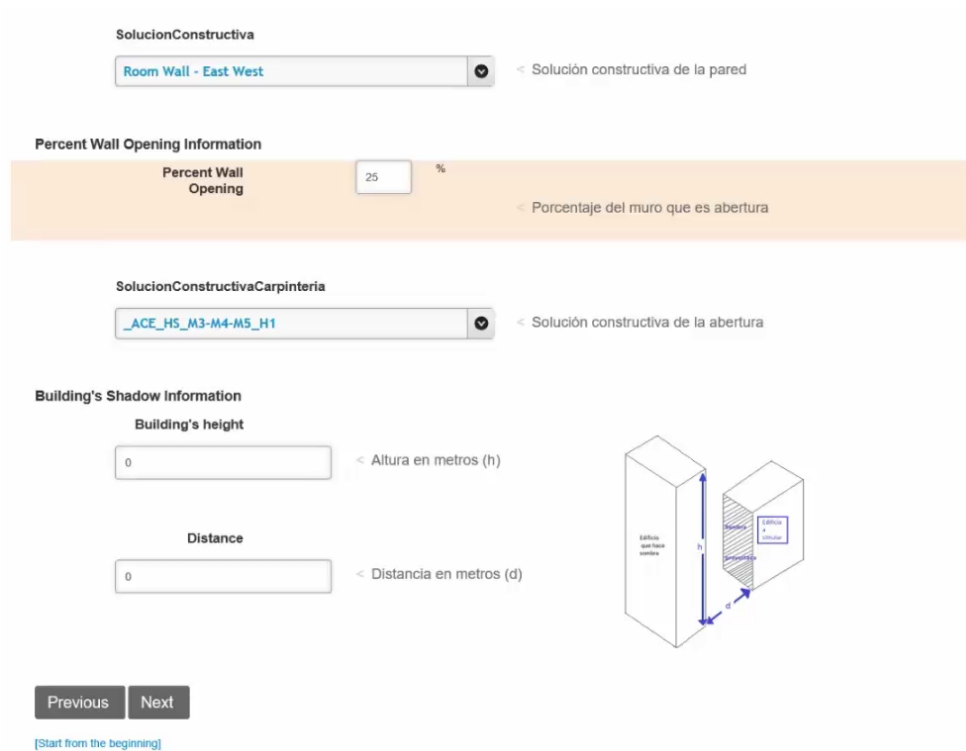


Fig. 149. Formulari per convertir els arxius dxf, ce3x o kml del cadastre a format idf. Solucions constructives. Font: NECADA.



A data de setembre del 2016, existeix una versió inicial que et permet generar l'arxiu per la simulació, atenent uns models base concrets.

### **Futur**

- Millorar la imatge i la usabilitat de OptiSim (web) per facilitar l'experiència de l'usuari en Necada.
- Integració de l'entorn Necada amb una aplicació de gamificació per la conscienciació social en l'estalvi energètic sota criteris sostenibles.



## 7. APORTACIONS / PUBLICACIONS REALITZADES I CONGRESSOS ASSISTITS

A continuació s'enumeren les diferents publicacions en revistes indexades, en revistes científiques i de divulgació, i, la participació en congressos nacionals o internacionals i en projectes relacionats amb la tesi doctoral.

### 7.1. REVISTES INDEXADES PUBLICADES AL LLARG DE LA TESI DOCTORAL

**Sustainability, MPDI (2016).** 'Analysis of Applications to Improve the Energy Savings in Residential Buildings based on SQMO'. DOI: 10.3390/su8101051.

**Energy and buildings, Elsevier, 2016.** Cost-effective analysis for selecting energy efficiency measures for refurbishment of residential buildings in Catalonia. DOI: 10.1016/j.enbuild.2016.06.059.

**Energy and Buildings, Elsevier, 2015.** Comfort and economic criteria for selecting passive measures for the energy refurbishment of residential buildings in Catalonia. DOI: 10.1016/j.enbuild.2015.10.022.

**Mathematical Problems in Engineering, Hindawi Publishing Corporation, 2015.** Optimal buildings' energy consumption calculus through a distributed experiment execution. DOI: 10.1155/2015/267974.

**Advances in Engineering Software, Elsevier, 2014:** "Formal simulation model to optimize building sustainability". DOI: 10.1016/j.advengsoft.2013.12.009.

### 7.2. REVISTES I CONGRESSOS PARTICIPATS AL LLARG DE LA TESI DOCTORAL

**IBPSA 2015,** 14th International Conference of the International Performance Simulation Association: Optimization of Energy Renovation of Residential Sector in Catalonia Based on Comfort, Energy and Costs

**III Fòrum sobre medi ambient i món local (2015).** NECADA, software d'optimització per la sostenibilitat.

**INASE 2015:** Distributed experiment for the calculus of optimal values for energy consumption in buildings.

**Innocons (CCOC), 2013:** Eficiencia energética en la rehabilitación de edificios (medidas de mejora energética y sus implicaciones en las obras de rehabilitación de la envolvente y los elementos pasivos).

**GreenCities, 2012:** "BUILDING OPTISIM, OPTIMIZADOR NZEB"

**SmartCities, 2012:** "NZEB. OptiSIM in Sustainability.

**CONAMA, 2012:** "NZEB. Optimización mediante co-simulación. (e)Co".

**CONAMA, 2012:** "Arquitectura sostenible para el huerto ecológico: de la simulación a la realidad.

### **7.3. PROJECTES NACIONALS/EUROPEUS PARTICIPATS**

#### **INTEGRACIÓ NECADA (OPTISIM) A LES BBDD DEL BEDEC-ITEC (2015-2016)**

Desenvolupament d'eina informàtica per l'edificació, assessorament eficiència energètica i integració d'optimització en el sistema.

Integració de l'entorn NECADA al programa 'in cloud' TCQGMA.

#### **PROJECTE ACE (2015)**

Projecte nacional (fons CDTI) de creació d'una app de rehabilitació energètica i monitorització pel sector residencial i terciari.

Entitats del projecte: VIAS, LaVola i la UPC Barcelonatech.

#### **PROJECTE MARIE (2014-2015)**

Projecte internacional I+D d'Optimització en l'edificació englobat dins del projecte Marie amb al UPC i IREC (Institut de Recerca en Energia de Catalunya).

#### **PATENT – NECADA (2014)**

Spain 24392; programari d'optimització al núvol de sistemes arquitectònics atenent la sostenibilitat (normativa CEN/TC 350), al llarg del cicle de vida complet.

#### **PROJECTE INTERNACIONAL 'JSEED' Japan-Spain Energy Efficient Development for Ultra-Low Energy Buildings (2013-2014)**

Disseny, desenvolupament i implementació en edificis de noves tecnologies i estratègies de condicionament tèrmic, potenciant la relació entre sistemes passius i actius de climatització, l'envolupant i les particions interiors

RESPONSABLE DEL GRUP DE TREBALL del projecte de I+D de l'estudi de prototips de noves propostes en façanes per l'edificació atenent a una millora de rendiment energètic, lumínic i confort interior.

Col·laboració amb l'empresa Acciona infraestructures S.L.

#### **PROJECTE D'EFICIÈNCIA ENERGÈTICA. REHABILITACIÓ ENERGÈTICA (2011-2012)**

Estudi de innovació, com a col·laborador en el grup de investigació i recerca INNOCONS de la Cambra de Contratistes de Catalunya, sobre l'eficiència energètica d'un prototip, edifici plurifamiliar, per tal de poder trobar les millors solucions energètiques, analitzar a nivell cost econòmic / demanda energètica i les solucions constructives més favorables i rentables.

Projecte sobre la rehabilitació energètica en l'edificació.

#### **PROJECTE INTERNACIONAL ATON ([www.proyectoaton.com](http://www.proyectoaton.com)) (2011-2012)**

RESPONSABLE DEL GRUP DE TREBALL DE SIMULACIÓ ENERGÈTICA del projecte de desenvolupament i investigació de noves tecnologies basades en cèdules fotovoltaïques de làmina fina.

Projecte subvencionat per CDTI (Centre pel Desenvolupament de Tecnològic Industrial), recolzat per el MICINN (Fons de Inversió Local per l'ocupació- Govern d'Espanya). Col·laboració amb l'empresa Acciona infraestructures S.L.

### **PROJECTE SIM – ANÀLISIS SOSTENIBLE (UPC) (2011-2012)**

Membre del grup de desenvolupament d'una eina per AVALUAR L'EDIFICACIÓ AMB SISTEMES ENERGÈTICS EFICIENTS (atenent el cost econòmic de l'edificació, amb ACV dels materials i la demanda energètica).

Beca Llabor – BarcelonaTech UPC

### **CONCURS SOLAR DECATHLON 2012 prototip Eco 2012, amb l'ETSAV (Escola Tècnica Superior d'Arquitectura del Vallès) (2011-2012)**

Estudi d'eficiència energètica del prototip (atenent els ACV dels materials, cost econòmic i demanda energètica).

Participació en la presentació del prototip en Construmat 2011.

- 1st prize of GBC (Green Building Council) in SDE competition for (e)co-UPC sde 2012 pavillon

- 3rd prize of "Industrialization and market viability in SDE competition for (e)co-UPC sde 2012 pavillon

- Honorable mention of "Interior Design Architecture" in SDE competition for (e)co-UPC sde 2012 pavillon

### **PARTICIPACIÓ EN EL LIVING-LAB LOW3 (2010-2011)**

Edificació sostenible realitzat pel grup de recerca CISOL (Centre de Investigació Solar) de l'ETSAV, guanyadora del premi arquitectura en el concurs Solar Decathlon 2010.

Estudi d'eficiència energètica del prototip (atenent els ACV dels materials, cost econòmic i demanda energètica).



## 8. BIBLIOGRAFIA

---

- U.S. Department of Energy. (2013). *EnergyPlus Graphical User Interfaces*. Recollit de [http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/ep\\_interfaces.cfm](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/ep_interfaces.cfm)
- A, G., Coussirat, M., Valero, C., Egusquiza, E., & Alavedra, P. (19 / Febrero / 2011). CFD assessment of the performance of lateral ventilation in Double Glazed. *Energy and Buildings*, 43, 2539–2547.
- A. Cuchí, P. S. (2011). A national perspective on Spain's building sector. A roadmap for a new housing sector. *Green Building Council Spain. Fundacion CONAMA*. Madrid.
- A. Manyes, L. S. (2013). Block level study and simulation for residential retrofitting. *Conference of the International Building Performance Simulation Association*. Chambery.
- Academic Press Inc. (2000). *Theory of modeling and simulation, integrating discrete event and continuous complex dynamic systems*. . Pearson.
- Adams, E. (9 / July / 2009). *The Designer's Notebook: Sorting Out the Genre Muddle*. Recollit de [http://www.gamasutra.com/view/feature/4074/the\\_designers\\_notebook\\_sorting\\_.php?page=2](http://www.gamasutra.com/view/feature/4074/the_designers_notebook_sorting_.php?page=2) Gamasutra:
- AEN/CTN 100 - CLIMATIZACIÓN. (2008). *Energy performance of buildings - Economic evaluation procedure for energy systems in buildings*. AENOR.
- AENOR. (2012). *Marc per l'avaluació del comportament econòmic UNE-EN 15643-4*. Madrid.
- AENOR. (2012). *Reglas Generales del Programa AENOR GlobalEPD*.
- AENOR. UNE-EN 15643-1. (2012). *Sostenibilitat en la construcció. Avaluació de la sostenibilitat en els edificis. Marc General*.
- AENOR. UNE-EN 15643-3. (2012). *Marc per l'avaluació del comportament social*. Madrid.
- AENOR. UNE-EN 15978. (2012). *Avaluació del comportament ambiental dels edificis. Mètodes de càlcul*. Madrid.
- AENOR. UNE-EN 15804. (2013). *Declaraciones ambientales de producto*. Madrid.

Agència Internacional d'Energia. (2013). *Towards Net Zero Energy Solar Buildings*. Recollit de <http://www.iea-shc.org/task40/index.html>

ALARCÓN BARRIO, A. (2012). *Sostenibilidad en la construcción. Normalización*. Madrid.

Alliance for sustainable Energy, LLC. (2016). *National Renewable Energy Laboratory*. Recollit de Model Maker: <https://modelmaker.nrel.gov/>

Andreas Sattrup, P. &.-A. (2011). *A methodological study of environmental simulation in architecture and engineering*. Boston.

Arantes, L. &. (2011). *A simple method to consider energy balance in the architectural design of residential buildings*. Boston.

ASHRAE. (2009). *Fundamentals*.

ASHRAE. (2012). *ASHRAE*. Recollit de [www.ashrae.org](http://www.ashrae.org)

ASHRAE 55. (2004). *Thermal environmental conditions for human occupancy, American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers Inc*. Atlanta, USA.

Autodesk. (2016). *Green Building Studio*. Recollit de Building Performance Analysis. Raised to the power of the Cloud.: <https://gbs.autodesk.com/GBS/>

Autodesk Analysis. (2013). *Autodesk Analysis*. Recollit de <http://usa.autodesk.com/ecotect-analysis/>

B. P. Zeigler, A. I. (1988). DEVS formalism: a framework for hierarchical model development. *IEEE Xplore Digital Library*, 228 - 241.

Bakera, P., & Van Dijk, H. (Febrero / 2008). PASLINK and dynamic outdoor testing of building components. *Building and Environment*, 43, 143–151.

Balci, Osman. (1997). Verification, Validation and Accreditation of Simulation Models. A S. Andradóttir, K. J. Healy, D. H. Withers, & B. L. Nelson (Ed.), *Proceedings of the 1997 Winter Simulation Conference* (p. 135-141). INFORMS.

Balci, Osman. (2010). Golden Rules of Verification, Validation, Testing, and Certification of Modeling and Simulation Applications. *SCS M&S Magazine*, 4, 1-7.



Barcelona Supercomputing Center. (2016). *MareNostrum. A cutting-edge facility at the service of research, knowledge and development*. Recollit de <https://www.bsc.es/marenostrum-support-services>

Bart Selman, C. p. (2014). *Hill-Climbing Search*. Nova York.

Becchio, C. (2014). *The influence of energy targets and economic concerns in Design strategies for a residential NZEB building*.

BeOpt. (2012). *BEopt*. Recollit de Building Energy Optimization: <http://beopt.nrel.gov/>

Berkeley Lab. (2013). *Simulation Research Group*. Recollit de <http://simulationresearch.lbl.gov/>

Bernard P. Zeigler, Alexandre Muzy. (2016). Emergence at the Fundamental Systems Level: Existence Conditions for Iterative Specifications. *Systems*.

BOE. (2013). *CTE, Código Técnico de la Edificación*. Madrid.

BOE. (2013). *RD 235/2013*. Madrid.

BPIE - Buildings Performance Institute Europe -. (2012). *Cost Optimality. Discussing methodology and challenges within the recast Energy Performance of Buildings Directive*. Bèlgica.

BPIE - Buildings Performance Institute Europe. (2011). *Principles for Nearly Zero-Energy Buildings. Paving the way for effective implementation of policy requirements*.

Bruno, M. &. (2011). *Multi-Objective Optimization in Urban Design*. Boston.

BSC. (2016). *Barcelona Supercomputing Center*. Recollit de <https://www.bsc.es/>

Building Systems Laboratory. (1999). *BLAST 3.0: Users Manual*. University of Illinois: Department of Mechanical and Industrial Engineering.

Building Technologies Department. (2012). *BCVTB (Building Controls Virtual Test Bed)*. Recollit de <http://simulationresearch.lbl.gov/bcvtb>

Building Technologies Department. (2013). *Radiance*. Recollit de <http://radsite.lbl.gov/radiance/>

- Cabasino, M. P. (2013). Introduction to Petri Nets. *Lecture Notes in Control and Information Sciences*, 191–211. doi:0.1007/978-1-4471-4276-8-10.
- Caliot, C. (2010). *Numerical Methods in radiative transfer*. CNRS Lab.
- Campos, V. M. (2010). *Análisis de los resultados de un diseño factorial con datos faltantes*. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya.
- Cannone, M. (1997). A generalization of a theorem by Kato on Navier-Stokes equations. *Revista matemática iberoamericana*, 515-542.
- Carbonari, G., & Jones, K. G. (2014). *Sustainable facilities management through building information modelling*. University of Greenwich; Anglia Ruskin Univeristy. Recollit de <http://hdl.handle.net/10540/580026>
- Carlucci, S. (2013). Thermal comfort assessment of buildings. *Springer*.
- Catalans, I. d. (2016). *Institut d'estudis Catalans*. Recollit de <http://dcc.iec.cat/ddlc/index.asp>
- CDTI. (19 / Febrero / 2016). *Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial*. Recollit de <https://www.cdti.es/>
- CEN. (23 / Gener / 2013). *Comité Europeu de Normalització*. Consultat el 23 / Gener / 2013, a <http://www.cen.eu/cen/Pages/default.aspx>
- CEN, EN 15459. (2008). Economic evaluation procedure for energy systems in buildings. A *Energy performance of buildings* .
- CEN/TC 350. (2011). *PrE-16309*. Brussel.les.
- CEN/TC 350. (2012). *CEN/TC 350 La sostenibilidad de las obras de construcción*. Bruselas: CEN.
- Chacón Vargas, J. R. (2008). Historia ampliada y comentada del análisis de ciclo de vida (ACV). *Revista de la Escuela Colombiana de Ingeniería N° 72*, 37-70.
- CIBSE. (2006). *Environmental Design*. London.
- CIBSE. (2012). *CIBSE*. Recollit de [www.cibse.org](http://www.cibse.org)
- CIBSE Guide A. (2006). *Environmental design*. London: CIBSE.
- CIMNE, I. S.-A. (2008). *Proyecto PVTBuilding*. España.

CINDERELLA SOFTWARE. (2007). *Cinderella SDL*. Consultat el 31 / 03 / 2009, a <http://www.cinderella.dk>

Comisión Europea. (2014). *El Programa Marco de Investigación e Innovación de la Unión Europea*. Luxemburgo: Oficina de Publicaciones de la Unión Europea.

Comisión europea para la investigación térmica y solar. (1990). *The Passys Test Cell*. Bruselas: Belgian Building Research Institute.

Comisión europea para la investigación térmica y solar. (1990). *The Passys Test Cell*. Bruselas: Belgian Building Research Institute.

Comitè Tècnic ISO/TC 79. Subcomitè SC 17. (2008). *ISO 15392. La sostenibilitat en la construcció d'edificis. Principis generals*. Suïssa.

Comité técnico AEN/CTN 198 sostenibilidad en la construcción. (2012). *Evaluación de la sostenibilidad en los edificios. Parte 4: marco para la evaluación del comportamiento económico*. Madrid: AENOR.

Conama 10. (2010). *El Ecodiseño en la gestión del ciclo de vida del producto*. Madrid: [http://www.conama10.es/conama10/download/files/GTs%202010/5\\_final.pdf](http://www.conama10.es/conama10/download/files/GTs%202010/5_final.pdf).

Consejería de Fomento, Vivienda, Ordenación del Territorio y Turismo del Gobierno de Extremadura. (2013). *Proyecto EDEA RENOV: Desarrollo de la Eficiencia energética en la arquitectura: rehabilitación, Innovación y TICs*. Recollit de <http://www.renov.proyectoedea.com/es/content/proyecto-edea-renov>

Consejo, P. E. (2010). Directiva 2010/31/CE .

Consoli, F. (1993). *Guidelines for Life-cycle Assessment: A Code of Practice*. Bruselas: Society of Environmental Toxicology and Chemistry.

Construcción 21. (5 / juny / 2012). *Declaraciones Ambientales de Producto (DAP o EPD)*. Consultat el 21 / gener / 2012, a <http://www.construction21.eu/espana/community/pg/groups/540/>

Craig , C., Scott , H., Todd, G., Adam , C., & Greg , B. (2005). *BeOpt: Sofftware for Identifying Optimal Building Designs on the Path to Zero Net Energy*. Orlando, Florida: ISES 2005 Solar World Congress.

- Crawley, D. B., Kummert, M., Hand, J., & Griffith, B. (2005). *Contrasting the Capabilities of Building Energy Performance Simulation Programs*.
- Cuchí, A., & Pagès, A. (2007). *Sobre una estrategia para dirigir al sector de la edificación hacia la eficiencia en la emisión de gases de efecto invernadero (GEI)*. Madrid: Ministerio de Vivienda del Gobierno de España.
- Cuerva, E. (2007). *Requerimientos de fachadas acristaladas en edificios de oficinas según el nuevo CTE*. Barcelona: UPC.
- CYPE Ingenieros S.A. (2013). *CYPE Ingenieros*. Recollit de <http://www.cype.es/>
- Daikin. (22 / Febrero / 2016). Recollit de <http://www.daikin.es/climatizacion-para-su-hogar/aire-acondicionado-y-bomba-de-calor/split/ururu-sarara-bomba-de-calor/>
- Dall'o, G. (2013). *Nearly Zero-energy Buildings of the Lombardy Region (Italy), a case Study of High-Energy Performance Buildings energies*. Italy.
- Dassault Systemes. (2013). *Dymola*. Recollit de <http://www.3ds.com/products/catia/portfolio/dymola>
- De Montfort University. (2013). *Institute of Energy and Sustainable Development*. Recollit de <http://www.iesd.dmu.ac.uk/>
- Decret d'eficiència. (2006). *DECRET 21/2006, de 14 de febrer, pel qual es regula l'adopció de criteris Ambientals i d'eficiència en els edificis*. Barcelona: DOGC.
- DEEE. (2002). Directiva 2002/91/CE del Parlament Europeu i del Consell de 16 de desembre de 2002, relativa a l'eficiència energètica dels edificis. (2002/91/CE). Bruselas: CEE.
- Deloitte. (2016). *Un modelo energético sostenible para España en 2050. Recomendaciones de política energética para la transición*. Madrid: Deloitte Consulting, S.L.U.
- Departamento de energía, U. (2012). *EnergyPlus. Weather Data*. Recollit de [http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather\\_data2.cfm/region=6\\_europe\\_wmo\\_region\\_6](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather_data2.cfm/region=6_europe_wmo_region_6)
- Design Builder Software. (2005). *DesignBuilder*. Recollit de <http://www.designbuilder.co.uk/>
- Design Builder Software. (2005). *DesignBuilder*. Recollit de <http://www.designbuilder.co.uk/>

DesignBuilder Software Ltd. (2013). *DesignBuilder Software*. Recollit de  
[www.designbuilder.co.uk](http://www.designbuilder.co.uk)

Diari Oficial de la Unió Europea. (2012). *Reglament Delegat (UE) 244/2012 de la comisió de  
16 Gener 2012*.

Dickson, D. (1998). *Ventilation Technology in Large Non-Domestic Buildings*. Gran Bretanya:  
University of WarWick Science.

DIRECTIVA 2010/31/UE. (2010). *DIRECTIVA 2010/31/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL  
CONSEJO de 19 de maig de 2010, relativa a l'eficiència energètica dels edificis  
(refundició)*. Estrasburg.

DIRECTIVA 2012/27/UE. (2012). *DIRECTIVA 2012/27/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL  
CONSEJO de 25 d'octubre de 2012, relativa a l'eficiència energètica, per la que es  
modifiquen les Directives 2009/125/CE y 2010/30/UE, i per la que es deroguen les  
Directives 2004/8/CE i 2006/32/CE*. Estrasburg.

DIRECTIVA 93/76/CEE. (1993). *DIRECTIVA 93/76/CEE DEL CONSEJO, DE 13 DE SEPTIEMBRE  
DE 1993, RELATIVA A LA LIMITACIÓN DE LAS EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO  
MEDIANTE LA MEJORA DE LA EFICACIA ENERGÉTICA (SAVE) DOCE 237/L, DE 22-09-  
93*. Brussel·les.

Doldi, L. (2001). *sdl illustrated - visually design executable models*. TRANSMETH SUD OUEST.

Doldi, L. (2003). *Validation of Communications Systems with SDL: The Art of SDL Simulation  
and Reachability Analysis*. John Wiley & Sons, Inc.

Domínguez Bravo, J., Lago Rodríguez, C., & Prades López, A. (2010). *energías renovables y  
modelo energético; una perspectiva desde la sostenibilidad*. *Nimbus*(25-26), 43-63.

Drury B. Crawleya, Linda K. Lawrieb, Frederick C. Winkelmann, W.F. Buhlc, Y. Joe Huangc,  
Curtis O. Pedersend, . . . Jason Glazerf. (2001). *EnergyPlus: creating a new-generation  
building energy simulation program*. Elsevier.

Duarte Ribeiro, J. L., & Schwengber ten Caten, C. (2011). *Projeto de Experimentos*. Porto  
Alegre.

- Eberhart , R., & Kennedy, J. (1995). A new optimizer using particle swarm theory. *In Sixth International Symposium on Micro Machine and Human Science*, 39–43.
- EE.UU., D. o. (2012). *EnergyPlus Energy Simulation Software. Testing and Validation*. Recollit de [http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/energyplus\\_testing.cfm](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/energyplus_testing.cfm)
- EeBGuide. (2012). *The EeBGuide Project. Operational Guidance for Life Cycle Assessment Studies of the Energy Efficient Buildings Initiative*. Consultat el 2013, a <http://www.eebguide.eu/>
- EN 15316-2-1. (2008). *Heating systems in buildings. Method for calculation of system energy requirements and system efficiencies. Space heating emission systems*.
- Energy, U. D. (2011). *EnergyPlus Energy Simulation Software*. Recollit de <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>
- Energy, U. D. (2012). *EnergyPlus Energy Simulation Software*. Recollit de Testing and Validation:  
[http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/energyplus\\_testing.cfm](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/energyplus_testing.cfm)
- EnergyPlus. (2016). *Weather Data*. Recollit de <https://energyplus.net/weather>
- eQuest. (2010). Recollit de <http://doe2.com/equest/index.html>
- Escrivà, E. J. (2010). *Cálculo de sombras en programas de simulación térmica en edificios*. Valencia: UPV.
- Estudi Ramon Folch i Associats, S. (2015). *Estudi Ramon Folch i Associats, S.L*. Recollit de <http://www.erf.cat/php/>
- ETSAV. (2012). *(e)co model, Solar Decathlon Prototip*. Consultat el 01 / 07 / 2012, a [http://www.solardecathlon.upc.edu/2012/e\\_dise%C3%B1o.html](http://www.solardecathlon.upc.edu/2012/e_dise%C3%B1o.html)
- ETSAV. (e)co . (2012). *Solar Decathlon Prototip*. Recollit de <http://sdeupc.com/eco.html>
- ETSAV. Low3. (2010). *Low3 - Prototip model SolarDecathlon*. Recollit de <http://www.low3.upc.edu/INTRO.html>
- European Comission. (2010). *Energy Performance of Building Directive (EPBD). 2010/31/EU*.
- .
- European Comission. (2012). *Energy Efficiency Directive. 2012/27/EU*. EU.

- European Comission. (2016). *National Energy Efficiency Action Plans and Annual Reports*.  
Recollit de <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/energy-efficiency-directive/national-energy-efficiency-action-plans>
- European Commission. (20 / Febrero / 2013). *European Platform on LCA*. Recollit de  
<http://lca.jrc.ec.europa.eu/lcainfohub/toolList.vm>
- European directive. (2010). *2010/31/CE*. UE.
- Fehrenbacher, K. (1 / July / 2011). *5 reasons why Microsoft Hohm didn't take off*. Recollit de  
Gigaom: <https://gigaom.com/2011/07/01/5-reasons-why-microsoft-hohm-didnt-take-off/>
- Fehrenbacher, Katie. (26 / June / 2011). *5 reasons Google PowerMeter didn't take off*.  
Recollit de Gigaom: <https://gigaom.com/2011/06/26/5-reasons-google-powermeter-didnt-take-off/>
- Fischer, J., Neumann, T., & Olsen, A. (2005). SDL Code Generation for Open Systems. *Lecture Notes in Computer Science, 3530*, 313-322. doi:10.1007/11506843\_22
- Fonseca i Casas, P., Fonseca i Casas, A., Garrido-Soriano, N., & Casanovas, J. (2014). Formal simulation model to optimize building sustainability. *Advances in Engineering Software*, 62–74.
- Fonseca i Casas, Pau. (2008). SDL distributed simulator. *Winter Simulation Conference 2008*. Miami: INFORMS.
- Fonseca i Casas, Pau; Fonseca i Casas, Antoni. (2015). Recollit de NECADA: [www.necada.com](http://www.necada.com)
- Fonseca, P. (2012). Enhancing SDLPS with Co-Simulation. *Proceedings of the 2012 Winter Simulation Conference*. Berlin.
- Fonseca, P. (2012). *SDLPS*. Recollit de <http://www-eio.upc.es/~pau/?q=node/27>
- Fonseca, P., & Casanovas, J. (2011). Towards a SDL-DEVS Simulator. Multiparadigm simulation. Barcelona: SIMUL 2011 : The Third International Conference on Advances in System Simulation.

- Fonseca, P., Fonseca, A., Garrido, N., Colls, M., & Casanovas, J. (2012). Building optimis, optimizador NZEB. *Greencities y Sostenibilidad: 3er Sal3n de la Eficiencia Energ3tica y Sostenibilidad en Edificaci3n y Espacios Urbanos*. M3laga.
- Fonseca, Pau; Fonseca, Antoni. (2012). *NZEB. OptiSIM in Sustainability (Simulaci3n de la Sostenibilidad en la Construcci3n)*. Barcelona: SmartCities - Barcelona.
- Fujimoto, R. M. (2001 ). PARALLEL AND DISTRIBUTED SIMULATION SYSTEMS. *Winter Simulation Conference*.
- Fujimoto, R. M. (2001). Parallel and distributed simulation systems. *John Wiley & Sons, 1*.
- Fundaci3n Laboral de la Construcci3n. (2016). *Fundaci3n Laboral de la Construcci3n*. Recollit de <http://multimediafundacionlaboral.com/archivos/Simuladores/Eficiencia/>
- Garrido, N. (2010). *Efici3ncia i certiicaci3n energ3tica d'edificis residencials*. Barcelona: UPC.
- Generalitat de Catalunya. (2006). *DECRET 21/2006, de 14 de febrer, pel qual es regula l'adopci3n de criteris ambientals i d'ecoefici3ncia en els edificis*. DOGC 4574 – 16.2.2006.
- GenOpt*. (2011). Consultat el 01 / 07 / 2012, a Generic Optimization Program: <http://simulationresearch.lbl.gov/GO/index.html>
- Gestwick, M., M., B., Polly, B., Anderson,, R., Horowitz, S., Christensen, C., & Judkoff, R. (2011). *A Method for Determining Optimal Residential Energy Efficiency Retrofit Packages*. National Renewable Energy Laboratory.
- Giancola, E. (2004). *Ventilated double facades*. B3lgica.
- Gim3nez, C. (2011). *Alternativas para la mejora de la eficiencia energ3tica de los acristalamientos: los vidrios din3micos*. Madrid: UPM.
- Goldstein, N. J. (2008). *Yes!: 50 Scientifically Proven Ways to Be Persuasive*. New York, United States of America: Free Press.
- Goldstein, R. i. (2010). *Introducing DEVS for Collaborative Building Simulation Development*. Toronto.
- Gotzhein, R. &. (2009). Energy-Aware System Design with SDL. A R. R. Gotzhein, *SDL 2009: Design for Motes and Mobiles*. Bochum: Springer.



Govern Vasc. (2012). *Estrategia de Desarrollo Sostenible de Euskadi 2020. Eco Euskadi 2020.*

Recollit de <http://www.ecoeuskadi2020.net/es>

Green Space Live. (2016). *Building Simulation on the cloud.* Recollit de <https://greenspacelive.com/site/>

Greenshields, C. J. (2015). *OpenFOAM. The Open Source CFD Toolbox.* OpenFOAM Foundation Ltd.

Griffith, D. B. (2005). *Contrasting the Capabilities of Building Energy Performance Simulation Programs.*

Griffith, D., Crawley, B., Hand, J. W., Kummert, M., & Brent, T. (2005). *Contrasting the Capabilities of Building Energy Performance Simulation Programs.*

Hamdy, M., Hasan, A., & Siren, K. (2011). Applying a multi-objective optimization approach for Design of low-emission cost-effective dwellings. *Building and Environment*, Volume 46, Issue 1; Pages 109-123.

Hernández, J. V. (2000). *Desarrollo, implementación y prueba de un algoritmo de reconstrucción de objetos a partir de una representación axonométrica, utilizando técnicas de optimización.* Valencia,.

Hirsch, J. J. (2013). *DOE2.* Recollit de <http://doe2.com/>

Hirsch., J. J. (2012). *DO2.com.* (Electric Power Research Institute) Recollit de [www.doe2.com](http://www.doe2.com)

Hooke, R., & Jeeves, T. (1961). 'Direct search' solution of numerical and statistical problems. *Journal of the Association for Computing Machinery*, 8(2):212–229.

Horowitz, S., & Christensen, C. (2008). *Enhanced Sequential Search Methodology for Identifying Cost-Optimal Building Pathways.* Berkeley: University of Colorado.

Houda Mouaheb, A. F. (February / 2012). The Serious Game: What Educational Benefits? *Elsevier*, 7. doi:10.1016/j.sbspro.2012.06.465

ICAEN. (2012). *La certificació d'eficiència energètica d'edificis. Núm. 179.* . Generalitat de Catalunya.

IDAE. (2008). *Guía Técnica. Procedimientos y aspectos de la simulación de instalaciones térmicas en edificios.* Madrid.

IDAE. (2009). *Condiciones de aceptación de Procedimientos alternativos a LIDER y CALENER*. Madrid: IDAE.

IDAE. (2009). *Escala calificación energética. Edificios de nueva construcción*. Madrid: Ministerio de Vivienda.

IDAE. (2011). *PROYECTO SECH-SPAHOUSEC. Análisis del consumo del Sector Residencial en España'*. Madrid.

IDAE. (2011). *Residential sector consumption in Spain*.

IDAE. (2013). *CALENER*. Recollit de <http://www.minetur.gob.es/energia/desarrollo/eficienciaenergetica/certificacionenergetica/programacalener/paginas/documentosreconocidos.aspx>

IEC International Engineering Consortium. (2000). *SDL Tutorial*. Consultat el January / 2009, a IEC International Engineering Consortium: <http://www.iec.org/online/tutorials/sdl/>

INE. (2010). *Instituto Nacional de Estadística*. Recollit de <http://www.ine.es/>

Infraestructuras, A. (16 / Febrero / 2016). Recollit de <http://www.acciona-infraestructuras.es/innovacion/area-ecoeficiencia-y-sostenibilidad/jseed.aspx?pag=&desde=8429>

Inlab - UPC. (2012). *Inlab. NZEB. OptiSim in Sustainability*. Recollit de <http://inlab.fib.upc.edu/ca/nzeb-optisim-sustainability>

InnoCons. (2012). *Eficiencia energética en la Rehabilitación de edificios*. . Barcelona: [www.innocons.cat](http://www.innocons.cat).

Institut Català d'Energia. (2016). *Simulador de mesures de rehabilitació energètica d'edificis*. Recollit de <http://simuladoredificis.icaen.gencat.cat/icaen-SimuladorEdificis/init.htm>

Institute for Environment and Sustainability. (2013). *Joint Research Centre*. Recollit de <http://lca.jrc.ec.europa.eu/lcainfohub/databaseList.vm>

Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja.CSIC. (2010). *LIDER*. Recollit de [http://www.codigotecnico.org/web/recursos/aplicaciones/contenido/texto\\_0002.html](http://www.codigotecnico.org/web/recursos/aplicaciones/contenido/texto_0002.html)

International Energy Agency. (2012). *International Energy Agency*. Consultat el 31 / 05 / 2012, a [www.iea.org](http://www.iea.org)

ITU-T. (2012). *Specification and Description Language (SDL)*. Consultat el November / 2012, a Series Z: Languages and general software aspects for telecommunication systems.: <http://www.itu.int/ITU-T/studygroups/com17/languages/index.html>

J. Anderson, G. D. (2009). *Computational Fluid Dynamics: An Introduction*. John Wendt.

James J. Hirsch & Associates. (2012). *DOE2*. Recollit de <http://doe2.com/>

Jasak, H., Jemcov, A., & Tukovi'c, Z. (2007). OpenFOAM: A C++ Library for Complex. *International Workshop on Coupled Methods in Numerical Dynamics*. Dubrovnik.

Jason Farina, . M.-T. (2014). BitTorrent Sync: First Impressions and Digital Forensic Implications. *Digital investigation*, 77-86.

Joana Ortiz, A. F. (2015). *OPTIMIZATION OF ENERGY RENOVATION OF RESIDENTIAL SECTOR IN CATALONIA BASED ON COMFORT, ENERGY AND COSTS*. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya.

Kerns, J. (2011). *Introduction to Probability and Statistics Using R*.

Knauf. (22 / Febrero / 2016). Recollit de <http://www.knauf.es/index.php/es/>

L., D. (2001). *SDL Illustrated - visually design executable models*.

Laboratory, N. R. (October / 2011). *Opt-E-Plus*. Recollit de [http://www.nrel.gov/buildings/energy\\_analysis.html](http://www.nrel.gov/buildings/energy_analysis.html)

Lang, W. (2001). *Tipologías y clasificación mediante experimentación de dobles fachadas*. Universidad de Munic.

Law, A. M. (2005). How to build valid and credible simulation models. A M. E. Kuhl, N. M. Steiger, F. B. Armstrong, & J. A. Joines (Ed.), *Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference*.

Limited, I. E. (2012). *IES<VE>*. Recollit de <http://www.iesve.com>

- López, F. (2006). *Sobre el uso y la gestión como los factores principales que determinan el consumo de energía en la edificación. Una aportación para reducir el impacto ambiental de los edificios*. Barcelona: UPC.
- Low3, E. (2010). *Low3 - Prototip model SolarDecathlon*. Recollit de <http://www.low3.upc.edu/INTRO.html>
- M.A. Shameria, M. A. (2011). Perspectives of double skin facade systems in buildings and energy saving. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 1468–1475.
- M.J.Morán, & H.N. Shapiro. (2006). *Fundamentos de termodinámica técnica*. Barcelona: Reverté.
- Marie. (2010). *Mediterranean Building Rethinking for Energy Efficiency Improvement*.
- MARIE. (2010-2014). *Mediterranean Building Rethinking for Energy Efficiency Improvement call for proposal: 3rd call, 2010 (Agreement Nº 1S-MED10-002)*. Recollit de [www.marie-medstrategic.eu](http://www.marie-medstrategic.eu)
- Marín, X. F. (2013). *The R Project for Statistical Computing*. Recollit de <http://xavier-fim.net/R/>
- Mas, J. A. (2015). *Evaluación del confort térmico con el método de Fanger*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- MathWorks. (2013). *Matlab*. Recollit de <http://www.mathworks.es/>
- MathWorks. (2013). *Simulink*. Recollit de <http://www.mathworks.es/products/simulink/>
- McDonough, W., & Braungart, M. (2002). *Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things* (1 ed.). North Point Press.
- Mendez, F. G. (2011). *Optimización Multiobjetivo Usando Algoritmos Genéticos Culturales*. Mejico.
- Merli, R., Preziosi, M., & Ippolito, C. (2015). Promoting Sustainability through EMS Application: A Survey Examining the Critical Factors about EMAS Registration in Italian Organizations. *Sustainability*, 8(197), 1-14. doi:10.3390/su8030197
- Michael Braungart, W. M. (2010). *Cradle to cradle*. Madrid: McGrawHill.

MINISTERIO DE CIENCIA E INNOVACIÓN. (2013). *SOFIAS*. Recollit de <http://www.sofiasproject.org/>

Ministerio de Industria, Energía y Turismo. (5 / febrero / 2013). *Procediments de certificació energètica per edificis existents*. Recollit de <http://www.minetur.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/DocumentosReconocidos/Paginas/Procedimientossimplificadosparaedificiosexistentes.aspx>

Ministry of Development of Spain. (2013). Report on cost optimal calculations and comparison with the current and future energy performance requirements of buildings in Spain. A *Directorate for Architecture Housing and Planning*. Madrid.

MIT. (2016). *Building Energy Simulation in minutes. Heating, coling, lighting, comfort and more*. Recollit de <http://designadvisor.mit.edu/design/>

MITYC. (2006). *RD 314/2006 de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación*. BOE núm 74 Pag. 11816-11831.

MITYC. (2007). *RD 47/2007 de 19 de Enero por el que se aprueba el Procedimiento básico para la certificación energética de edificios de nueva construcción*. BOE núm 27 Pag. 4499.

Modelica Association. (2013). *Modelica*. Recollit de <https://www.modelica.org/>

Moreno, J. P. (2005). *Implementación del algoritmo de selección de variables conocido con el nombre de "Simulated Annealing"*. Barcelona.

N. Garrido-Soriano, M. R.-C.-d. (2012). Potential energy savings and economic impact of residential buildings under national and regional efficiency scenarios. A Catalan case study. *Energy and Buildings*, 49, 119-125.

National Laboratory of the U.S. Department of Energy Efficiency and Renewable Energy. (2011). *OpenStudio*. Recollit de <http://openstudio.nrel.gov/>

Nemry, F. (2009). *Potenciales de mejora medioambiental de los edificios residenciales (ImproBuilding)*. Luxemburg: Oficina para la Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas.

- Nesmachnow, S. (2015). *Una Versión Paralela del Algoritmo Evolutivo para Optimización Multiobjetivo NSGA-II y su Aplicación al Diseño de Redes de Comunicaciones Confiables*. Uruguay.
- Nicolás, A., & Bermúdez, B. (2010). *Flujos Isotérmicos/Térmicos, Incompresibles y Viscosos*. doi:10.1612/inf.tecnol.4304it.09
- Nigusse, B. (2007). *Improvements to the radiant time series method cooling load calculation procedure*. Oklahoma: School of Mechanical and Aerospace Engineering.
- Norton, D. (2006). *Visual Modelling: Past, present and future*.
- NREL, C. (. (2012). BLAST 3.0. EE.UU.
- OCU. (2016). *OCU, la fuerza de tus decisiones*. Recollit de <http://www.ocu.org/vivienda-y-energia/calefaccion/calculadora/etiqueta-energetica-edificios>
- ODS Engineering. . (2013). *Open Design Solutions*. Recollit de <http://www.ods-engineering.com/en/tools/ods-studio/>
- Oracle Corporation and/or its affiliates. (2016). *The world's most popular open source database*. Recollit de <http://www.mysql.com/>
- P. Trunfioa, D. T. (2007). Peer-to-Peer resource discovery in Grids: Models and systems. *Future Generation Computer Systems*, 864–878.
- Palonen, M., Hamdy, M., & Hasan, A. (2015). MOBO a new software for multi-objective building performance optimization. *13th International IBPSA Conference*.
- Pau Fonseca i Casas, M. C. (2012). *BUILDING OPTISIM, OPTIMIZADOR NZEB*. Barcelona.
- Pau Fonseca, A. F. (2014). Formal simulation model to optimize building sustainability. *Advances in Engineering Software*, 62-74.
- Pérez Rodríguez, R. (2002). *Caracterización y representación de los requerimientos funcionales y las tolerancias en el diseño conceptual: aportaciones para su implantación en los sistemas CAD*. Universitat Politècnica de Catalunya., Departament d'Enginyeria Mecànica. Recollit de <http://hdl.handle.net/10803/6407>

- Peuportier, B., Budavari, Z., Szalay, Z., Brown, N., Malmqvist, T., Zabalza, I., . . . Tritthart, W. (2011). *Indicators and weighting systems, including normalisation of environmental profiles*. LoRe-LCA-WP5-D5.1.
- Plotly. (2015). *Plotly for R is now entirely open source, free, and self-hosted*. Recollit de <https://plot.ly/r/>
- Poirazis, H. (2004). *Double skin fac,ades for office buildings*. Lund, Suècia: Lund University.
- PragmaDev SARL. (2012). Recollit de PragmaDev - Code generation: <http://www.pragmadev.com/product/codeGeneration.html>
- Qreative Medias Ltd. (2016). *Home Energy Performance*. Recollit de [https://play.google.com/store/apps/details?id=com.qreativemedias.apprating.world&feature=search\\_result#?t=W251bGwsMSwxLDEsImNvbS5xcmVhdGl2ZW1lZGlhcy5hcHB5YXRpbm cud29ybGQiXQ..](https://play.google.com/store/apps/details?id=com.qreativemedias.apprating.world&feature=search_result#?t=W251bGwsMSwxLDEsImNvbS5xcmVhdGl2ZW1lZGlhcy5hcHB5YXRpbm cud29ybGQiXQ..)
- Rasúa, R. A. (2009). *Algoritmos paralelos para la solución de problemas de optimización discretos aplicados a la decodificación de señales*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- Recalde, L., Teruel, E., & Silva, E. (1999). Autonomous continuous P/T systems. Application and Theory of Petri Nets. *Lecture Notes in Computer Science*, 107-126.
- Rocuts , A., Jiménez Herrero, L., & Navarrete P., M. (2009). *Revista internacional de sostenibilidad, tecnología i humanismo, nº 4*. Càtedra UNESCO de Sostenibilitat.
- Romero, C. (1996). *Análisis de las decisiones multicriterio*. Madrid: Isdefe.
- S. Carlucci, L. P. (2013). An optimization procedure based on thermal discomfort minimization to support the design of comfortable Net Zero Energy Buildings. *13th Conference of the International Building Performance Simulation Association*. Chambery.
- S. Murakami. (1992). New scales for ventilation efficiency and their application based on numerical simulation of room airflow. *Proceedings of International Symposium*. Tokyo.

- Salom, J., Widén, J., Candanedo, J., Sartori, I., Voss, K., & Marszal, A. (2011). Understanding Net Zero Energy Buildings: Evaluation of Load Matching and Grid Interaction Indicators. *Proceedings Building Simulation, 12th Conference of International Building Performance Simulation Association*, (p. 2514-2521). Sydney, 14-16 November.
- Salom, Jaume. (2012). *Els edificis de consum d'energia quasi zero*. Cultura Energètica. La certificació d'eficiència energètica d'edificis.
- Salom, Jaume; Ortiz, Joana; Russo, Verdiana. (2014). Method to develop cost-effective studies of energy efficiency measures for Mediterranean residential existing buildings with multi-criteria optimization. *World Sustainable Building SB14*. Barcelona.
- Sandia Corporation. (2015). *Dakota. Algorithms for design exploration and simulation credibility*. Recollit de <https://dakota.sandia.gov/>
- Sargent, R. G. (2009). Verification and Validation of Simulation Models. A M. D. Rossetti, R. Hill, B. Johansson, A. Dunkin, & R. G. Ingalls (Ed.), *Proceedings of the 2009 Winter Simulation Conference*.
- Sargent, Robert G. (2000). Verification, validation and accreditation of simulation models. A J. A. Joines, R. R. Barton, K. Kang, & P. A. Fishwick. (Ed.), *Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference*.
- Sargent, Robert G. (2007). Verification and validation of simulation models. In S. G. Henderson, B. Biller, M.-H. Hsieh, J. Shortle, J. D. Tew, & R. R. Barton (Ed.), *Proceedings of the 2007 Winter Simulation Conference*. Washinton: IEEE.
- Sartori, I., N. A., & Voss, K. (2012). Net Zero Energy Buildings: A Consistent Definition Framework. *Energy and Buildings*, 48, 220-232.
- Sayed Ahmed, A. &. (2010). *Integrating Building Information Modeling & Cell-DEVS Simulation*.
- Scott-Pomerantz, C. D. (2004). *The K-Epsilon model in the theory of turbulence*. Pittsburgh: University of Pittsburgh.
- Serra, V. (2010). *Doble envoltante transparente*. Belgrado: Universidad de Belgrado.



- SETAC. (1996). *Towards a Methodology for Life Cycle Impact Assessment*. Society of Environmental Toxicology and Chemistry.
- Simulation Research Group. (2009). *GenOpt. Generic Optimization Program. User Manual v3.0*. Berkeley: Lawrence Berkeley National Laboratory.
- Simulation Research Group. (2013). *Simergy Beta*. Recollit de <http://simulationresearch.lbl.gov/projects/gui>
- Sivila, E. V. (2011). *Análisis y propuesta de un nuevo método de simulación abreviado para la certificación energética en edificios residenciales*. Valencia: UPV.
- Societat Orgànica. (2013). *Societat Orgànica*. Recollit de <http://www.societatorganica.com/>
- Solanas, T., Calatayud, D., & Claret, C. (2009). *34 Kg de CO2*. Departament de Medi Ambient i Habitatge.
- Solar Energy Laboratory Univ. of Wisconsin-Madison. (2015). Trnsys 17, a transient SYSTEM Simulation Software tool.
- SolidWorks Sustainability. (2013). *Herramientas y Metodos de Evaluación del Ciclo de Vida (LCA)*. Recollit de [http://www.solidworks.es/sustainability/sustainable-design-guide/3007\\_ESN\\_HTML.htm#footer\\_2](http://www.solidworks.es/sustainability/sustainable-design-guide/3007_ESN_HTML.htm#footer_2)
- Sostenibilidad en la construcción. AEN/CTN 198 . (2012). *UNE-EN 15643-2. Sostenibilidad en la construcción. Evaluación de la sostenibilidad de los edificios. Parte 2: Marco para la evaluación del comportamiento ambiental*. Madrid: AENOR.
- Stockport. (2010). *Stockport Metropolitan Borough Council*. Recollit de [http://s1.stockport.gov.uk/council/corestrategy/chapter\\_386.html](http://s1.stockport.gov.uk/council/corestrategy/chapter_386.html)
- Strathclyde, U. d. (2012). *ESP-r*. (Reino Unido) Recollit de <http://www.esru.strath.ac.uk>
- SUDOE. (2012). *EnerBuiLCA*. Consultat el 22 / Gener / 2012, a <http://www.enerbuiLCA-sudoe.eu/resultados.html>
- Sudoe. (2016). *Programa de cooperación territorial*. Recollit de <https://4.interreg-sudoe.eu/ESP>
- SustainAbility Limited. (1993). *The LCA Sourcebook: A European Business Guide to Life-cycle Assessment*. SustainAbility, 1993.

T. A. Halpin, K. E. (2003). *Database Modeling with Microsoft Visio for Enterprise Architects*.  
Elselvier.

Telecommunication standardization sector of ITU. (1999). *Specification and Description  
Language (SDL)*. Consultat el April / 2008, a Series Z: Languages and general software  
aspects for telecommunication systems.: [http://www.itu.int/ITU-  
T/studygroups/com17/languages/index.html](http://www.itu.int/ITU-T/studygroups/com17/languages/index.html)

Telecommunication standardization sector of ITU. (1999). *Specification and Description  
Language (SDL)*. Consultat el April / 2008, a Series Z: Languages and general software  
aspects for telecommunication systems.: [http://www.itu.int/ITU-  
T/studygroups/com17/languages/index.html](http://www.itu.int/ITU-T/studygroups/com17/languages/index.html)

Tim Bray, J. P.-M. (2008). *Extensible Markup Language (XML) 1.0 (Fifth Edition)*. Recollit de  
<https://www.w3.org/TR/xml/>

Tomick, J. J. (1995). *Simplex Algorithm of Nelder and Mead with the Extension of O'Neil*.  
Pennsylvania.

Tourais, P., & Videira, N. (2016). Why, How and What do Organizations Achieve with the  
Implementation of Environmental Management Systems?—Lessons from a  
Comprehensive Review on the Eco-Management and Audit Scheme. *Sustainability*,  
8(283), 1-25. doi:10.3390/su8030283

Trnsys. (2016). *Trnsys. Transient System Simulation Tool*. Recollit de <http://www.trnsys.com/>

U.S. Departament of energy. (2013). *EnergyPlus*. Consultat el 25 / 06 / 2013, a  
<http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>

U.S. Departament of energy. (2012). *EnergyPlus Energy Simulation Software*. Recollit de  
Testing and Validation:  
[http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/energyplus\\_testing.cfm](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/energyplus_testing.cfm)

U.S. Department of Energy. (2013). *Eficiència energètica i Energies renovables*. Recollit de  
<http://www.eere.energy.gov/>

U.S. Department of Energy. (2013). *Eines de simulació segons aplicació*. Recollit de  
[http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools\\_directory/subjects\\_sub.cfm](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/subjects_sub.cfm)

- U.S. Department of Energy. (2013). *EnergyPlus Utilities*. Recollit de [http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/energyplus\\_utilities.cfm](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/energyplus_utilities.cfm)
- U.S. Department of Energy. (2013). *EnergyPlus*. Recollit de <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>
- U.S. Department of Energy. (2013). *U.S. Department of Energy*. Recollit de <http://energy.gov/>
- U.S. Department of Energy. (2016). *Energy Efficiency buildings HUB*. Recollit de <http://energyplus.buildsci.us/idf-creator.htm>
- U.S. Department of Energy Innovation Hub. (2016). *EEB Hub Simulation Platform*. Recollit de Simulate Building energy online.: <https://tools.buildsci.us/>
- UNE-EN ISO 14040. (2006). *Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Principios y marco de referencia*. AENOR.
- UNE-EN ISO 14044. (2006). *Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Requisitos y directrices*. AENOR.
- UNESCO. (2010). *Cátedra UNESCO de Ciclo de Vida y Cambio Climático*. Recollit de CÍCLOPE - Análisis del impacto ambiental de Iso edificios en su ciclo de vida en términos cuantificables, de consumo energético y emisiones de GEIs asociadas: <http://unescochair.esci.es/en/proyectos-por-tematica/analisis-de-ciclo-de-vida-acv/101-ciclope>
- UNESCO. (2012). *UNESCO*. Recollit de <http://www.unesco.org/new/es/unesco/>
- Universidad de Wisconsin, E. (2012). *TRNSYS 13.1*. Recollit de <http://www.trnsys.com/>
- Universidad de Wisconsin, E. (2012). *TRNSYS 13.1*. Recollit de <http://www.trnsys.com/>
- University of Illinois and Lawrence Berkeley National Laboratory. (2012). *EnergyPlus. Engineering Reference*. U.S. Department of Energy.
- Vangheluwe, H. L. (2000). DEVS as a common denominator for multi-formalism hybrid systems modelling. *IEEE International Symposium on Computer-Aided Control System Design* (p. 129--134). IEEE Computer Society Press.

- Vangheluwe, H. L. (2000). DEVS as a common denominator for multi-formalism hybrid systems modelling CACSD. *Conf. Proceedings. IEEE Int. Symp. Comput. Control Syst. Des.*
- Vidal, J. y. (2010-2011). *Sistemas Eficientes de Climatización*. Barcelona.
- Vila, J. L. (2016). *Integración de los datos del catastro en el sistema de simulación NECADA*. Barcelona: UPC.
- Villar, M. A. (December / 2012). *7 essential criteria for evaluating mobile educational applications*. Recollit de <https://mayraixavillar.wordpress.com/>: <https://mayraixavillar.wordpress.com/2012/12/06/7-essential-criteria-for-evaluating-mobile-educational-applications/>
- Wadel, G. (2009). *La sostenibilidad en la arquitectura industrializada. La construcción modular ligera aplicada ala vivienda*. Barcelona: UPC.
- Wadel, G., Avellanada, J., & Cuchí, A. (2010). *La sostenibilidad en la arquitectura industrializada: cerrando el ciclo de los materiales*. Informes de la construcción. Instituto Eduardo Torroja-CSIC.
- Weiner, I., B., I., & Craighead, W. E. (2010). *Face Validity*. The Corsini Encyclopedia of Psychology.
- Wetter, Michael. (2008). *GenOpt, Generic Optimization Program*. California: The Regents of the University of California.
- Wetter, M., & Polak, E. (2003). *A convergent optimization method using pattern search algorithms with adaptive precision simulation*. Eindhoven: IBPSA Conference.
- Winkelmann, F., Birdsall, B., Buhl, W., Ellington, K., Erdem, A., Hirsch, J., & Gates, S. (1993). *DOE-2 Supplement, Version 2.1E, LBL-34947*. Virginia: Springfield.
- Yi , Z., & Ivan , K. (2010). *Performing complex parametric simulations with jEPlus*. Leicester: Universitat de Montfort.
- Yi Zhang. (2013). *ADOPT*. Recollit de <http://www.iesd.dmu.ac.uk/~adopt/wiki/doku.php?id=start>

Zabalda Bribián, I. (2010). *Adaptación de la metodología del análisis del ciclo de vida para la evaluación y la mejora del impacto energético y ambiental de la edificación en España*. Zaragoza: Universidad de Zaragoza.

Zabalza Bribián, I. (2011). *Adaptación de la metodología del análisis del ciclo de vida para la evaluación y la mejora del impacto energético y ambiental de la edificación en España*. Zaragoza: Universidad de Zaragoza.

Zabalza, I. (2010). *Análisis de Ciclo de Vida en Edificación. Proyectos ENSLIC y LoRe-LCA, PSE CICLOPE y AVC-SC*. Zaragoza: Universidad de Zaragoza.

Zeigler, B., Praehofer, H., & Kim, D. (2000). *Theory of Modeling and Simulation*. Academic Press.

Zhang, Y. (2013). *JePlus*. Recollit de <http://www.iesd.dmu.ac.uk/~yzhang/wiki/doku.php?id=software:java:jeplus>

