



## PROJECTE DE TESI

**PROPOSTES D'OPTIMITZACIÓ DEL PARC EDIFICAT ATENENT ELS CRITERIS DE LA SOSTENIBILITAT (IMPACTES AMBIENTALS, ECONÒMICS I SOCIALS), A PARTIR DE TIPOLOGIES I SOLUCIONS CONSTRUCTIVES.**

**DETERMINACIÓ DE NOUS NIVELLS D'EXIGÈNCIA DE LES NORMATIVES PER A EDIFICIS D'HABITATGE DE CONSUM D'ENERGIA QUASI NUL.**

DOCTORAND:

ANTONI FONSECA I CASAS

DIRECTORA:

NÚRIA GARRIDO

CENTRE:

INSTITUT DE SOSTENIBILITAT

UNIVERSITAT:

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

DATA:

JUNY DE 2013





Aquesta obra d'Antoni Fonseca Casas està sota una llicència:

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

# ÍNDEX

|                                                                       |           |
|-----------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>ÍNDEX DE FIGURES</b>                                               | <b>V</b>  |
| <b>ÍNDEX DE TAULES</b>                                                | <b>XI</b> |
| <b>1. DADES IDENTIFICATIVES</b>                                       | <b>1</b>  |
| <b>2. TÍTOL PROVISIONAL</b>                                           | <b>3</b>  |
| <b>3. RESUM</b>                                                       | <b>5</b>  |
| <b>4. OBJECTIUS</b>                                                   | <b>7</b>  |
| 4.1. PREÀMBUL                                                         | 7         |
| 4.2. INTRODUCCIÓ                                                      | 8         |
| 4.3. OBJECTIUS GENERALS                                               | 9         |
| 4.4. OBJECTIUS ESPECÍFICS                                             | 10        |
| 4.5. ÀMBIT D'APLICACIÓ I CAMP D'ACTUACIÓ DEL PROJECTE                 | 10        |
| <b>5. INTRODUCCIÓ</b>                                                 | <b>11</b> |
| 5.1. L'ESTAT DEL MÓN                                                  | 12        |
| <b>6. ESTAT DE LA QÜESTIÓ</b>                                         | <b>19</b> |
| 6.1. DEFINICIÓ DE SOSTENIBILITAT                                      | 19        |
| 6.1.1. L'EDIFICI: SISTEMA VIU                                         | 24        |
| 6.2. REHABILITACIÓ ENERGÈTICA                                         | 27        |
| 6.2.1. ESTRATÈGIES INTERNACIONALS I NACIONALS SOBRE ESTALVI ENERGÈTIC | 28        |
| 6.2.2. CARACTERÍSTIQUES PARC EDIFICAT EXISTENT (CENS 2001)            | 35        |
| 6.2.3. TIPOLOGIES D'HABITATGES                                        | 36        |
| 6.2.4. MESURES PER LA REHABILITACIÓ ENERGÈTICA                        | 42        |
| 6.2.5. POBRESA ENERGÈTICA                                             | 45        |

|             |                                                             |            |
|-------------|-------------------------------------------------------------|------------|
| <b>6.3.</b> | <b>NORMATIVES EXISTENTS</b>                                 | <b>47</b>  |
| 6.3.1.      | NORMATIVA EUROPEA                                           | 48         |
| 6.3.2.      | NORMATIVA ESPANYOLA                                         | 52         |
| 6.3.3.      | NORMATIVA CATALANA – DECRET D'ECOFICIÈNCIA                  | 59         |
| 6.3.4.      | NORMA CEN/TC 350                                            | 60         |
| <b>6.4.</b> | <b>IMPACTES AMBIENTALS</b>                                  | <b>65</b>  |
| 6.4.1.      | NORMATIVA ESPANYOLA ACV                                     | 66         |
| 6.4.2.      | OBJECTIUS                                                   | 67         |
| 6.4.3.      | ANÀLISI DEL CICLE DE VIDA                                   | 67         |
| 6.4.4.      | INDICADORS I METODOLOGIES D'AVUACIÓ DELS IMPACTES           | 75         |
| 6.4.5.      | DECLARACIONS AMBIENTALS DE PRODUCTE (DAP)                   | 78         |
| 6.4.6.      | PROPOSTA DE METODOLOGIA D'ACV SEGONS LA NORMATIVA ESPANYOLA | 85         |
| 6.4.7.      | PROJECTES D'ACV DESENVOLUPATS EN EDIFICACIÓ                 | 87         |
| 6.4.8.      | BASE DE DADES INTERNACIONALS I NACIONALS                    | 92         |
| 6.4.9.      | EINES ESPECÍFIQUES D'ACV                                    | 94         |
| <b>6.5.</b> | <b>IMPACTES ECONÒMICS</b>                                   | <b>100</b> |
| 6.5.1.      | OBJECTIUS                                                   | 100        |
| 6.5.2.      | ANÀLISI DEL CICLE DE VIDA                                   | 101        |
| 6.5.3.      | INDICADORS                                                  | 104        |
| 6.5.4.      | INDICADORS ECONÒMICS POTENCIALS                             | 104        |
| 6.5.5.      | PROPOSTA DE METODOLOGIA SEGONS LA DIRECTIVA 2012/27/UE      | 105        |
| <b>6.6.</b> | <b>IMPACTES SOCIALS</b>                                     | <b>109</b> |
| 6.6.1.      | OBJECTIUS                                                   | 109        |
| 6.6.2.      | INDICADORS                                                  | 109        |
| 6.6.3.      | PROPOSTA DE METODOLOGIA SEGONS LA NORMATIVA                 | 114        |
| <b>6.7.</b> | <b>MOTORS DE CÀLCUL – EINES INFORMÀTIQUES DE SIMULACIÓ</b>  | <b>116</b> |
| 6.7.1.      | MÈTODES DE CÀLCUL                                           | 118        |
| 6.7.2.      | EINES ON-LINE / SMARTPHONES                                 | 123        |
| 6.7.3.      | ENERGYPLUS – V.7.2                                          | 124        |
| <b>6.8.</b> | <b>EINES INFORMÀTIQUES D'OPTIMITZACIÓ</b>                   | <b>128</b> |
| 6.8.1.      | MÈTODES DE CÀLCUL – ALGORITMES D'OPTIMITZACIÓ               | 129        |
| 6.8.2.      | PROGRAMES D'OPTIMITZACIÓ                                    | 130        |
| 6.8.3.      | PROGRAMES DE INTEGRACIÓ D'OPTIMITZACIÓ: CO-SIMULACIÓ        | 135        |

|                                                                  |            |
|------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>7. OPTIMALSIM – UPC (ENERGYPLUS + QR STADISTICS)</b>          | <b>139</b> |
| <b>7.1. OBJECTIUS</b>                                            | <b>139</b> |
| <b>7.2. METODOGIA</b>                                            | <b>139</b> |
| 7.2.1. ESTRUCTURA DEL MODEL                                      | 140        |
| 7.2.2. LENGUATGE DE PROGRAMACIÓ (SDL / C++)                      | 141        |
| 7.2.3. BASE DE DADES                                             | 143        |
| 7.2.4. ENTORN CLOUD – ONLINE                                     | 144        |
| <b>7.3. PROGRÉS - ACCIONS FUTURES</b>                            | <b>145</b> |
| <b>7.4. VALIDACIÓ</b>                                            | <b>147</b> |
| <br>                                                             |            |
| <b>8. PLA DE TREBALL</b>                                         | <b>151</b> |
| <br>                                                             |            |
| <b>8.1. PROGRAMACIÓ GENERAL</b>                                  | <b>151</b> |
| <b>8.2. TASQUES PROGRAMADES</b>                                  | <b>151</b> |
| 8.2.1. PRIMERA: ANÀLISI, SELECCIÓ I DEFINICIÓ DE LES TIPOLOGIES  | 151        |
| 8.2.2. SEGONA: CARACTERITZACIÓ DE L'USUARI                       | 152        |
| 8.2.3. TERCERA: PLANTEJAMENT GLOBAL DE LA METODOLOGIA DE TREBALL | 152        |
| 8.2.4. QUARTA: BASE DE DADES DELS MATERIALS UTILITZATS           | 152        |
| 8.2.5. CINQUENA: PROPOSTA DE REHABILITACIÓ                       | 153        |
| 8.2.6. SISENA: MODELATGE DE LES TIPOLOGIES                       | 153        |
| 8.2.7. SETENA: OPTIMITZACIÓ DELS MODELS (SIMULACIONS)            | 154        |
| 8.2.8. VUITENA: INFORME DE L'ESTUDI REALITZAT                    | 154        |
| 8.2.9. NOVENA: CONCLUSIONS                                       | 155        |
| <b>8.3. CALENDARI DE TREBALL</b>                                 | <b>155</b> |
| <br>                                                             |            |
| <b>9. PUBLICACIONS</b>                                           | <b>157</b> |
| <br>                                                             |            |
| <b>9.1. PUBLICACIONS I CONGRESSOS</b>                            | <b>157</b> |
| <b>9.2. PROJECTES REALITZATS</b>                                 | <b>158</b> |

|                                                      |            |
|------------------------------------------------------|------------|
| <b>10. ANNEXOS</b>                                   | <b>161</b> |
| <b>10.1. EQUIPAMENTS I SERVEIS</b>                   | <b>161</b> |
| <b>10.2. ÚS I GESTIÓ DE L'EDIFICI</b>                | <b>164</b> |
| <b>10.3. CONFORT TÈRMIC INTERIOR</b>                 | <b>165</b> |
| <b>10.4. CERTIFICATS AMBIENTALS I ENERGÈTICS</b>     | <b>171</b> |
| 10.4.1. CERTIFICATS ENERGÈTICS. ESTÀNDARD PASSIVHAUS | 173        |
| 10.4.2. CERTIFICATS AMBIENTALS.                      | 175        |
| <b>11. BIBLIOGRAFIA</b>                              | <b>179</b> |

## ÍNDIX DE FIGURES

|                                                                                                                                                                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Fig. 1. Mapa mundial que mostra el Índex de Desenvolupament Humà (IDH). Font: PNUD (Programa de les Nacions Unides pel Desenvolupament).....                                                                 | 11 |
| Fig. 2. Problemes del món. Font: elaboració pròpia.....                                                                                                                                                      | 12 |
| Fig. 3. Evolució del consum d'energia segons fons primàries (esquerra) i energia per càpita i per regions (dreta) des del 1980 fins el 2008. Font: EIA-govEUA i IEA-OCDE . Elaboració: (Romeva, 2011). ..... | 13 |
| Fig. 4. Hubbert Peak. Desglossament per jaciments de països productors de petroli. Font: ASPO (Association for the Study of Peak Oil and gas). .....                                                         | 13 |
| Fig. 5. Fi de l'era del combustible fòssil. Exhauriment per l'any 2060. Font: EIA-govEUA. Elaboració: (Romeva, 2011). .....                                                                                  | 14 |
| Fig. 6. Països que firmen el Protocol de Kyoto. Font: UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change) (Nacions Unides, 2013). .....                                                           | 15 |
| Fig. 7. Emissions dels països que formaven L'Europa dels 15. Font: Comissió europea. Acció de la UE contra el canvi climàtica, 2005.....                                                                     | 15 |
| Fig. 8. Influència humana en l'atmosfera durant l'era industrial. Font: (IPCC, 2007). .....                                                                                                                  | 16 |
| Fig. 9. Evolució de l'increment de la temperatura. Font: 4art Informe IPCC, 2007 (IPCC, 2007). .....                                                                                                         | 17 |
| Fig. 10. Característica dels escenaris d'estabilització. Font: 4rt informe IPCC. ....                                                                                                                        | 17 |
| Fig. 11. Canvis de la temperatura superficial especial projectats per finals del segle XXI (2090-2099). Totes les temperatures tenen com a referència el període 1980-1999. Font: 4rt informe IPCC. ....     | 18 |
| Fig. 12. Escenaris possible segons variacions de temperatura. Font: (World Bank, 2012). .....                                                                                                                | 18 |
| Fig. 13. Petjada ecològica i biocapacitat per regions (esquerra). Impactes de les substàncies emeses a l'atmosfera (dreta) . Font: (PNUMA, 2012).....                                                        | 19 |
| Fig. 14. Evolució de la població mundial. Font: EIA i UN (2004). .....                                                                                                                                       | 20 |
| Fig. 15. Consum diari d'energia per càpita en diferents civilitzacions. Font: Cook (Cook, 2010). .....                                                                                                       | 20 |
| Fig. 16. Energia d'ús per persona. Gràfic explicatiu per l'any 2009. Font: (Gapminder Foundation, 2013). .....                                                                                               | 21 |
| Fig. 17. Triada de sostenibilitat. Font: Elaboració pròpia. ....                                                                                                                                             | 22 |
| Fig. 18. Dimensions de sostenibilitat. Font: (UNESCO, 2012). .....                                                                                                                                           | 22 |
| Fig. 19. Representació de Sostenibilitat segons Mann. Font: Elaboració pròpia. ....                                                                                                                          | 23 |
| Fig. 20. Triada de sostenibilitat. Font: Stockport.....                                                                                                                                                      | 23 |
| Fig. 21. 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.....                        | 25 |
| Fig. 22. Emissions, energia i massa d'un estudi de referència. Font: (Societat Orgànica, 2013). .....                                                                                                        | 25 |
| Fig. 23. 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).....                       | 26 |
| Fig. 24. Impactes ambientals de l'edificació convencional. El marge de millora es situa entre un 40-50%. Font: (Wadel, Avellanada, & Cuchí, 2010). .....                                                     | 26 |

|                                                                                                                                                                                                                                                            |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Fig. 25. Evolució del grau d'auto abastiment energètic(%). Font: Ministeri de Indústria, Turisme i Comerç.<br>Elaboració: (OSE, 2012).                                                                                                                     | 29 |
| Fig. 26. Aportació d'energies renovables al consum d'energia final en Espanya(%). Font: Ministeri de<br>Indústria, Turisme i Comerç (2012). Elaboració: (OSE, 2012).                                                                                       | 29 |
| Fig. 27. Evolució de variables ambientals i econòmiques lligades a la construcció: habitatges iniciats,<br>consum aparent de ciment i el volum monetari dels préstecs hipotecaris a habitatge, 1995-2012 *,<br>1995 = base 100. Font: (OSE, 2012).         | 30 |
| Fig. 28. Relació d'habitatges i any de construcció respecte el cens del 2001. Font: INE (INE, 2013).                                                                                                                                                       | 31 |
| Fig. 29. Comparació dels programes de rehabilitació en diferents països. Font: (WWF, 2012).                                                                                                                                                                | 31 |
| Fig. 30. Intensitat de carboni en els principals sectors de processament de l'energia a Espanya (tones de<br>CO2 eq. / PIB en milions d'euros a preus corrents). 2000-2010. Font: INE (INE, 2013). Elaboració:<br>(OSE, 2012).                             | 32 |
| Fig. 31. Emissions de GEH a Espanya (1990-2011) i la UE (1990-2009). Índex respecte a l'any base (1990 =<br>100). Font: INE (INE, 2013) i MAGRAMA (MAGRAMA, 2012) i Eurostat (Comissió Europea, 2013).<br>Elaboració: (OSE, 2012).                         | 32 |
| Fig. 32. Possibles reduccions segons l'actuació realitzada. E2=aïllament pel compliment del CTE –<br>E3=aïllament amb Standard PassivHaus – E4= incorporació energies renovables - E5= renovació<br>d'equips - E6= combinació E3+E4+E5. Font: (WWF, 2012). | 33 |
| Fig. 33. Consums segons usos energètics. Font: Projecte SECH-SPAHOUSEC (IDAE, 2011).                                                                                                                                                                       | 33 |
| Fig. 34. Tendència de les emissions totals de CO <sub>2</sub> a Catalunya. Font: IDESCAT (IDESCAT, 2013). Elaboració<br>pròpia.                                                                                                                            | 34 |
| Fig. 35. Percentatge d'emissions de CO <sub>2</sub> per sectors a Catalunya. Font: IDESCAT (IDESCAT, 2013).<br>Elaboració pròpia.                                                                                                                          | 34 |
| Fig. 36. Zones climàtiques determinades en l'estudi realitzat per l'IDAE 'SpaHouSEC'. Font: (IDAE, 2011).<br>.....                                                                                                                                         | 37 |
| Fig. 37. Llars espanyoles segons antiguitat de l'habitatge i mida del hàbitat. Font: Projecte SECH-<br>SPAHOUSEC (IDAE, 2011).                                                                                                                             | 37 |
| Fig. 38. Distribució dels habitatges per data construïda i per tipus. Font: INE (2001).                                                                                                                                                                    | 38 |
| Fig. 39. Identificació dels 10 <i>hotspots</i> - varies distribucions. Font: (Cuchí A., Sweatman P., 2011).                                                                                                                                                | 39 |
| Fig. 40. Zones climàtiques. Font: Institut Cerdà (Garrido N., Casado I., 2006).                                                                                                                                                                            | 40 |
| Fig. 41. Classificació i distribució de les tipologies d'edificis segons la zona climàtica. Font: Institut Cerdà<br>(Garrido, 2010, pág. 91).                                                                                                              | 41 |
| Fig. 42. Distribució en % de les tipologies d'habitatges a Catalunya. Font: Institut Cerdà (Garrido N.,<br>Casado I., 2006).                                                                                                                               | 41 |
| Fig. 43. Definició de tipologies en l'edificació. Font: Projecte TABULA (Intelligent Energy Europe, 2013).<br>.....                                                                                                                                        | 42 |
| Fig. 44. Priorització de mesures en actuació per la rehabilitació a nivell de Catalunya. Font: Tesi doctoral<br>Núria Garrido (Garrido, 2010).                                                                                                             | 42 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Fig. 45. Percentatges de possibles estalvis en rehabilitació energètica d'edificis. Font: Ponència SB10mad. Metodologia per l'avaluació pel programa d'ajudes a les actuacions de rehabilitació per la millora de la sostenibilitat i eficiència energètica de les edificacions. ....                                                                                                                                                         | 43  |
| Fig. 46. Reducció de la demanda i cost energètic amb comparació amb l'edifici base. Font: Informe Eficiència Energètica en la Rehabilitació d'edificis del grup de InnoCons (InnoCons, 2012). ....                                                                                                                                                                                                                                            | 44  |
| Fig. 47. Imatge de la classificació de tipologies constructives. Font Catálogo de soluciones constructives de rehabilitación (Institut Valencià de l'edificació, 2011). ....                                                                                                                                                                                                                                                                  | 45  |
| Fig. 48. Evolució dels ingressos i de la despesa energètica (calculat sobre unitats nominals, essent el 2006 = 100) –esquerra-. Persones % que es declaren incapaces de mantenir l'habitatge a un confort tèrmic adequat a l'hivern –dreta-. Font: EPF (Enquesta de Pressupostos Familiars) (INE, 2013) i EUSILC (European Union Statistics on Income and Living Conditions) EUROSTAT (Comissió Europea, 2013). Elaboració: (OSE, 2012). .... | 46  |
| Fig. 49. Opcions de qualificació energètica. Font: (ICAEN, 2012). ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 56  |
| Fig. 50. Funcionament del programa CEX. Font: Manual d'usuari CEX. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 59  |
| Fig. 51. Concepte d'avaluació de la sostenibilitat d'edificis. Font: (AENOR. UNE-EN 15643-1, 2012). Elaboració: elaboració pròpia. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 61  |
| Fig. 52. Programa de treball del comitè tècnic CEN/TC 350. Font: (AENOR. UNE-EN 15643-1, 2012). Elaboració: elaboració pròpia. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 62  |
| Fig. 53. 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. ....                                                                                                                                                                                                                                                    | 63  |
| Fig. 54. Etapes d'un ACV. Font: (UNE-EN ISO 14040, 2006). ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 68  |
| Fig. 55. Procediments simplificat per l'anàlisi del inventari. Font: (UNE-EN ISO 14044, 2006). ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 69  |
| Fig. 56. Esquema dels mòduls d'informació per les diferents etapes de l'avaluació de l'edifici. Font: (AENOR. UNE-EN 15978, 2012). ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 70  |
| Fig. 57. 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) ....                                                                                                                                                                                                                                                              | 86  |
| Fig. 58. Relació òptima entre benefici-cost. Font: (BPiE - Buildings Performance Institute Europe -, 2012). Elaboració: elaboració pròpia. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 100 |
| Fig. 59. Mòduls d'informació aplicats a l'avaluació del comportament econòmic d'un edifici . Font: (AENOR. UNE-EN 15643-4, 2012). Elaboració: elaboració pròpia. ....                                                                                                                                                                                                                                                                         | 101 |
| Fig. 60. Diferents paquets de situacions d'estudi. Font: (Hamdy, Hasan, & Siren, 2011). Elaboració: elaboració pròpia. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 106 |
| Fig. 61. Concepte d'avaluació de l'acompliment social dels edificis. Font: (AENOR. UNE-EN 15643-3, 2012). ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 115 |
| Fig. 62. Exemples de mètodes, autors i programes. Font: (IDAE, 2008). ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 116 |
| Fig. 63. Diagrama de les metodologies pel modelatge tèrmic i dimensionat de fluxos. Font: (CIBSE Guide A, 2006, pág. 174). ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 122 |
| Fig. 64. Visió general del software EnergyPlus v.7.0. Font: Cas d'estudi propi. ....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 124 |

|                                                                                                                                                                                                 |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Fig. 65. Imatge dels diferents mòduls en que es basa EnergyPlus. Font: (Drury B. Crawleya, y otros, 2001).                                                                                      | 125 |
| Fig. 66. Formulació emprada per defecte definit en l'objecte ZoneAirHeatBalanceAlgorithm. Font: (University of Illinois and Lawrence Berkeley National Laboratory, 2012).                       | 126 |
| Fig. 67. Interface general de JePlus. Font: (Zhang, 2013).                                                                                                                                      | 131 |
| Fig. 68. Cas d'estudi amb JePlus, amb 34.560 situacions. Font: (Yi & Ivan , 2010).                                                                                                              | 131 |
| Fig. 69. Interfície entre GenOpt i el programa de simulació que avalua la funció de cost.                                                                                                       | 132 |
| Fig. 70. Visió general del funcionament de programa GenOpt durant el progrés de l'optimització. Font: (GenOpt, 2011).                                                                           | 132 |
| Fig. 71. Pantalla de resultats per múltiples casos d'estudi. Font: (BeOpt, 2012).                                                                                                               | 133 |
| Fig. 72. Procés de càlcul de seqüenciació per arribar a l'òptim. Font: (Horowitz & Christensen, 2008).                                                                                          | 134 |
| Fig. 73. Procés de càlcul de seqüenciació per arribar a l'òptim. Font: (BeOpt, 2012).                                                                                                           | 134 |
| Fig. 74. Pantalla de resultats per un cas concret d'estudi. Font: (Craig , Scott , Todd, Adam , & Greg , 2005).                                                                                 | 135 |
| Fig. 75. Sistemes i subsistemes que component el llenguatge SDL. Font: (Doldi, 2001).                                                                                                           | 135 |
| Fig. 76. Imatge general del BCVTB. Font: (Building Technologies Department, 2012).                                                                                                              | 136 |
| Fig. 77. Estructura general del simulador (sistema gràfic). Font: elaboració pròpia.                                                                                                            | 140 |
| Fig. 78. Estructura general del simulador. Llenguatge SDL. Font: elaboració pròpia.                                                                                                             | 141 |
| Fig. 79. Visió del software de simulació SDLPS. Font: (Fonseca P. , SDLPS, 2012).                                                                                                               | 141 |
| Fig. 80. Estructura del procés Ús/Manteniment. Llenguatge SDL. Font: elaboració pròpia.                                                                                                         | 142 |
| Fig. 81. Esquema de funcionament de la BBDD. Font: elaboració pròpia.                                                                                                                           | 143 |
| Fig. 82. Visió del software de simulació on-line. Font: (Inlab - UPC, 2012).                                                                                                                    | 145 |
| Fig. 83. Generació d'experiments preparats per llençar les simulacions. Font: elaboració pròpia.                                                                                                | 145 |
| Fig. 84. Consum de calefacció. Prova d'edifici tipus amb diferents orientacions. Font: elaboració pròpia.                                                                                       | 146 |
| Fig. 85. Imatge de l'estudi de cas de l'edifici ECO en el simulador via web. Font: (Inlab - UPC, 2012).                                                                                         | 147 |
| Fig. 86. Resultats de els 4096 simulacions realitzades. Font: (Fonseca, Fonseca, & Colls, 2012).                                                                                                | 148 |
| Fig. 87. Relació entre el cost-consum de les simulacions generades. Font: (Fonseca, Fonseca, & Colls, 2012).                                                                                    | 148 |
| Fig. 88. 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, & Colls, 2012). | 149 |
| Fig. 89. Distribució del consum energia final sector Edificis domèstics. Font: Plan Ahorro de Energía 2011-20 (IDAE, 2011).                                                                     | 161 |
| Fig. 90. Taxa d'equipament en les llars. Font: Projecte SECH-SPAHOUSEC (IDAE, 2011).                                                                                                            | 161 |
| Fig. 91. Consum d'energia primària en calefacció i refrigeració en el sector domèstic segons zona climàtica. Font: Projecte SECH-SPAHOUSEC (IDAE, 2011).                                        | 162 |
| Fig. 92. Sistemes de calefacció per zona climàtica. Font: Projecte SECH-SPAHOUSEC (IDAE, 2011).                                                                                                 | 163 |

|                                                                                                                                                                                     |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Fig. 93. Sistemes de refrigeració per zona climàtica i tipus d'habitatge. Font: Projecte SECH-SPAHOUSEC (IDAE, 2011). .....                                                         | 163 |
| Fig. 94. Relació entre el consum i ús tipus. Font: (López, 2006). .....                                                                                                             | 164 |
| Fig. 95. Distribució de les llars segons etapes del cicle de vida. Font: Projecte SECH-SPAHOUSEC (IDAE, 2011). .....                                                                | 165 |
| Fig. 96. Principals factors i paràmetres que afecten al confort segons els models d'equilibri tèrmic. Modificat de Simancas, 2003. . Font: (Facultad de Arquitectura-UR, 2010)..... | 167 |
| Fig. 97. Equació de Fanger per la obtenció del PMV. Font: (AENOR, 2006). .....                                                                                                      | 168 |
| Fig. 98. Esquema del procés d'adaptació en ambients interiors. Font: (Godoy Muñoz, 2012).....                                                                                       | 169 |
| Fig. 99. Mapa general dels diferents mètodes de certificació a nivell general. ....                                                                                                 | 172 |
| Fig. 100. Leed EB – Existing Buildings. <i>Checklist</i> d'un projecte model. Font: leedonline.usgbc.org. ....                                                                      | 176 |
| Fig. 101. Leed NC – New Construction. <i>Checklist</i> del Centre Cívic de Roses elaborat pel propi autor. Font: leedonline.usgbc.org.....                                          | 176 |



## ÍNDEX DE TAULES

|                                                                                                                                                                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Taula 1. Resum dels resultats – Orientació SE-NO. Percentatges de possibles estalvis en rehabilitació energètica d'edificis. Font: Informe Eficiència Energètica en la Rehabilitació d'edificis del grup de InnoCons (InnoCons, 2012)..... | 43 |
| Taula 2. Relació històrica de normatives relacionades amb l'eficiència energètica i l'aïllament tèrmic en l'edificació. Font: Elaboració pròpia.....                                                                                       | 47 |
| Taula 3. Transmissió tèrmica màxima de tancaments i particions interiors de l'evolvent tèrmica U en W/m <sup>2</sup> K. Font: DB-HE 1.....                                                                                                 | 52 |
| Taula 4. Classificació d'eficiència energètica d'edificis destinat a habitatge. ....                                                                                                                                                       | 57 |
| Taula 5. Paràmetres d'Ecoeficiència que cal complir. Font: Decret d'Ecoeficiència (Decret d'ecoeficiència, 2006). ....                                                                                                                     | 60 |
| Taula 6. Etapes del cicle de vida d'un edifici. Font: (CEN/TC 350, 2012).....                                                                                                                                                              | 68 |
| Taula 7. Processos ambientals associat al mòdul A4. Font: (AENOR. UNE-EN 15978, 2012). Elaboració: elaboració pròpia .....                                                                                                                 | 70 |
| Taula 8. Processos ambientals associat al mòdul A5. Font: (AENOR. UNE-EN 15978, 2012). Elaboració: elaboració pròpia .....                                                                                                                 | 71 |
| Taula 9. Processos ambientals associats als mòduls B1-B2. Font: (AENOR. UNE-EN 15978, 2012). Elaboració: elaboració pròpia .....                                                                                                           | 71 |
| Taula 10. Processos ambientals associat al mòdul B3. Font: (AENOR. UNE-EN 15978, 2012). Elaboració: elaboració pròpia .....                                                                                                                | 71 |
| Taula 11. Processos ambientals associat al mòdul B4. Font: (AENOR. UNE-EN 15978, 2012). Elaboració: elaboració pròpia .....                                                                                                                | 72 |
| Taula 12. Processos ambientals associat al mòdul B5. Font: (AENOR. UNE-EN 15978, 2012). Elaboració: elaboració pròpia .....                                                                                                                | 72 |
| Taula 13. Processos ambientals associat al mòdul B6. Font: (AENOR. UNE-EN 15978, 2012). Elaboració: elaboració pròpia .....                                                                                                                | 72 |
| Taula 14. Processos ambientals associat al mòdul B7. Font: (AENOR. UNE-EN 15978, 2012). Elaboració: elaboració pròpia .....                                                                                                                | 73 |
| Taula 15. Processos ambientals associats als mòduls C1-C4 i D. Font: (AENOR. UNE-EN 15978, 2012). Elaboració: elaboració pròpia .....                                                                                                      | 73 |
| Taula 16. Categories d'impactes per ACV en edificis. Font: (CEN/TC 350, 2012) .....                                                                                                                                                        | 75 |
| Taula 17. Indicadors mediambientals utilitzats en edificació. Font: (Peuportier, y otros, 2011) .....                                                                                                                                      | 76 |
| Taula 18. Metodologies utilitzades en ACVs. Font: (Zabalza Bribián, 2011). ....                                                                                                                                                            | 77 |
| Taula 19. Continguts de la DAP. Font: (AENOR. UNE-EN 15804, 2013).....                                                                                                                                                                     | 78 |
| Taula 20. Declaracions ambientals del producte a nivell mundial. Font: (Institute for Environment and Sustainability, 2013).....                                                                                                           | 80 |
| Taula 21. Categories d'impacte que ofereix el DAP d'un producte. Font: (ALARCÓN BARRIO, 2012). ....                                                                                                                                        | 80 |

|                                                                                                                                            |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Taula 22. Categories d'impacte que descriuen l'ús dels recursos. Font: (AENOR. UNE-EN 15978, 2012).                                        | 81  |
| Taula 23. Indicadors que descriuen categories de residus. Font: (AENOR. UNE-EN 15978, 2012) .....                                          | 81  |
| Taula 24. Indicadors que descriuen els fluxos de sortida. Font: (AENOR. UNE-EN 15978, 2012) .....                                          | 81  |
| Taula 25. Transport a l'obra. Font: (AENOR. UNE-EN 15804, 2013).....                                                                       | 82  |
| Taula 26. Instal·lació en l'edifici al mòdul A5. Font: (AENOR. UNE-EN 15804, 2013).....                                                    | 82  |
| Taula 27. Etapa d'ús relativa a l'edifici. Font: (AENOR. UNE-EN 15804, 2013). .....                                                        | 83  |
| Taula 28. Ús d'energia i ús d'aigua. Font: (AENOR. UNE-EN 15804, 2013) .....                                                               | 84  |
| Taula 29. Etapa de fi de vida. Font: (AENOR. UNE-EN 15804, 2013).....                                                                      | 84  |
| Taula 30. Vida útil de referència. Font: (AENOR. UNE-EN 15804, 2013) .....                                                                 | 85  |
| Taula 31. Bases de dades possibles a utilitzar per estudis d'ACV. Font: (Institute for Environment and Sustainability, 2013).....          | 92  |
| Taula 32. Eines d'ACV. Font: (European Commission, 2013). Elaboració: Pròpia .....                                                         | 94  |
| Taula 33. Costos associats als mòduls A1-A5. Font: (AENOR. UNE-EN 15643-4, 2012). Elaboració:<br>elaboració pròpia .....                   | 102 |
| Taula 34. Costos associats als mòduls B1-B5. Font: (AENOR. UNE-EN 15643-4, 2012). Elaboració:<br>elaboració pròpia .....                   | 102 |
| Taula 35. Costos associats als mòduls B6-B7. Font: (AENOR. UNE-EN 15643-4, 2012). Elaboració:<br>elaboració pròpia .....                   | 103 |
| Taula 36. Costos associats als mòduls C1-C4 i D. Font: (AENOR. UNE-EN 15643-4, 2012). Elaboració:<br>elaboració pròpia .....               | 103 |
| Taula 37. Proposta de indicadors econòmics potencials. Font: (AENOR. UNE-EN 15643-4, 2012).<br>Elaboració: elaboració pròpia .....         | 104 |
| Taula 38. Aspectes socials en les etapes del cicle de vida d'una obra de construcció. Font: (AENOR. UNE-<br>EN 15643-3, 2012). .....       | 114 |
| Taula 39. Taules comparatives entre diferents softwares de simulació. Font: (Crawley, Kummert, Hand,<br>& Griffith, 2005). .....           | 116 |
| Taula 40. Relació on s'exposen varies eines de simulació energètica via on-line. Font: Elaboració pròpia.<br>.....                         | 123 |
| Taula 41. Característiques necessàries que cal definir en els materials per les simulacions en EnergyPlus.<br>Font: Elaboració pròpia..... | 128 |
| Taula 42. Comparativa dels diferents sistemes de co-simulació i simuladors d'optimització energètica.<br>Font: Elaboració pròpia.....      | 137 |
| Taula 43. Comparativa dels diferents sistemes de co-simulació i simuladors d'optimització energètica.<br>Font: Elaboració pròpia.....      | 138 |
| Taula 44. Camps disponibles en la base de dades amb relació a l'impacte ambiental. Font: Elaboració<br>pròpia.....                         | 144 |
| Taula 45 Camps disponibles en la base de dades amb relació a l'impacte econòmic. Font: Elaboració<br>pròpia.....                           | 144 |

|                                                                                                                                                                                                      |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Taula 46. Taula on es mostren les permutacions realitzades en el cas d'estudi ECO. Font (Fonseca, Fonseca, & Colls, 2012).                                                                           | 147 |
| Taula 47. Diagrama de flux de les diferents fases. Font: elaboració pròpia.                                                                                                                          | 151 |
| Taula 48. Proposta calendari treball. Font: elaboració pròpia.                                                                                                                                       | 155 |
| Taula 49. Condicions interiors de càlcul segons RITE 2007. Elaboració pròpia. Font: RITE 2007.                                                                                                       | 170 |
| Taula 50. Relació de característiques generals de diversos certificats. Font: Elaboració pròpia.                                                                                                     | 172 |
| Taula 51. Relació de característiques generals de diversos certificats. Font: Elaboració pròpia.                                                                                                     | 173 |
| Taula 52. Requeriments que cal complir en el estàndard PassivHaus. Elaboració pròpia. Font: <a href="http://www.plataforma-pep.org">www.plataforma-pep.org</a> .                                     | 173 |
| Taula 53. Criteris que cal tenir en compte per la realització del càlcul de la rendibilitat econòmica. Elaboració pròpia. Font: <a href="http://www.plataforma-pep.org">www.plataforma-pep.org</a> . | 174 |
| Taula 54. Comparativa normativa alemanya i espanyola per hivern. Font: EnEV 2007/DIN1946-T6. Elaboració: elaboració pròpia.                                                                          | 174 |
| Taula 55. Comparativa normativa alemanya i espanyola per estiu. Font: EnEV 2007/DIN1946-T6. Elaboració: elaboració pròpia.                                                                           | 175 |
| Taula 56. Criteris avaluats per la certificació GBCE-VERDE. Elaboració pròpia. Font <a href="http://www.gbce.es">http://www.gbce.es</a> .                                                            | 177 |
| Taula 57. Categories d'impacte. Font: <a href="http://www.gbce.es">www.gbce.es</a> .                                                                                                                 | 178 |



## **1. DADES IDENTIFICATIVES**

---

### **DOCTORAND**

Antoni Fonseca i Casas

Arquitecte Superior. Centre de recerca SUMMLAB – UPC

### **DIRECTORA / TUTORA DE TESI**

Núria Garrido Soriano

Dra. Enginyera Industrial, Departament. Màquines i Motors Tèrmics

Sotsdirectora - Vicedegana Centre Doc.

Centre de recerca SUMMLAB - UPC



## 2. TÍTOL PROVISIONAL

---

Propostes d'optimització del parc edificat atenent els criteris de la sostenibilitat (impactes ambientals, econòmics i socials), a partir de tipologies i solucions constructives.

Determinació de nous nivells d'exigència de les normatives per a edificis d'habitatge de consum d'energia quasi nul.



### 3. RESUM

---

El paradigma del constant creixement a partir del consum dels recursos i apropiació de l'entorn indegut sense atendre les possibles conseqüències futures per les posteriors generacions, és evident que és un model erroni. Costarà molt tornar a redreçar una línia que ens marqui un camí de ruta diferent, amb valors nous, moralitat social i estima de la pròpia espècie humana i del seu entorn.

Aquest projecte intenta mostrar una visió diferent, una altra mirada sobre l'edificació. El sector de l'edificació té un gran impacte tant ambiental com econòmic i social, per això els responsables en el seu disseny, construcció i gestió tenen l'obligació moral de modificar les tendències que fins ara s'havien emprat per dissenyar, construir i gestionar

El increment de la demografia a nivell mundial, els constants atacs mediambientals i l'afany consumista que s'ha imposat en els darrers anys, està arribant a la fi. És el moment del decreixement (reduir, reutilitzar i reciclar) a tots nivells i la millora tecnològica; els NZEB (Net Zero Energy Buildings) són un pas necessari i és indispensable assumir-los com un fet normal dins de l'afer de l'arquitectura, per tal de generar societats sostenibles a tots els àmbits. La decisió no és una qüestió ni econòmica ni social ni ambiental, sinó de valors, és obligació de l'home saber viure de forma sostenible i amb equilibri.

A tot això, cal sumar la crisi en el sector de la construcció – amb quasi del 60% d'edificis amb més de 30 anys de vida i construïts sota una normativa poc restrictiva respecte l'aïllament tèrmic-, que ens brinda l'oportunitat d'afrontar els canvis necessaris per tal que el parc edificat existent es transformi en un parc edificat molt més eficient energèticament (Garrido N., Casado I., 2006).

El projecte planteja entendre l'edificació com un sistema que neix, creix, viu i arriba a la seva fi. Els edificis com els éssers passen per totes les fases: des del disseny, la construcció, ús/manteniment fins la deconstrucció. El valor que té un NZEB és ser capaç d'en tot aquest cicle, no consumir més energia de la que produeix. La proposta és anar més enllà, i atendre globalment els aspectes ambientals, econòmics i socials.

Per tant, un dels objectius principals és la realització d'una metodologia d'anàlisi i optimització energètica per l'edificació i la construcció, segons criteris de sostenibilitat (impactes ambientals, econòmics i socials).

Un altre punt és l'Estudi i Millora d'Eficiència Energètica dels Edificis a partir de tipologies i solucions constructives utilitzades, atenent els criteris de la sostenibilitat, tenint en compte, com a paràmetre de partida, el confort tèrmic. Analitzant, sempre, els diferents processos, ja siguin rehabilitació, ús / manteniment i deconstrucció.

Responent a la nova directiva europea d'eficiència energètica i a la normativa de certificació pels edificis existents, és determinarà nous nivells d'exigència de les normatives locals per a edificis d'habitatge de consum d'energia quasi nul.

El projecte planteja un mapa conceptual que intenta generar noves eines de treball que serveixin pels tècnics específics del sector, abordar la problemàtica de l'edificació assumint els nous reptes plantejats.



## 4. OBJECTIUS

---

Si analitzem i optimitzem tots els processos que intervenen en el moment que realitzem una edificació, ens adonarem que apareixen molts més factors que no són només el consum de l'energia, sinó altres impactes ambientals, socials i econòmics (segurament, els més importants són aquells que fins ara no es valoren amb numeració escalar).

En aquest sentit, ja trobem varis estudis, informes i projectes que analitzen les possibilitats de l'estalvi energètic conjuntament amb la repercussió econòmica que té, segons l'actuació que s'hagi escollit; com, per exemple el projecte 'PROYECTO SECH-SPAHOUSEC' (IDAE, 2011).

La proposta es basa en algorismes d'optimització aplicant mètodes de simulació dinàmica que utilitzen com a motor de càlcul eines com EnergyPlus, DOE-2.1..., metodologia àmpliament emprada en enginyeria, sobretot en el camp de l'aeronàutica (millora de material en diferents aspectes per optimitzar la seva funció), per tal d'aproximar la construcció existent a un edifici NZEB als tres nivells de la sostenibilitat.

### 4.1. PREÀMBUL

Per la necessitat de donar resposta a la Directiva 2010/31/UE (modificada per la nova Directiva 2012/27/UE), la qual dóna als estats membres eines perquè prenguin les mesures necessàries per millorar l'eficiència energètica dels edificis i, conjuntament amb la normativa espanyola RD 47/2007 (MITYC, 2007), que permet a les comunitats autònomes desenvolupar les seves pròpies normatives autònomes i locals; es proposa:

- El desenvolupament de models energètics eficients (millora de la transmissió tèrmica) atenent la reducció energètica necessària pel confort de l'edifici, emissions GEH's (Gas Efecte Hivernacle) i estudi dels ACV dels materials utilitzats, sempre en un marc de cost econòmic viable, amb l'objectiu de reduir al màxim l'impacte en l'entorn.
- Proposta de nivells màxims de demanda i/o consum per la determinació de noves normatives en l'edificació, que permetin regular el parc edificat en l'àmbit residencial, sempre, atenent els criteris de sostenibilitat (amb diferents zones climàtiques, orientacions i tipologies).
- Noves solucions constructives i nous dissenys de l'envolupant per tal de reduir costos energètics en la climatització.
- Proposta d'utilització de materials anomenats sostenibles, ecològics o reciclats en les solucions constructives, per tal de poder-los dotar de la normativa pertinent i ser competitius davant dels materials convencionals fins el moment. D'aquesta manera s'estudiaran les característiques d'aquests materials (el seu ACV) per tal de incorporar-los a la base de dades a tenir en compte.

## 4.2. INTRODUCCIÓ

### **NORMATIVA RELATIVA A L'EFICIÈNCIA ENERGÈTICA EN EDIFICIS**

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 no és tasca fàcil, per això 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, tenen tanta importància.

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

Una normativa autonòmica està completament justificada si aquesta és més restrictiva que l'estatal i recull les característiques pròpies del territori. És a dir, ha de millorar la normativa estatal. En el cas dels edificis, aquesta normativa autonòmica ha de donar un plus de qualitat als edificis que es construeixin en aquesta zona en concret.

La coexistència de normatives que tenen un mateix àmbit d'aplicació i una mateixa finalitat, pot ser contraproductiu, si no queda clar quina d'elles és més restrictiva, en la seva totalitat.

Així, en el cas de Catalunya, el tècnic ha de tenir en compte la normativa estatal i la referent només a la comunitat autònoma pròpia. En la normativa espanyola els requisits es defineixen en funció a les zones climàtiques, i en la catalana no. Aquest fet dóna l'aparició de situacions on la normativa estatal és més restrictiva que la de la pròpia comunitat. Per altra banda, la normativa espanyola limita el factor solar de les finestres en funció del percentatge de vidre, fet que en la normativa catalana no. La normativa catalana, a diferència de l'estatal, només limita l'aïllament de façanes i la qualitat de les finestres, deixant de banda l'aïllament dels altres tancaments com, per exemple, la coberta o el forjat en contacte amb el terreny.

Al coexistir dues normatives amb criteris i paràmetres d'aplicació diferents, pot generar dubtes i confusió entre els professionals, fet que pot provocar males praxis per desconeixement del sistema legal (Garrido, 2010).

## **CERTIFICACIÓ EDIFICIS EXISTENTS**

La directiva 2002/91/CE del Parlament Europeu i del Consell de 16 de desembre de 2002 relativa a l'eficiència energètica dels 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 posaran en vigor les disposicions legals, reglamentàries i administratives necessàries per donar compliment al que s'estableix a la present Directiva com a molt tard, el 4 de Gener de 2006.

Així doncs, el Govern Espanyol, seguint les directrius de la directiva europea, va aprovar el RD 47/2007 (MITYC, 2007) el 19 de Gener en el que es defineix el procediment bàsic de certificació d'eficiència energètica d'edificis de nova construcció.

En quant a la certificació d'edificis existents, el RD corresponent s'ha aprovat recentment (abril 2013), amb data d'entrada en vigor el juny de 2013. En aquest RD s'ha aprovat la metodologia de càlcul i el procediment corresponent per a l'obtenció de la qualificació i certificació energètica dels edificis existents. Aquesta metodologia haurà d'incorporar un mòdul on es proposi a l'usuari diferents opcions per a millorar la seva qualificació on s'inclogui un estudi econòmic orientatiu de cada una de les opcions proposades.

### **4.3. OBJECTIUS GENERALS**

L'objectiu principal d'aquesta proposta és establir les bases per resoldre les problemàtiques i mancances detectades en els processos constructius, des del moment del disseny, passant per l'edificació, ús / manteniment fins la deconstrucció; d'aquesta manera, es podran abordar les normatives relatives a la millora de l'eficiència energètica en edificis des d'una perspectiva global. Concretament:

- Metodologia de treball amb sistemes de computació avançada, atenent els tres pilars dels criteris de sostenibilitat. Plantejament global de la sostenibilitat per l'edificació, tenint en compte el confort tèrmic, acústic i lumínic com a punt de partida per futures propostes i ampliacions del sistema metodològic plantejat.
- Estudi i Millora de l'eficiència energètica dels edificis existents a partir de diferents tipologies i solucions constructives.
- Definir els requeriments normatius òptims (segons criteris, d'estalvi energètic, econòmics i ambientals) per a edificis existents. Proposta de revisió del Decret d'Ecoeficiència (en l'àmbit energètic).
- Per resoldre aquesta problemàtica es proposa un model o metodologia de co-simulació per a la SOSTENIBILITAT d'anàlisi energètic i ambiental, de costos econòmics i socials integral per a l'edificació i construcció.

#### 4.4. OBJECTIUS ESPECÍFICS

Com objectius específics, cal destacar els següents:

- Integració en la base de dades de nous materials que es poden emprar per l'edificació, amb baix impacte ambiental, per tal de donar a conèixer els seus avantatges a nivell ambiental i social (i permetre que puguin competir amb igualtat amb altres materials més econòmics). Així, en l'elecció, no només es tindrà el valor econòmic directament associat al material sinó que hi ha altres valors que actualment no es tradueixen en valor però sí que tenen una repercussió en impactes ambientals i socials.
- Previ definició de tipologies i sistemes constructius, i segons les diferents zones climàtiques d'estudi, determinar els nivells màxims de demanda i criteris generals i recomanacions de la U (transmitància tèrmica); segons criteris d'optimització ambiental, econòmica i social.
- Metodologia de treball amb eines informàtiques que permeti treballar amb d'altres casos d'estudi que s'allunyi d'una forma tipològica ja estudiada.

#### 4.5. ÀMBIT D'APLICACIÓ I CAMP D'ACTUACIÓ DEL PROJECTE

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.  
Col·laboració amb d'altres centres de recerca similars com BerkelyLab (Berkeley Lab, 2013) o Institute of Energy and Sustainable Development (De Montfort University, 2013).

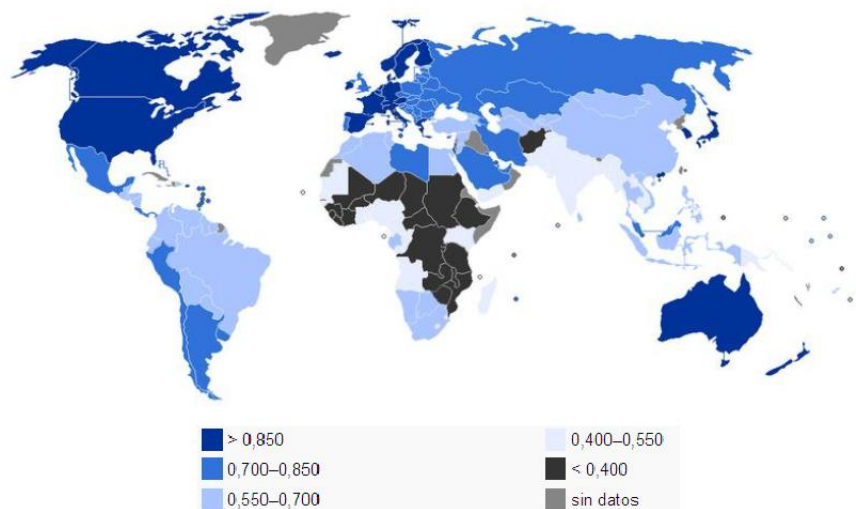
## 5. INTRODUCCIÓ

*"Un canvi ràpid ambiental s'està succeint davant nostre. L'exemple més evident és el canvi climàtic, que serà una de les meves principals prioritats com a secretari general. Però aquesta no és l'única amenaça. Molts altres núvols apareixen a l'horitzó, com l'escassetat d'aigua, la degradació de les terres i la pèrdua de biodiversitat"* (Ban Ki-moon, secretari general de les Nacions Unides) (Nacions Unides, 2007).

L'impacte de l'ésser humà al planeta sempre ha estat un tema de discussió important, però no ha estat un punt cabdal fins que a partir de la revolució industrial es va començar a produir en sèrie productes de consum per la societat i a intensificar l'ús dels recursos naturals, sense atendre al límit planetari i sense seguir una política global que evités desigualtats entre les diferents nacions.

Aquestes desigualtats són cada vegada més evidents. En termes generals, si apliquem el principi de Pareto (Cabanellas., 1946), es compleix aproximadament que, atenent el PIB, *el 20 % de la població ostenta el 80 % del poder polític i abundància econòmica, en comptes, el 80 % de la població només es reparteix el 20% restant de la riquesa i té poca influència política* (Nacions Unides, 2012).

No obstant això, el cert és que no hi ha una relació directa entre la felicitat, l'esperança de vida i el PIB per càpita. Es dona la situació paradoxal que hi ha països que estan amb major creixement, com per exemple la Xina, no es troben, necessàriament, en les primeres posicions del índex de desenvolupament humà de les Nacions Unides (PNUD. Nacions Unides, 2013).



**Fig. 1. Mapa mundial que mostra el Índex de Desenvolupament Humà (IDH). Font: PNUD (Programa de les Nacions Unides pel Desenvolupament).**

*"El veritable progrés social no consisteix en augmentar les necessitats, sinó en reduir-les voluntàriament, però per això fa falta ser humil"* (Mahatma Karamchand Gandhi).

Per tant, els impactes ambientals i econòmics són indispensables per avaluar un sistema, però els impactes socials també són d'igual o major importància ja que determinen si realment les actuacions realitzades són oportunes o favorables pel sistema que s'analitza.

Amb aquest sentit 'Cradle to cradle' (Michael Braungart, 2010) ja ens indica un possible camí a seguir per tal de reduir al màxim els impactes ambientals i, generar riquesa i un impacte econòmic positiu.

Davant d'aquesta problemàtica sistèmica, apareix, entre d'altres línies de pensament, l'ecologia política, amb el punt de partida el Club de Roma (1972) (Meadows, 1972), que es va veure potenciada per la crisi energètica i industrial de la dècada dels 70.

## 5.1. L'ESTAT DEL MÓN

Es poden sintetitzar els conflictes i problemes del planeta amb un mapa conceptual? O sempre quedarà algun element sense tractar? S'ha escrit força sobre els conflictes mundials, i s'ha intentat contextualitzar-lo i plasmar-lo en diagrames (Fritjof, 1991), tot i que no sempre s'aconsegueix reflectir la gran complexitat i les interrelacions existents entre les diferents situacions.

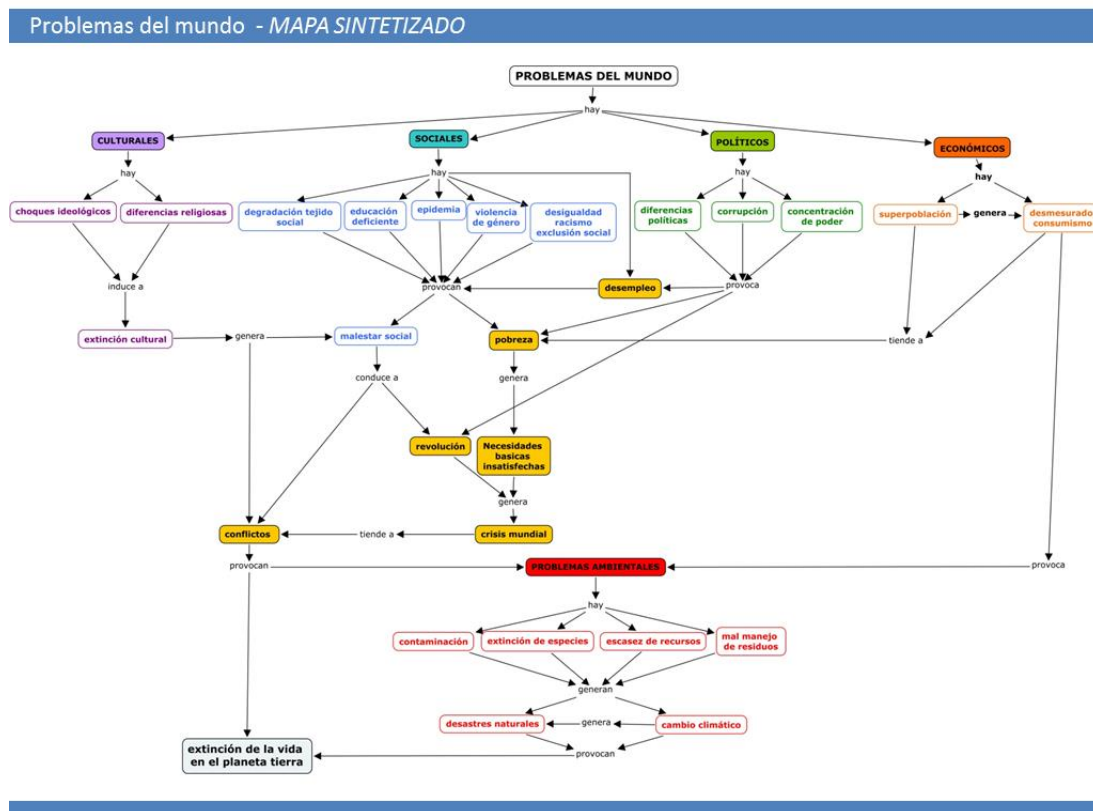


Fig. 2. Problemes del món. Font: elaboració pròpia.

Analitzant les diferents problemàtiques del món, des d'una perspectiva global, sembla difícil poder trobar una solució lògica i factible. Als conflictes socials, polítics i econòmics, s'han de sumar el impacte que està tenint l'ús indiscriminat de recursos fòssils que s'ha anat incrementant. Segons Adam Smith, l'activitat econòmica es realitza sota els mecanismes de lliure mercat que genera el màxim benefici al mínim cost (Smith, 1776). Així, amb una major capacitat d'extracció de recursos econòmics, una millor tecnologia major rendiment energètic, s'ha propiciat a un creixement de la població cada vegada major amb unes necessitats creixents.

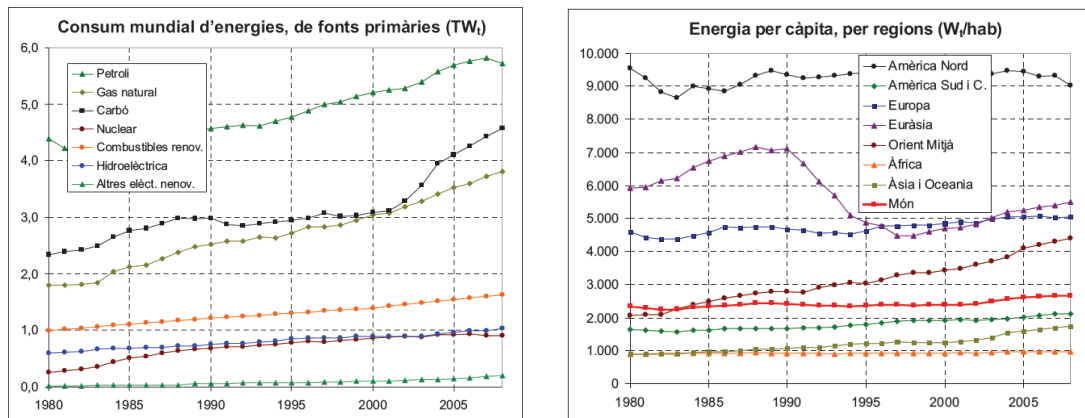


Fig. 3. Evolució del consum d'energia segons fonts primàries (esquerra) i energia per càpita i per regions (dreta) des del 1980 fins el 2008. Font: EIA-govEUA i IEA-OCDE . Elaboració: (Romeva, 2011).

L'economia mundial es troba davant del límit dels recursos i la capacitat que té el planeta d'absorbir els impactes de l'home (UN, 1993). Moltes fonts ja coincideixen que s'ha arribat al 'peak oil' i es fan estimacions sobre el consum total de les energies fòssils cap al 2060-2080 (Romeva, 2011).

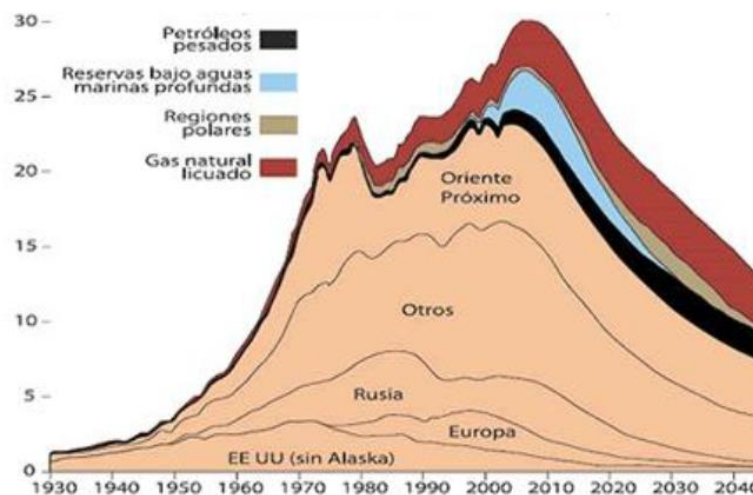


Fig. 4. Hubbert Peak. Desglossament per jaciments de països productors de petroli. Font: ASPO (Association for the Study of Peak Oil and gas).

A més, cal dir que les reserves dels diferents combustibles fòssils no es troben repartits de forma equitativa per tot el planeta. Així, els Estats Units tenen a prop d'un 18% de les reserves dels diferents combustibles (petroli, gas natural, carbó i urani), mentre que el darrer país seria Etiòpia (Romeva, 2011, pág. 42).

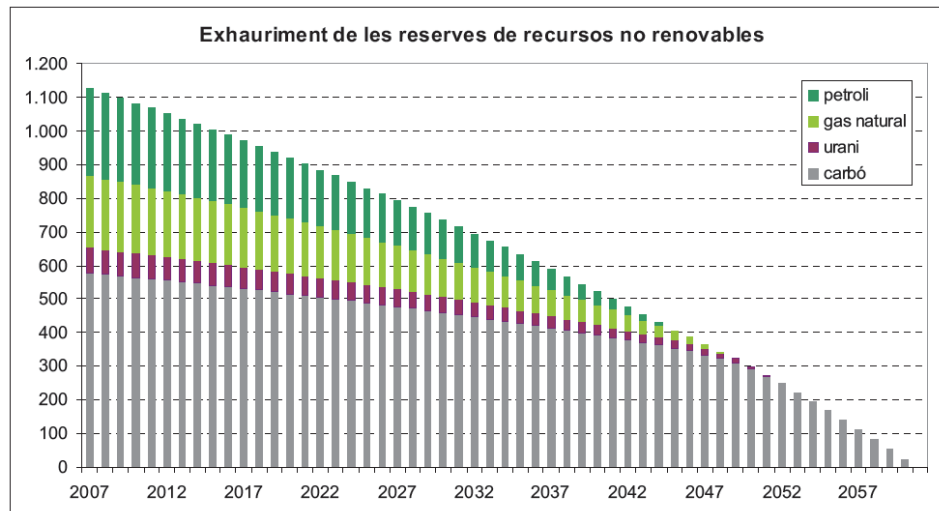


Fig. 5. Fi de l'era del combustible fòssil. Exhaureiment per l'any 2060. Font: EIA-govEUA. Elaboració: (Romeva, 2011).

L'informe "Els límits del creixement" (Limits to growth), encarregat al MIT (Massachusetts Institute of Technology) pel Club de Roma, publicat al 1972 i escrit per Donella H. Meadows, Dennis L. Meadows, Jorgen Randers i William W. Behrens III, alertava sobre el ràpid creixement de la població mundial i sobre les conseqüències negatives que això tenia sobre les matèries primeres i els recursos energètics finits. Hi ha hagut varies revisions respecte el primer informe. El darrer "Els límits de creixement: 30 anys després (2004)" s'aborda la discussió sobre l'imparable creixement de la població mundial, l'augment de la producció industrial, l'esgotament dels recursos, la contaminació i la tecnologia. Entre altres coses s'assenyala que: *'no hi pot haver un creixement poblacional, econòmic i industrial il·limitat en un planeta de recursos limitats'* (Donella Meadows, 2006).

Un dels principals projectes que la comunitat internacional ha emprès per aconseguir reduir la degradació ambiental va ser la Convenció Marc de les Nacions Unides sobre el Canvi Climàtic (CMNUCC), que va entrar en vigor en 1994, amb finalitat d'aconseguir l'estabilització de la concentració atmosfèrica dels gasos d'efecte hivernacle a un nivell que no resulti perillós per al sistema climàtic. Un dels resultats va ser el protocol de Kyoto, aprovat l'11 de setembre de 1997 i ratificat per més de 55 països (suposava més del 55% de les emissions), va entrar en vigor el 16 de febrer de 2005.



Fig. 6. Països que firmen el Protocol de Kyoto. Font: UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change) (Nacions Unides, 2013).

El seu objectiu és que el països desenvolupats redueixin de mitjana i de forma conjunta les seves emissions GEH, de tal manera que la mitjana de les emissions durant el període 2008-2012 sigui almenys un 5% inferior a les emissions generades durant l'any 1990. Europa va acordar reduir les seves emissions en un 8% y, dins d'aquest marc, Espanya es va comprometre a no incrementar les emissions en més del 15% de les seves emissions de l'any 1990.

|                  | Objetivo particular de Kyoto | Emisiones GEI año 2004 (Mt CO <sub>2</sub> eq) | Drechos de emisión asignados 2005-2007 (Mt CO <sub>2</sub> /año) | Instalaciones cubiertas |
|------------------|------------------------------|------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| <b>EUROPA-15</b> |                              |                                                |                                                                  |                         |
| Alemania         | -21                          | 1015,3                                         | 499                                                              | 1849                    |
| Reino Unido      | -12,5                        | 665,3                                          | 245                                                              | 1078                    |
| Italia           | -6,5                         | 582,5                                          | 233                                                              | 1240                    |
| Francia          | 0                            | 562,6                                          | 157                                                              | 1172                    |
| España           | 15                           | 427,9                                          | 174                                                              | 819                     |
| Holanda          | -6                           | 218,1                                          | 95                                                               | 333                     |
| Bélgica          | -7,5                         | 147,9                                          | 63                                                               | 363                     |
| Grecia           | 25                           | 137,6                                          | 74                                                               | 141                     |
| Austria          | -13                          | 91,3                                           | 33                                                               | 205                     |
| Portugal         | 27                           | 84,5                                           | 38                                                               | 239                     |
| Finlandia        | 0                            | 81,4                                           | 46                                                               | 535                     |
| Suecia           | 4                            | 69,9                                           | 23                                                               | 499                     |
| Dinamarca        | -21                          | 69,6                                           | 34                                                               | 378                     |
| Irlanda          | 13                           | 68,5                                           | 22                                                               | 143                     |
| Luxemburgo       | -28                          | 12,7                                           | 3                                                                | 19                      |
| <b>TOTAL</b>     | <b>-8</b>                    | <b>4235,1</b>                                  | <b>1739</b>                                                      | <b>9013</b>             |

Fig. 7. Emissions dels països que formaven L'Europa dels 15. Font: Comissió europea. Acció de la UE contra el canvi climàtica, 2005.

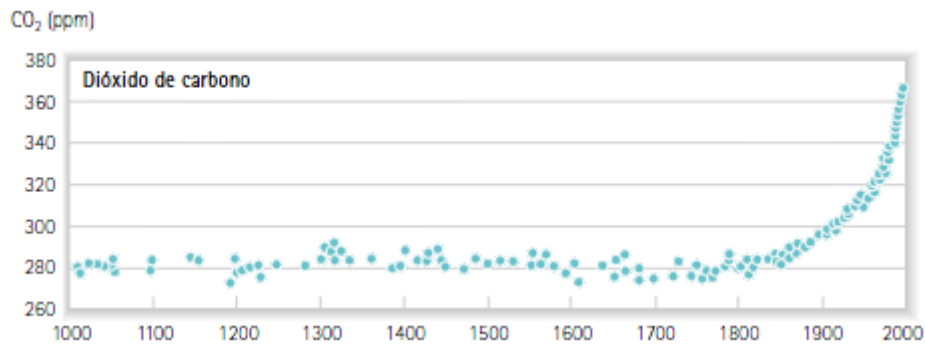


Fig. 8. Influència humana en l'atmosfera durant l'era industrial. Font: (IPCC, 2007).

Va ser un bon punt de partida, però, el cert és que no s'estan complint els objectius. En el cas d'Espanya, va superar el seu crèdit a partir del 1997, i va arribar a incrementar-les en un 152% el 2005 (Cuchí & Pagès, 2007) respecte les emissions del 1990, any de referència 100%; i, actualment, a causa sobretot de la crisi econòmica i millores en la tecnologia s'ha arribat al 122'9% (MAGRAMA, 2012). Aquest fet ha generat un nou mercat que és la compra i venda d'emissions de CO<sub>2</sub>, el qual els països, conjuntament amb les empreses hi participen. El problema, és que aquest anomenat Pla Nacional d'Assignació ha sigut molt generós i per tant, les restriccions molt dèbils. Els incentius per una energia neta són molt pocs i quasi no generen pressió per a que les empreses redueixin les seves emissions i realitzin el canvi cap a les energies verdes. La idea del mercat de CO<sub>2</sub> és que es mantingués entre 20 i 50 € per tones de diòxid de carboni, però al llarg del darrer any ha caigut fins a uns 6 € per tones (SENDECO<sub>2</sub>, 2013).

No obstant aquests esforços, des dels primers informes del IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) – grup d'experts de major prestigi mundial creat per les Nacions Unides i l'Organització Meteorològica Mundial el 1998 - fins al darrer de 2007, s'ha anat incrementant l'evidència i el nivell d'acord dins de la comunitat internacional sobre el fet que l'activitat humana està provocant un canvi climàtic al planeta Terra. En aquest informe es posa de manifest que els gasos GEH han incrementat entre el 1970 i 2004 un 70% alhora que s'incrementa la temperatura mitja en superfície terrestre. En el segon informe del IPCC ja es manifestava que per l'estabilització immediata de la concentració de CO<sub>2</sub> en l'atmosfera només es pot aconseguir mitjançant la reducció d'entre el 50-70%, procedint a majors reduccions posteriorment.

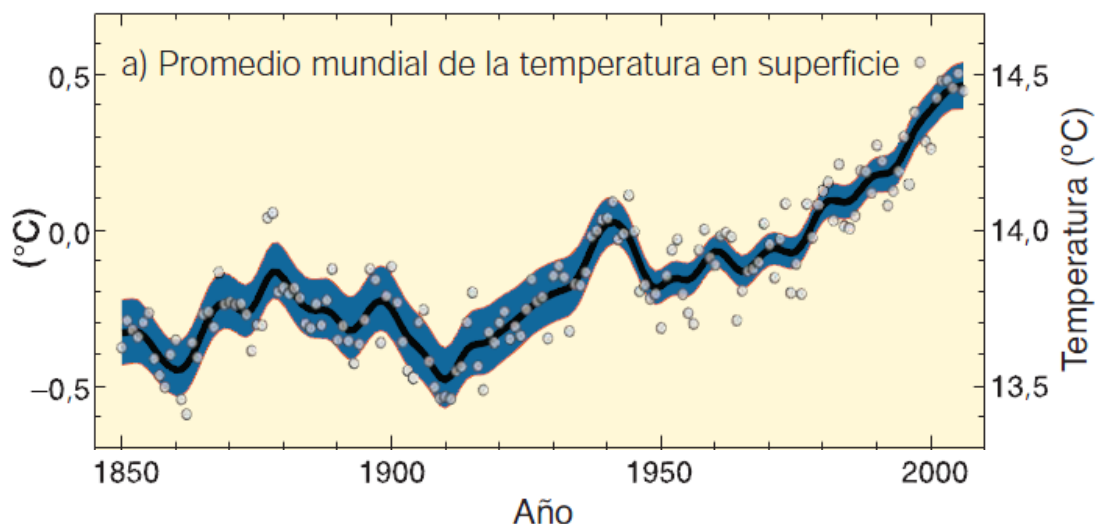


Fig. 9. Evolució de l'increment de la temperatura. Font: 4rt Informe IPCC, 2007 (IPCC, 2007).

El quart informe del IPCC considera sis categories d'escenaris d'estabilització en els que relacionen anys màxims d'emissions, concentracions atmosfèriques finals, augment de temperatures i percentatge d'augment d'emissions anuals en el 2050 respecte a les de l'any 2000:

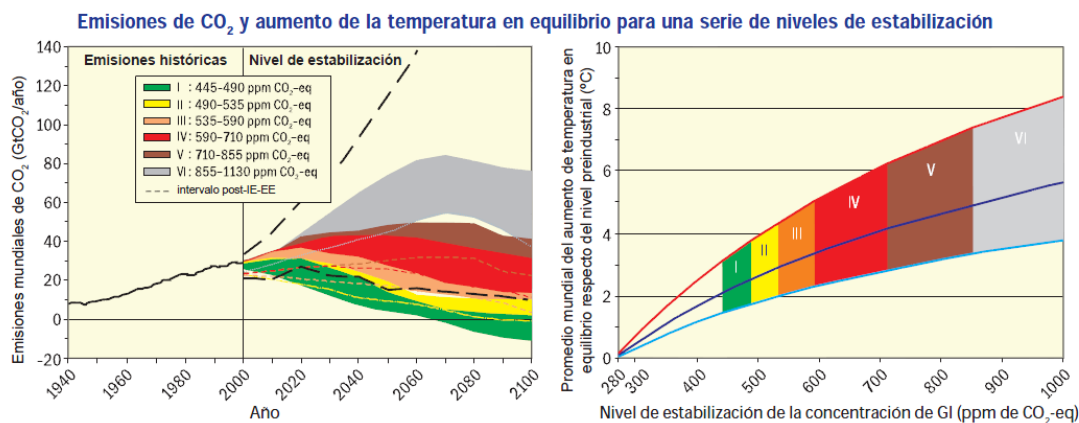
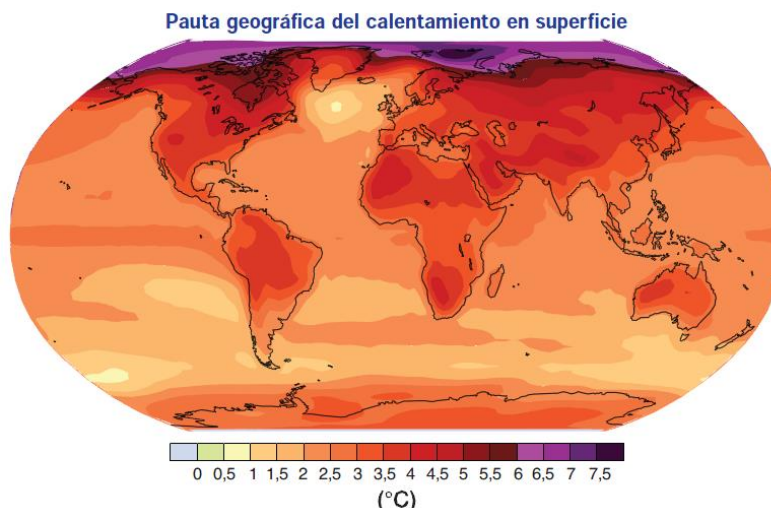


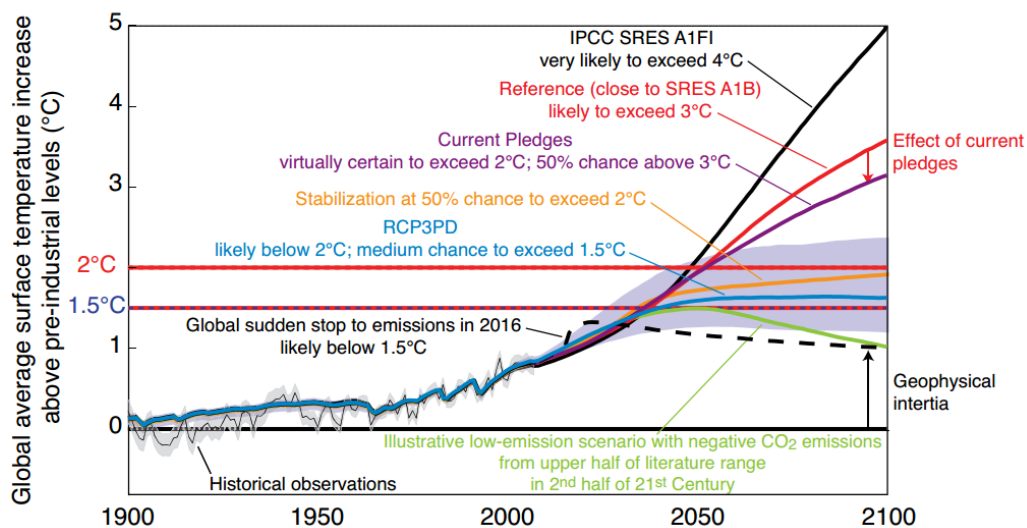
Fig. 10. Característica dels escenaris d'estabilització. Font: 4rt informe IPCC.

Els canvis climàtics no seran acusats de la mateixa manera per les diferents comunitats humanes. Així, les més desenvolupades tindran més oportunitats de prevenir els efectes negatius i aquelles societats que depenguin en gran mesura de la biosfera no es podran adaptar tan ràpidament. Les possibles conseqüències del canvi climàtic les troben descrites en l'informe Stern (Stern, 2006) que ens anuncia que no actuar ara suposarà costos molt més elevats en un futur immediat, o en el mateix informe del IPCC, les quals ens determinen que un increment de temperatura superior al 2% podrien provocar canvis radicals als sistemes que sustenta el clima global.



**Fig. 11. Canvis de la temperatura superficial especial projectats per finals del segle XXI (2090-2099). Totes les temperatures tenen com a referència el període 1980-1999. Font: 4rt informe IPCC.**

En les successives Cimeres que hi ha hagut a partir de la ratificació del protocol de Kyoto, s'han anat acumulant els fracassos per la impossibilitat d'arribar a nous acords i nous objectius resolutoris, entre els països participants. Incapacitat d'aplicar les mesures acordades des d'un inici, veient el continu ajornament del protocol fins l'any 2020 – COP18, Doha 2012 - (United Nations , 2012). Els acords no es poden fer esperar ja que es corre el risc de que la temperatura global mundial incrementi per sobre d'uns 4°C per l'any 2100 (World Bank, 2012).



**Fig. 12. Escenaris possible segons variacions de temperatura. Font: (World Bank, 2012).**

L'escassetat de recursos fòssils, el increment de demanda d'aigua, aliments i energia té una previsió d'augment en un 30-50% per les dues dècades properes, i les respostes econòmiques pensades per solucionar els problemes a curt termini atempten contra la sostenibilitat a llarg termini. L'estabilitat social, l'equilibri mundial, la governabilitat planetària i el medi ambient està en perill fins a tal punt que pot generar danys al planeta irreparables. Per tant, no existeix un altre camí a seguir que no contempli el del desenvolupament sostenible.

## 6. ESTAT DE LA QÜESTIÓ

En aquest apartat es detallarà les diferents temàtiques a tenir a en compte i a investigar per tal de saber en quin punt es troba la recerca en aquests moments, per aprofitar al màxim la tecnologia i coneixement existent i no caure en duplicitats innecessàries ni línies de investigació ja realitzades.

### 6.1. DEFINICIÓ DE SOSTENIBILITAT

Per tal d'establir l'impacte de la humanitat al planeta es pot aplicar la fórmula IPAT (Ehrlich, 1971):

$$I = P \times A \times T$$

- I = Impacte ambiental
- P = Població (persones)
- A = Recursos necessaris, número de productes o serveis consumits per persona
- T = Tecnologia (impacte ambiental/producte), factor d'eficiència tecnològica

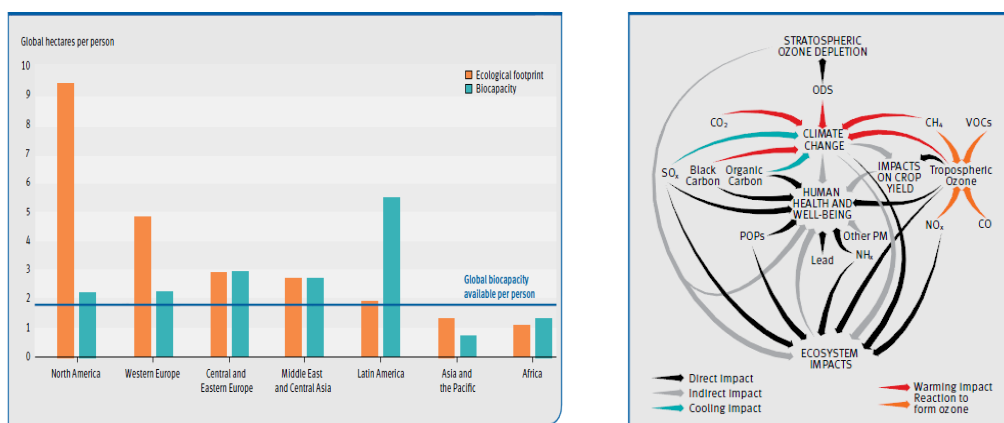


Fig. 13. Petjada ecològica i biocapacitat per regions (esquerra). Impactes de les substàncies emeses a l'atmosfera (dreta) . Font: (PNUMA, 2012)

Amb aquesta formulació es comprova que tot impacte ambiental ha d'estar en equilibri, a la vegada, amb la població existent, els recursos que aquesta consumeix i l'eficiència de la tecnologia que s'empra. Així, per tal d'afrontar la problemàtica del canvi climàtic, cal atendre a la població -tot apunta que cap a mitjans del segle XXI la població pot arribar entre 8.500 i 10.000 Mhab (Romeva, 2011):

*"Si desapareguessin tots els insectes de la terra, en 50 anys tota la vida a la Terra desapareixeria. Si tots els éssers humans desapareguessin de la Terra, en 50 anys totes les formes de vida floririen"* (Jonas Salk).

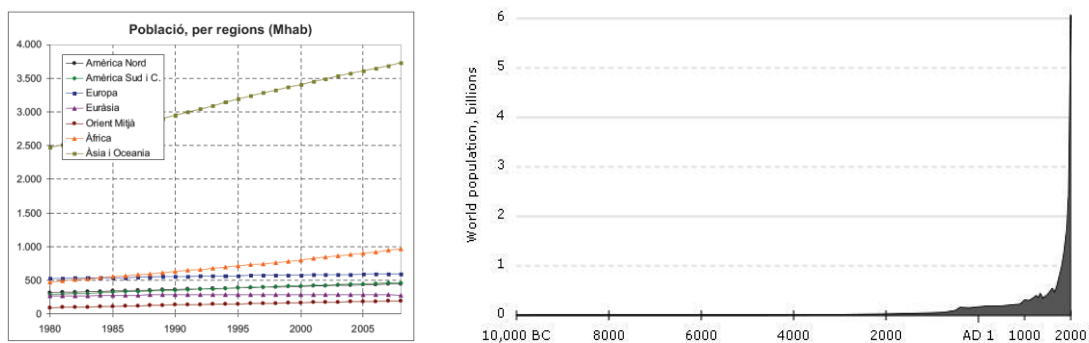


Fig. 14. Evolució de la població mundial. Font: EIA i UN (2004).

L'eficiència de la tecnologia existent és una línia important de desenvolupament- la taxa de millora és considera un 1% (WWF, 2012);

*“Ara que finalment ens hem adonat del terrible dany que hem ocasionat al medi ambient, estem extremant el nostre enginy per trobar solucions tecnològiques.” (Jane Goodall).*

I, finalment, cal limitar els recursos i, a conseqüència, la demanda dels recursos que l'home necessita per assolir un nivell correcte de qualitat de vida.

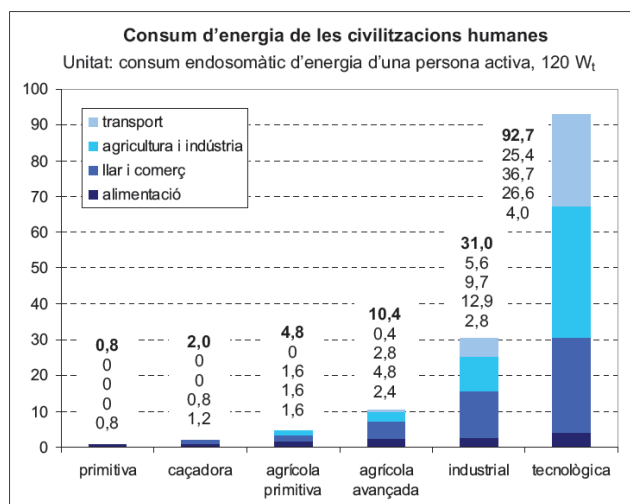


Fig. 15. Consum diari d'energia per càpita en diferents civilitzacions. Font: Cook (Cook, 2010).

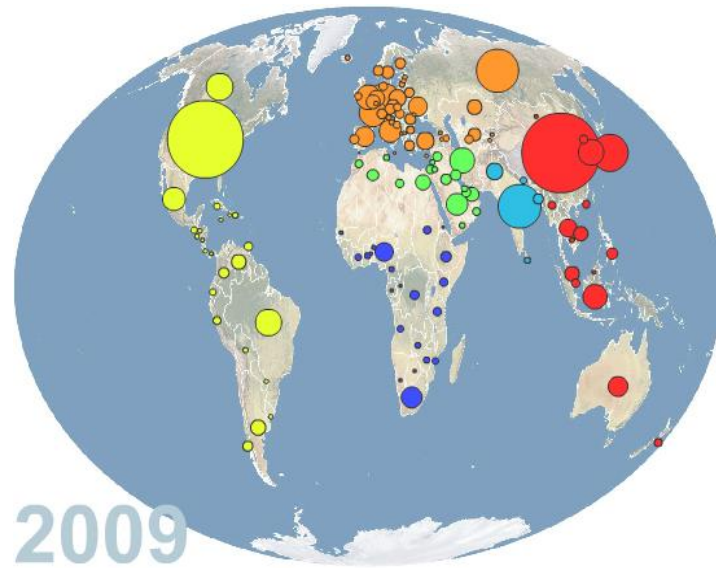


Fig. 16. Energia d'ús per persona. Gràfic explicatiu per l'any 2009. Font: (Gapminder Fundation, 2013).

Com a resposta a aquesta formulació, hi ha una altra interpretació, segons l'autor David Satterthwaite (Satterthwaite, 2008), el qual assenyala que la fórmula hauria ser:

$$I = C \times A \times T$$

- I = Impacte ambiental
- C = Consumidors (persones consumidores)
- A = Recursos necessaris, número de productes o serveis consumits per persona
- T = Tecnologia (impacte ambiental/producte), factor d'eficiència tecnològica

És a dir, aquesta nova formulació proposa substituir el paràmetre Població per la població que realment consumeix que sí que genera impacte al món, donat que la gran majoria de la població mundial que té més fills (països en desenvolupament), pràcticament no consumeix.

Si revisem el sistema mundial plantejat per Jay Forrester (UNESCO, 2012), amb nombroses revisions i la teoria Olduvai reformulada i publicada per Richard C. Duncan (Duncan, 2013), pronostiquen que si la població humana continua amb l'actual línia de desenvolupament, la civilització industrial coneguda durarà fins el 2030 i, a partir de llavors, patirà un retrocés finalitzant el 3000 d.C.

Com a conseqüència d'aquestes fets, l'ecologia política o el decreixement, aposten per un control i regulació de l'ús dels recursos, una nova visió d'economia mundial, i, en definitiva, una canvi radical de valors morals per la societat (Transition Network, 2012).

Atenent a aquesta necessitat de reformular el desenvolupament de la humanitat, ja al 1987, amb l'aprovació de l'informe 'Our Common Future', conegut més popularment com 'Informe Brundtland' –sorgeix de la Comissió del Medi Ambient i el Desenvolupament i rep el seu nom de la ex-primera ministra que el va coordinar Gro Harlem Brundtland –, es va definir el concepte de desenvolupament sostenible:

*‘Desenvolupament que satisfà les necessitats de la generació actual sense comprometre la capacitat de les generacions futures per satisfer les seves pròpies’* (Nacions Unides, 1987).

I, amb el Programa de l'Agenda 21, s'estableix l'estratègia mundial del model de desenvolupament sostenible en el marc de la cimera Rio de Janeiro (1992) on es fa la 'Declaració de Río' –Carta de la Terra–

L'esquema de sostenibilitat més conegut està basat en les representacions de Venn. Es basa en que es pot arribar a l'equilibri si entre els grups actius es compensen entre ells. Aquest format de representació s'anomena de sostenibilitat dèbil ja que no reconeix les limitacions ecològiques que els humans desenvolupen amb d'altres espècies, amb els que a de treballar conjuntament (Williams, 2008).

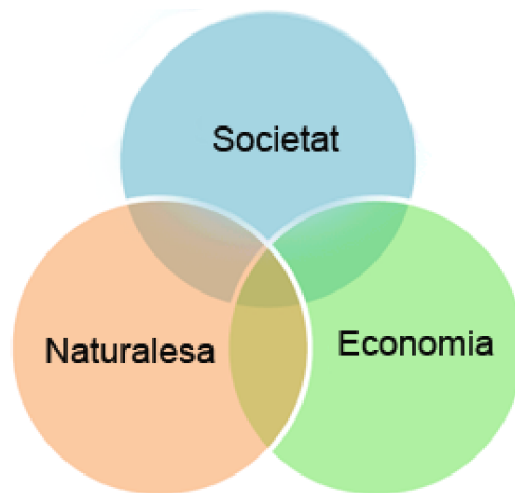


Fig. 17. Triada de sostenibilitat. Font: Elaboració pròpia.

Per altra banda, la UNESCO (2002) ressalta que per atendre un futur més sostenible és imprescindible atendre valors com conservació, pau i equitat, desenvolupament apropiat i democràcia. Així proposa el model de dimensions de sostenibilitat que es pot veure a continuació (Rocuts, Jiménez Herrero, & Navarrete P., 2009):

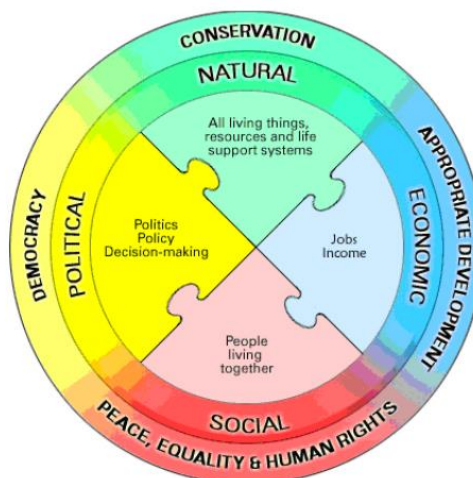


Fig. 18. Dimensions de sostenibilitat. Font: (UNESCO, 2012).

N'hi ha d'altres models de representació que reconeixen que l'economia és un subgrup de la societat – hi ha moltes activitats socials que no queden reflectides en l'economia- i aquestes queden limitades pels recursos naturals del planeta (Mann, 2010). Aquest fet és paradoxal, ja que en la majoria de vegades que es desenvolupa un disseny o es pensa o es crea quelcom, l'economia passa per davant dels altres conjunts.

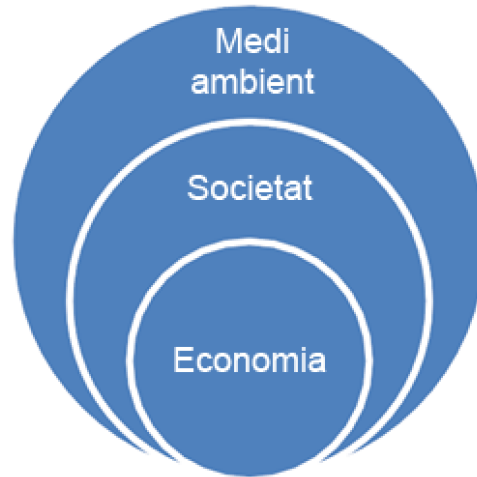


Fig. 19. Representació de Sostenibilitat segons Mann. Font: Elaboració pròpia.

Dintre d'aquests models de sostenibilitat representats 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.

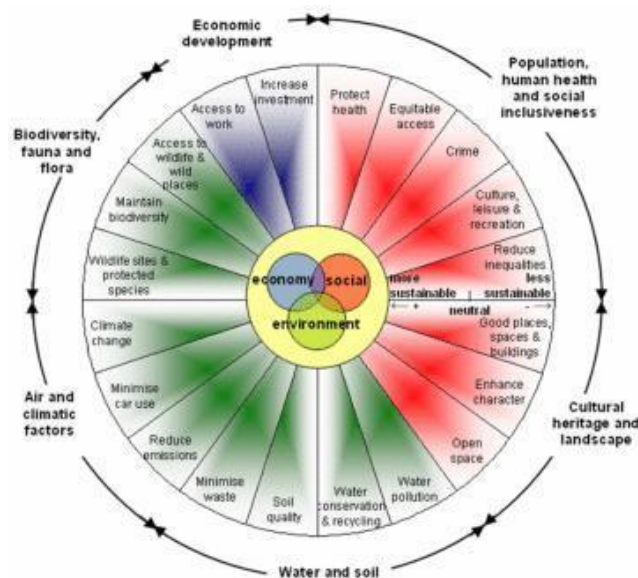


Fig. 20. Triada de sostenibilitat. Font: Stockport.

En els cas dels edificis, són responsables del 40% de l'ús final d'energia en Europa (directiva 2010/31/CE). El sector residencial, en termes de consum total i energia elèctrica, respectivament, és un 17% i 25 a nivell nacional, i el 25% i 29% a nivell de la Unió europea dels 27 (IDAE, 2011).

Per tant, un dels punts a tractar per apropar-nos a un desenvolupament sostenible, és intentar que l'edificació, existent o d'obra nova, passi o s'apropi a un consum energètic responsable, millorant la tecnologia utilitzada en aquests (utilització dels recursos naturals – sistemes passius- per sobre dels sistemes actius, amb gran atenció a l'aïllament tèrmic òptim per reduir l'ús de les energies fòssils). D'aquesta manera, reduir l'impacte ambiental amb la utilització de menys recursos naturals i millorant la tecnologia en l'edificació.

### 6.1.1. L'edifici: sistema viu

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, 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.

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

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

La directiva europea, 2010/31/CE, amb la iniciativa d'incorporar conceptes de reducció en l'impacte de l'entorn, en l'article 9 de la Directiva 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 .

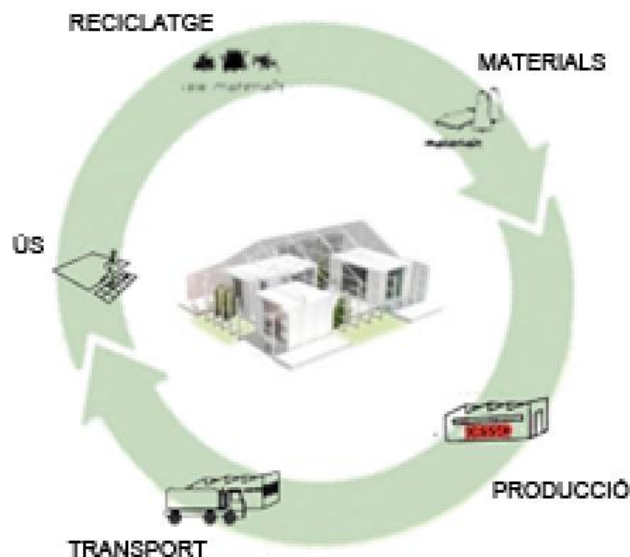


Fig. 21. Tancant el cicle dels materials de l'edifici prototip ECO, projecte del Solar Decathlon 2012. Font: Cradle to cradle (Michael Braungart, 2010). Elaboració: CONAMA 2012

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 que generen.

| Capítulo                                      | Emisiones                         |            | Energía           |            | Peso              |            |
|-----------------------------------------------|-----------------------------------|------------|-------------------|------------|-------------------|------------|
|                                               | KgCO <sub>2</sub> /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            | 28,0       |
| 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. 22. 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, deconstrucció 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).

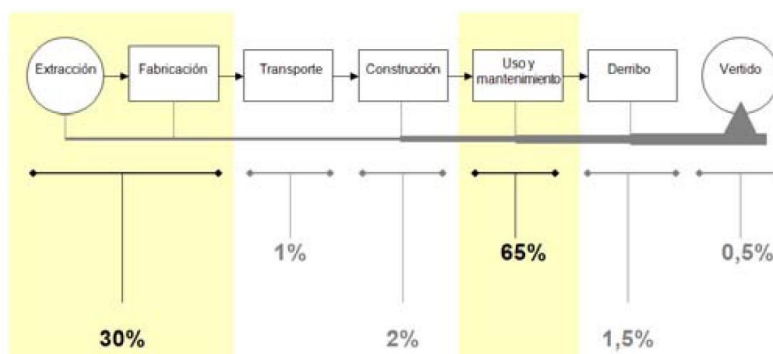


Fig. 23. Relació del % de consum d'energia i emissions de CO<sub>2</sub> que s'emeten a l'atmosfera en el cicle de vida d'un edifici tipus convencional. Font: (Wadel G. , 2009).

| Valores actuales                                                                                                    | Mejora | Valores óptimos                                                                                                                                              | Referencias                                                                                                                                                                                      |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Energía</b><br>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><br>168 litros/persona/día                                                                               | ↓ 50%  | 80 litros/persona/día                                                                                                                                        | Estudios diversos (Generalitat de Cataluña y Fundación Ecología y Desarrollo).                                                                                                                   |
| <b>Materiales</b><br>2.792,8 kg/m <sup>2</sup> , 9.070 MJ/m <sup>2</sup><br>y 750 kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> | ↓ ?%   | 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 Cerdà) y otros estudios de evaluación ambiental de proyectos específicos. |
| <b>Residuos</b><br>120 kg/m <sup>2</sup> obra nueva<br>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. 24. 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 complert; 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 –tot i que pot arribar fins a 100 anys o més, o 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), 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 de impactes ambientals, econòmics i socials d'aquest mateix informe).

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 (mirar apartat 6.3.4).

Per tant, l'edifici ha de respondre els requisits de comportament, que són aquells que s'han de complir obligatòriament per assolir l'ús 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).

## 6.2. REHABILITACIÓ ENERGÈTICA

La definició que es troba al Institut d'Estudis Catalans sobre *rehabilitar* 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". Entenent els 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" (AENOR. UNE-EN 15643-1, 2012).

Per altra banda, segons Gerardo Ruiz Palomeque, Dr. arquitecte professor titular de la U.P.M., la rehabilitació es pot definir com "el conjunt d'actuacions que cal realitzar en l'edifici per tal d'aconseguir les mateixes prestacions funcionals, constructives i formals que un edifici equivalent de nova planta (edifici de referència), sempre que aquestes actuacions siguin físicament executables". Per tant, la rehabilitació ha de portar l'edifici a un estat que compleixi la normativa bàsica vigent del moment. Així, es planteja una definició de rehabilitació que va més enllà de la restitució de l'edifici al seu antic estat, sinó que ja termina amb millors condicions que les inicials (en sentit estricte caldria utilitzar el concepte "habilitar" que és realitzar accions per tal de que quelcom sigui capaç per allò que abans no era).

No obstant, la rehabilitació energètica va més enllà. Es pot definir com totes aquelles actuacions necessàries per tal de dotar a l'edifici rehabilitat d'unes característiques suficients pel confort de l'usuari, ja sigui a nivell passiu o actiu, per tal de poder estalviar energia a nivell de demanda i consum, si el comparem amb l'edifici de referència que només compleix la normativa vigent. La rehabilitació energètica es fixa en criteris de retorn energètic i costos econòmics de la intervenció considerats idonis per tal de portar a terme una intervenció lògica pels usuaris (InnoCons, 2012), garantint unes condicions òptimes de temperatura, humitat relativa i qualitat d'aire interior. Es basa en la idea d'ecologia política on rehabilitar és millor que produir des de nou. Aquesta opció o activitat econòmica serà cada vegada més freqüent a causa de la pujada de preus de les energies primàries i, conseqüentment, increment de rebuts que el propi usuari haurà de pagar (l'opció de realitzar una rehabilitació energètica al propi habitatge es plantejarà com una necessitat per poder fer front, en un futur, a les noves taxes energètiques).

A més, la rehabilitació serà ecològica i sostenible si es posa èmfasi en una millora, a part de només centrar-nos en la part energètica i econòmica, en l'ambiental i social. Per tant, aquestes actuacions aniran encaminades a un estudi exhaustiu 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.

### **6.2.1. Estratègies internacionals i nacionals sobre estalvi energètic**

A partir de les Directives europees 2003/87/CE (modificada per la Directiva 2004/101CE), es va determinar el Pla Nacional d'Assignació d'emissions que cada país ha de redactar de forma obligatòria. Aquestes directrius indiquen el que pot emetre cada empresa i proposa una sèrie de mesures per controlar les emissions generades pels sectors difusos (transport, edificació residencial i serveis, equipament domèstic i explotacions de sector agrícola) –fonts petites emissores però de difícil control–; els quals poden arribar a ser d'un 55% (Cuchí & Pagès, 2007).

A partir d'aquest punt, s'han realitzat varies iniciatives per tal de dinamitzar la reducció del consum energètic i plans d'estalvi energètic.

A nivell europeu, l'objectiu de "l'Estratègia europea 2020 per un creixement intel·ligent" (Comisió Europea, 2012) és reduir un 20 de les emissions gasos GEH, ser capaços d'augmentar un 20% la part de les energies renovables" en el consum d'energia final de la Unió Europea i incrementar el 20% d'eficiència energètica.

Amb el document 'Fulla de ruta de l'energia pel 2050' (Europea, 2011), la Comissió de Indústria, Investigació i Energia (ITRE), intenta el compromís de reduir un 80% en el sector de la construcció per sota dels nivells de 1990 per 2050, mantenint la competitivitat i el subministrament energètic, assenyalant que l'eficiència energètica pot contribuir a impulsar l'economia de la UE al reduir la dependència dels recursos importats, reduir l'atur, alliberar recursos financers, fomentar la competitivitat i minvar les emissions de GEH (ACA, 2012).

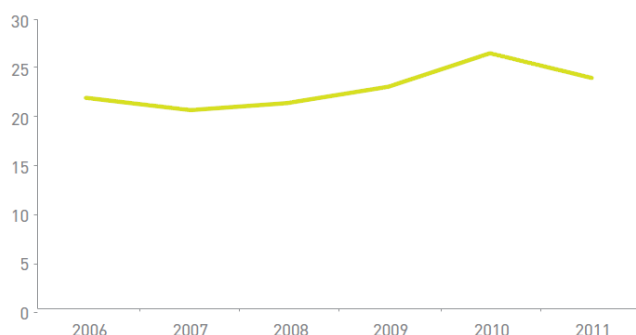
A part, trobem varis estudis que analitzen els nivells de inversió necessaris, els estalvis i els avantatges existents si s'inverteix en eficiència energètica en l'edificació, ja sigui obra nova o rehabilitació. En "Buildings Performance Institute Europe" s'han realitzat varis estudis sobre Zero-Energy Buildings per reduir dràsticament el nivell nacional de consum d'energia en diferents països europeus, polítiques sobre eficiència energètica i una revisió exhaustiva, país per país (27 estats membres), sobre l'eficiència energètica dels edificis europeus (BPIE, 2012). Per altra banda, el "European Council for an Energy Efficient Economy", analitza les característiques que ha de tenir un NZEB i els avantatges de inversió existents (ECEEE, 2013).

A nivell estatal, el pla d'estalvi d'energia E4 (IDAE, 2003), proposava una línia de treball amb horitzó fins el 2012, que proposava diferents línies d'actuació de millora.

El pla d'estalvi d'energia E4 s'ha dividit en dues fases, del 2004-2008 (IDAE, 2003)– primer pla general– i dels 2008-2012 (IDAE, 2007) –revisió–. L'objectiu és incentivar la reducció energètica i l'edificació per aconseguir els nivells d'estalvi del 20% en l'horitzó del 2020.

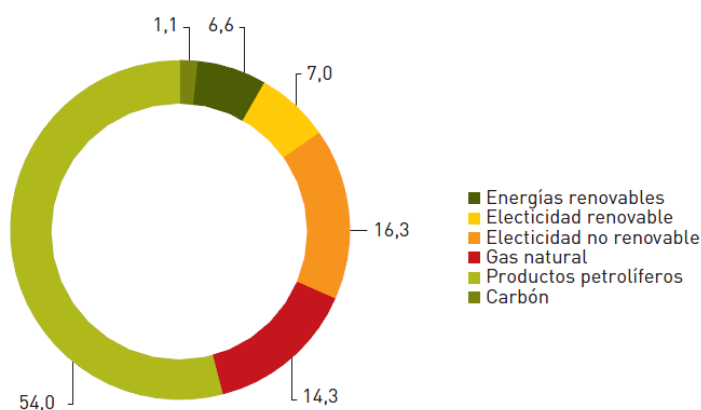
En el cas d'Espanya, si tenim en compte el cost de la construcció, l'estalvi pot arribar a representar un terç del total si s'inclou les emissions generades durant la construcció dels habitatges (OSE, 2012).

El segon pla d'acció nacional d'eficiència energètica en Espanya 'Plan de Ahorro y Eficiencia Energética 2011-20' (IDAE, 2011) dona resposta a la directiva europea Directiva 2006/32/CE sobre l'eficiència de l'ús final de l'energia i els serveis energètics, fixant uns objectius d'estalvi anual del 2%, davant del 1% que demana la citada Directiva. Amb aquest i el 'Plan de Energías Renovables 2011-20' (IDAE, 2011), es vol intentar propulsar una millora d'abastiment d'energies pròpies per tal de reduir la dependència energètica, que és del 76,1% l'any 2011 (OSE, 2012).



**Fig. 25. Evolució del grau d'auto abastiment energètic(%).** Font: Ministeri de Indústria, Turisme i Comerç. Elaboració: (OSE, 2012).

Es necessari apostar per unes polítiques energètiques netes per millorar la possibilitat de que Espanya no depengui tant de les fluctuacions de preu internacional d'energies fòssils – la participació d'energies renovables al mix energètic indica que estem a la recerca d'aquest objectiu tot i que encara necessitem grans esforços per complir els objectius del 2020-. Encara s'han de superar grans impediments com que siguin una alternativa real viable davant d'altres sistemes d'energia i, per tant, es necessiten polítiques actives i dinamitzadores en aquest camp (OSE, 2012).

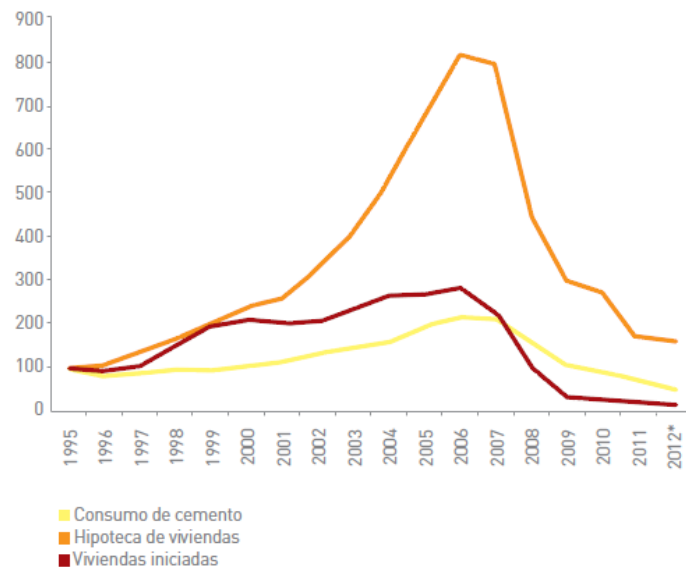


**Fig. 26. Aportació d'energies renovables al consum d'energia final en Espanya(%).** Font: Ministeri de Indústria, Turisme i Comerç (2012). Elaboració: (OSE, 2012).

Paral·lelament s'ha realitzat varis estudis i informes referents a la quantificació del consum energètic i guies d'ajuda pels tècnics qualificats per fer front a la situació actual de crisi energètica amb el increment del preu dels combustibles fòssils i crisi econòmica i, així, dinamitzar nous sistemes econòmics com és la rehabilitació energètica, que, a part de generar llocs de treball (OSE, 2012), és un eix indispensable

per la reducció d'emissions de gasos GEH i reduir la petjada ecològica. A més, cal integrar aquestes edificacions amb una xarxa global, ja que el increment de població a les ciutats les converteix en grans consumidores d'energia.

**NOTA (\*):** Datos de consumo de cemento hasta junio de 2012, datos de viviendas iniciadas hasta marzo de 2012 y dato de hipotecas de viviendas hasta abril de 2012. Todos los datos de 2012 han sido extrapolados para el año 2012 en su totalidad.



**Fig. 27. Evolució de variables ambientals i econòmiques lligades a la construcció: habitatges iniciats, consum aparent de ciment i el volum monetari dels préstecs hipotecaris a habitatge, 1995-2012 \*, 1995 = base 100. Font: (OSE, 2012).**

Així, la crisi actual ens dona una oportunitat única per redirigir les accions en l'àmbit de l'edificació, ja sigui en obra nova -s'ha reduït en un 90 % l'activitat econòmic en aquest sector (Cuchí A., Sweatman P., 2011)- i impulsar noves accions per la rehabilitació i millorar el parc edificat existent. Segons el 'Proyecto Sech-Spahousec' (IDAE, 2011) es considera que a Espanya hi ha a prop d'un 44% d'edificacions anteriors a la primera normativa espanyola que obligava a posar aïllament tèrmic 1979 (NBE-CT 79), i per tant, hi ha grans oportunitats de reducció energètica. A partir de llavors es va obligar a posar aïllament tèrmic (49% dels habitatges), però amb uns nivells molt inferiors als requerits actualment (només el 7% dels habitatges). En l'àmbit català trobem una classificació tipològica específica, segons l'informe realitzat per l'Institut Cerdà (Garrido N., Casado I., 2006) – apartat 6.2.3 -.

|               | Viviendas unifamiliares | Viviendas plurifamiliares | TOTAL VIVIENDAS   | Normativa aislamiento térmico | Total viviendas según aislamiento | Porcentaje | Viv. colectivas - residencial * | Locales + vivienda | Alojamientos | Otros edificios  |
|---------------|-------------------------|---------------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------------------------|------------|---------------------------------|--------------------|--------------|------------------|
| Antes de 1900 | 767.656                 | 554.412                   | 1.322.068         | Sin                           | 14.564.870                        | 57%        | 2.684                           |                    |              |                  |
| 1900-1920     | 354.954                 | 369.027                   | 723.981           | normativa                     |                                   |            | 1.729                           |                    |              |                  |
| 1921-1940     | 405.196                 | 498.539                   | 903.735           | que                           |                                   |            | 1.877                           |                    |              |                  |
| 1941-1950     | 435.942                 | 548.948                   | 984.890           | obligara a                    |                                   |            | 1.803                           |                    |              |                  |
| 1951-1960     | 679.882                 | 1.305.565                 | 1.985.447         | poner                         |                                   |            | 3.187                           |                    |              |                  |
| 1961-1970     | 761.201                 | 2.910.774                 | 3.671.975         | aislamiento                   |                                   |            | 7.068                           |                    |              |                  |
| 1971-1980     | 1.084.141               | 3.888.633                 | 4.972.774         |                               |                                   |            | 10.391                          |                    |              |                  |
| 1981-1990     | 1.096.051               | 1.781.978                 | 2.878.029         |                               | 9.961.819                         | 39%        | 4.506                           |                    |              |                  |
| 1991-2001     | 1.097.568               | 2.282.988                 | 3.380.556         |                               |                                   |            | 3.121                           |                    |              |                  |
| 2002          | 575.545                 |                           | 575.545           |                               |                                   |            |                                 |                    |              | 228.212          |
| 2003          | 690.206                 |                           | 690.206           | NBE-CT-79                     |                                   |            |                                 |                    |              | 273.940          |
| 2004          | 739.658                 |                           | 739.658           |                               |                                   |            |                                 |                    |              | 284.508          |
| 2005          | 786.257                 |                           | 786.257           |                               |                                   |            |                                 |                    |              | 301.973          |
| 2006          | 911.568                 |                           | 911.568           |                               |                                   |            |                                 |                    |              | 277.873          |
| 2007          | 688.851                 |                           | 688.851           |                               | 1.135.042                         | 4%         |                                 |                    |              | 198.772          |
| 2008          | 299.551                 |                           | 299.551           | HE-CTE-2006                   |                                   |            |                                 |                    |              | 124.797          |
| 2009          | 146.640                 |                           | 146.640           |                               |                                   |            |                                 |                    |              | 91.529           |
| No aplica     |                         |                           |                   |                               |                                   |            |                                 | 83.590             | 3.143        |                  |
| <b>Total</b>  |                         |                           | <b>25.661.731</b> |                               |                                   |            | <b>36.366</b>                   | <b>83.590</b>      | <b>3.143</b> | <b>1.781.604</b> |

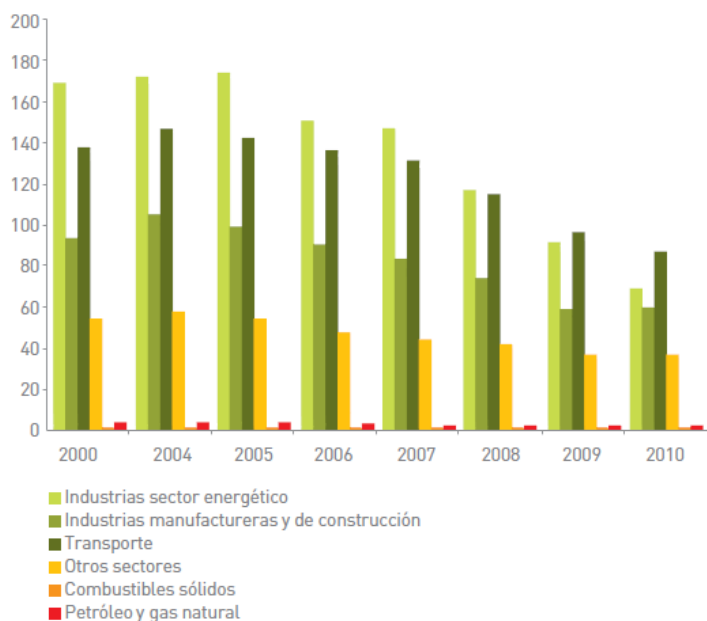
\* Hotel, convento, prisión, instituciones enseñanza, hospitales...

Fig. 28. Relació d'habitatges i any de construcció respecte el cens del 2001. Font: INE (INE, 2013).

Aquest percentatge ens dona una idea sobre l'elevat potencial d'estalvi que tenen els edificis a Espanya. El nou certificat d'eficiència energètica d'edificis existents (document que serà explicat en l'apartat normatives) ajudarà a que els usuaris coneguin més el comportament energètic del seu edifici o habitatge i considerin les dades energètiques i econòmiques sobre les millores que poden realitzar. Segons l'estudi del WWF (World Wide Fund For Nature) de "Rehabilitació Energètica" (2012) ens indica que la inversió per la rehabilitació en Espanya seria retornada el 77% a través de 20 anys d'estalvi energètic, el 8% provinent del valor d'estalvi del CO<sub>2</sub> i el restant 15% de subvencions – més enllà del 2020 s'elimina la necessitat de subvencions directes com a resultats dels estalvis generats. Per tal de complir els reptes plantejats per la Unió europea pel 2050, Espanya ha d'establir una taxa de rehabilitació energètica anual del 1'5% del parc residencial existent, molt més del 0'3 % que actualment es dona (WWF, 2012).

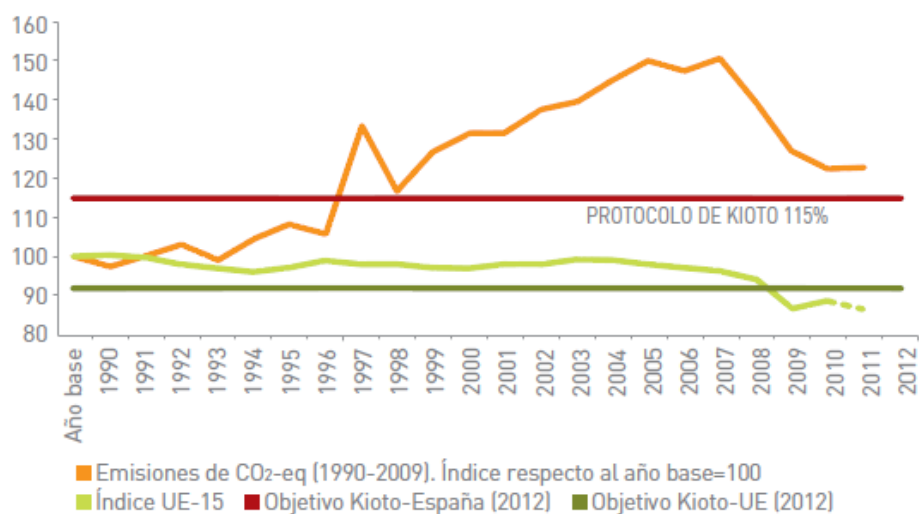
|             | Tasa de rehabilitación (%) |               |  | Programa                                                                                    | Tipo de Inversión                                              |
|-------------|----------------------------|---------------|--|---------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
|             | Actual                     | Objetivo 2020 |  |                                                                                             |                                                                |
| Alemania    | 0,8                        | 2             |  | Mandato Federal y Programas de KfW                                                          | Mezcla Pública / Privada                                       |
| Reino Unido |                            | >2            |  | Programas de Certificación y Green Deal                                                     | Principalmente privada con fuerte apoyo de la política estatal |
| EE.UU.      | 1                          |               |  | Programas estatales de obligación a las suministradoras de energía, Hipotecas Verdes / PACE | Principalmente privada con fuerte apoyo de la política estatal |
| España      | <0,3                       |               |  | Subvenciones Directas                                                                       | Mezcla Pública/ Privada                                        |

Fig. 29. Comparació dels programes de rehabilitació en diferents països. Font: (WWF, 2012).



**Fig. 30. Intensitat de carboni en els principals sectors de processament de l'energia a Espanya (tones de CO<sub>2</sub> eq. / PIB en milions d'euros a preus corrents). 2000-2010. Font: INE (INE, 2013). Elaboració: (OSE, 2012).**

Tal i com es veu en l'anterior gràfica, per la situació econòmica actual, els nivells de CO<sub>2</sub> s'han reduït. Es preveu que ens els propers anys, la producció de CO<sub>2</sub> continuï reduint-se, gràcies a les mesures d'estalvi i eficiència energètica, el major pes de les energies de fonts renovables, i el descens del consum de combustibles fòssils. A més polítiques en línia amb l'Estratègia Europa 2020 i el compliment dels seus objectius (reducció de les emissions de GEH en un 20% respecte l'any 1990, que les energies renovables suposin un 20% del consum total d'energia i un augment de l'eficiència energètica del 20%) disminuiran en gran mesura les emissions dels diferents sectors.



**Fig. 31. Emissions de GEH a Espanya (1990-2011) i la UE (1990-2009). Índex respecte a l'any base (1990 = 100). Font: INE (INE, 2013) i MAGRAMA (MAGRAMA, 2012) i Eurostat (Comissió Europea, 2013). Elaboració: (OSE, 2012).**

Atenent les últimes informacions publicades per MAGRAMA (MAGRAMA, 2012) el 3 de maig de 2012, l'índex de referència per al Protocol de Kyoto és del 122'9% (prenent com a referència els gasos GEH de l'any 1990).

Segons l'estudi realitzat per l'IDAE sobre el consum energètic del sector residencial en Espanya 'PROYECTO SECH-SPAHOUSEC' (IDAE, 2011), la calefacció és el servei de major consum, els electrodomèstics són el servei que més electricitat demanda i els habitatges unifamiliars consumeixen dues vegades més que els habitatges en blocs de pisos.

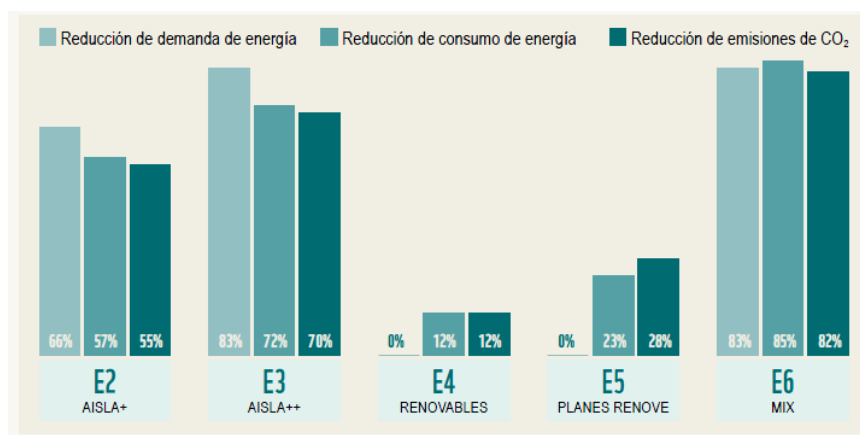


Fig. 32. Possibles reduccions segons l'actuació realitzada. E2=aïllament pel compliment del CTE – E3=aïllament amb Standard PassivHaus – E4= incorporació energies renovables - E5= renovació d'equips - E6= combinació E3+E4+E5. Font: (WWF, 2012).

En l'estudi realitzat pel WWF, utilitzant l'eina informàtica LIDER (Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja.CSIC, 2010), descrita per HE1 del CTE, junt amb el programa CALENER (IDAE, 2013), de classificació energètica dels edificis, es pot veure clarament que una millora en l'aïllament tèrmic combinat amb el manteniment del sistema de climatització i utilització d'energies renovables comportaria un estalvi del 82% d'emissions de CO<sub>2</sub> davant de la situació E1 inicial (habitatge sense reformar). L'estudi conclou que per una llar mitja de 81 m<sup>2</sup> la recuperació per intervenció d'aïllament E2 i E3 seria de 10-11 anys i si es realitza una rehabilitació complerta E6 seria de 29 anys.

### Estructura de Consumo según Usos Energéticos

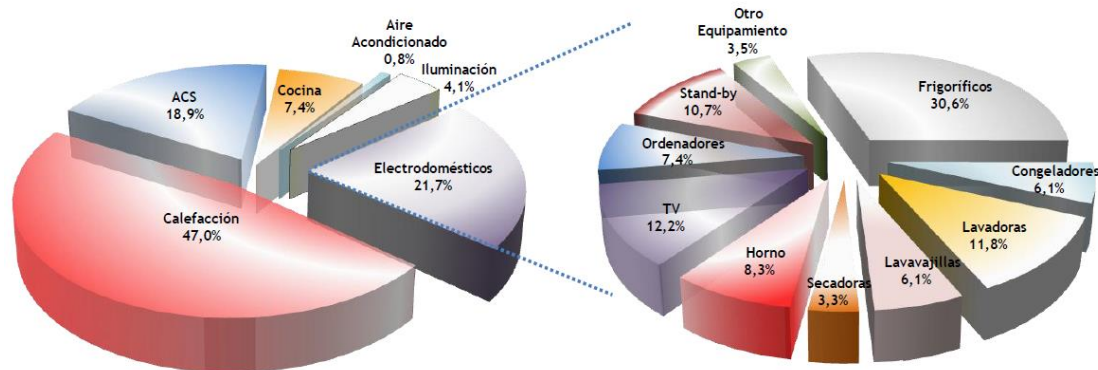
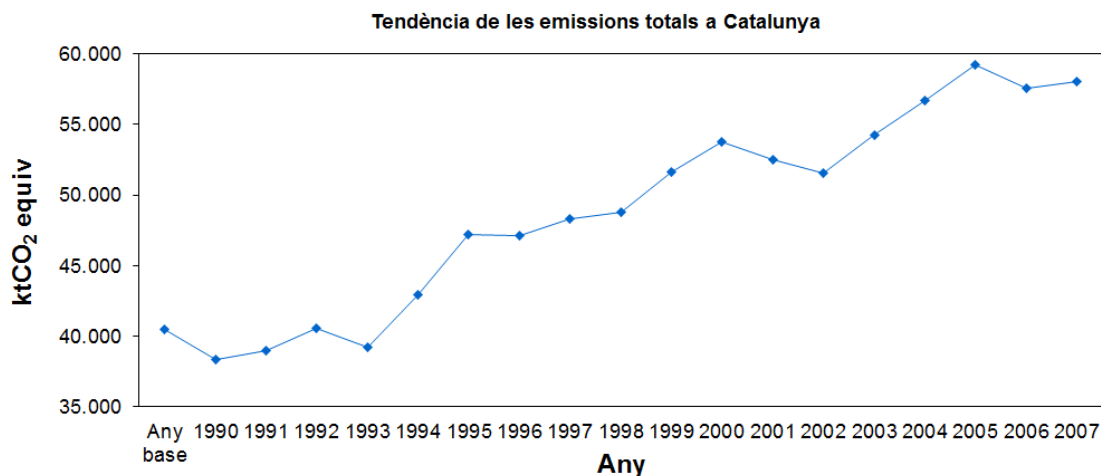


Fig. 33. Consums segons usos energètics. Font: Proyecto SECH-SPAHOUSEC (IDAE, 2011).

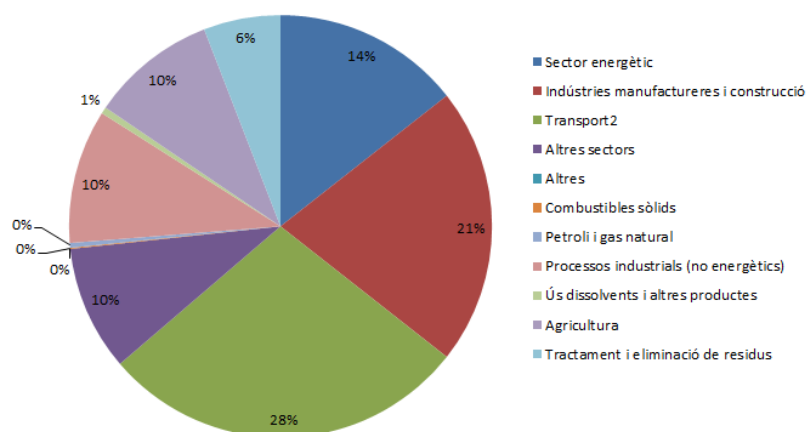


**Fig. 34. Tendència de les emissions totals de CO<sub>2</sub> a Catalunya. Font: IDESCAT (IDESCAT, 2013). Elaboració pròpia.**

Finalment, anomenar que recentment, d'abril de 2013, s'ha publicat el "Plan estatal de fomento del alquiler de viviendas, la rehabilitación edificatoria, la regeneración y renovación urbanas, 2013-2016" (Ministeri de Foment, 2013), amb la intenció de reactivar les ajudes necessàries per portar a terme les obres de rehabilitació en el parc edificat en l'estat espanyol.

A nivell nacional català, per tal de continuar reduint les emissions de CO<sub>2</sub> i millorar l'estalvi energètic trobem, principalment, el "Pla Estratègic d'Energia 2012-20" (ICAEN, 2012), amb l'objectiu de detallar les estratègies de la política energètica catalana a l'horitzó de l'any 2020, contemplat la mitigació de gasos GEH's; sempre sota el marc de referència dels objectius europeus del 20-20-20 per l'any 2020.

#### Percentatge d'Emissions de CO<sub>2</sub> per sectors a Catalunya (2007)



**Fig. 35. Percentatge d'emissions de CO<sub>2</sub> per sectors a Catalunya. Font: IDESCAT (IDESCAT, 2013). Elaboració pròpia.**

En aquest context, el Departament de Territori i Sostenibilitat Generalitat de Catalunya, lidera el projecte MARIE (MED, 2012), iniciat el 1 d'abril de 2011, en el marc del programa MED de Cooperació Territorial Europeu Mediterrani 2007-2013. L'objectiu és definir una estratègia per a la millora de l'eficiència energètica en el parc d'edificis del Mediterrani. Els treballs del projecte estan permetent radiografiar el parc edificat de Catalunya i avaluar, de forma global, l'impacte de diferents escenaris en termes d'energia final.

*Anotar que les dades anteriors nacionals exposades en aquest apartat es basen en el cens de població i habitatge, que es va realitzar el 2001 a través del Instituto Nacional de Estadística. El nou cens del 2011 de població i habitatge realitzat encara s'ha de publicar -segon trimestre 2013: taules relatives a edificis i habitatges - (INE, 2013). Per tant, les dades exposades a continuació poden patir variacions relatives.*

### **6.2.2. Característiques parc edificat existent (cens 2001)**

A partir del cens del 2001 de població i habitatge, s'han realitzats varis estudis que determinen, entre d'altres, les tipologies dels habitatges existents del parc edificat espanyol i nacional català i determinar l'equipament interior dels habitatges. Entre aquests informes cal destacar el 'PROYECTO SECH-SPAHOUSEC. Análisis del consumo del Sector Residencial en España' (IDAE, 2011), 'Una visión-país para el Sector de la Edificación en España. Hoja de Ruta para un Nuevo Sector de la Vivienda' (Cuchí A., Sweatman P., 2011) i a l'àmbit català 'La contribució de l'habitatge de Catalunya a la reducció d'emissions de gasos amb efecte d'hivernacle' (Garrido N., Casado I., 2006).

*Anotar que el cens del 2011 de població i habitatge realitzat, encara s'ha de publicar -segon trimestre 2013: taules relatives a edificis i habitatges - (INE, 2013). Per tant, les dades exposades a continuació poden patir variacions relatives.*

*Sota el projecte estratègic "Mediterranean Building: Rethinking for Energy Efficiency Improvement (MARIE)" (MED, 2012) , iniciat l'Abril de 2011 i en el marc del programa de Cooperació Territorial Europea Mediterrani 2007-2013, s'estan desenvolupant els treballs per caracteritzar un nou parc existent d'edificis d'habitatges de Catalunya i definir les tipologies més representatives, que, en una segona fase, es desenvoluparà el paquet de mesures òptimes, mitjançant simulació per ordinador, per la millora de l'eficiència energètica amb la seva avaluació econòmica (on el present autor prendrà part).*

La normativa referent a la "Avaluació de la sostenibilitat dels edificis. Marc general" (UNE-EN 15643-1:2012), ens defineix la informació general necessària de l'edifici que cal atendre per la realització de l'avaluació i característiques a anotar de la tipologia d'estudi.

- a) **L'equivalent funcional** d'un edifici com el marc general base per poder comparar edificacions entre si, atenent les avaluacions ambientals, econòmics i socials individuals per a cada una de les dimensions. L'equivalent funcional d'un edifici o un sistema (part de l'obra) ha d'incloure informació sobre els següents aspectes, encara que no es limita a ells <sup>1</sup>:
- La tipologia de l'edifici (per exemple, una oficina, fàbrica, etc.);
  - El perfil d'ús (per exemple, grau d'ocupació);
  - Els requisits tècnics i funcionals pertinents (per exemple, el marc reglamentari i els requisits específics del client);
  - La vida útil requerida.
- b) Període de referència d'estudi
- c) Altres informacions
- Tipologia d'estructura
  - Any de posada en servei
  - Any(s) de renovació
  - Per a cada àrea operativa:
    - Nombre d'ocupants de l'edifici
    - Programa d'ocupació
    - Calefacció, refrigeració, ventilació i sistema d'aigua calenta de servei
    - Sistema d'il·luminació
    - Potència i sistemes de comunicació

### 6.2.3. Tipologies d'habitatges

#### **Projecte SECH-SPAHOUSEC**

Projecte desenvolupat per l'IDAE i presentat el 16 de juliol de 2011, amb l'objectiu bàsic d'avaluar, a nivell nacional espanyol, els impactes associats a les necessitats energètiques, de la societat en general i del sector residencial en particular.

Per la realització de l'estudi, les principals fonts utilitzades, van ser:

- Cens de la població i habitatge 2001.
- Enquestes de Pressupostos Familiars (EPF).
- Enquestes de Condicions de Vida (ECN).
- Enquestes de Llars i Medi Ambient.
- Enquestes de Llars sobre l'Equipament i ús de Tecnologies TIC.

Es va dividir Espanya en tres zones climàtiques, d'acord amb les temperatures mitjanes màximes, mitges i mínimes:

- Atlàntic Nord
- Continental
- Mediterrani

---

<sup>1</sup> Pot ser apropiat incloure en la informació de l'equivalent funcional altres requisits específics i l'exposició als factors meteorològics i altres condicions de l'entorn.

Amb relació als tipus d'habitatges, s'ha dividit el parc en.

- Habitatges unifamiliars
- Habitatges en bloc

Els anys de construcció, es classifica en tres èpoques:

- Anterior a 1979
- Entre 1979 i 2005
- De 2006 en endavant



Fig. 36. Zones climàtiques determinades en l'estudi realitzat per l'IDAE 'SpaHouSEC'. Font: (IDAE, 2011).

El 70% de les llars espanyoles viu en blocs. La llar mitja té 8 estàncies, incloent zona de sanitaris i cuina, essent lleugerament superior en habitatges unifamiliars, sobretot en zones Continentals i Mediterrània. La mitjana d'habitatge de bloc és de 102,4 m<sup>2</sup> i per unifamiliars és de 140,2 m<sup>2</sup>. Hi ha un 44% d'habitatges anteriors al 1979 i un 49% d'habitatges entre 1979 i 2005 i només un 7% construït després del 2006 (IDAE, 2011).

|                     |                     |              | Tamaño del Hábitat |                 |                  |          |
|---------------------|---------------------|--------------|--------------------|-----------------|------------------|----------|
|                     |                     |              | < 10000            | 10.000 - 49.999 | 50.000 - 199.999 | ≥200.000 |
| Año de construcción | Anterior a 1979     | TOTAL ESPAÑA | 31                 | 35              | 42               | 64       |
|                     | Entre 1979 y 2005   |              | 60                 | 57              | 50               | 34       |
|                     | De 2006 en adelante |              | 57                 | 8               | 8                | 2        |

Base: Total hogares 2010 (17.199.630)

Fig. 37. Llars espanyoles segons antiguitat de l'habitatge i mida del hàbitat. Font: Projecte SECH- SPAHOUSEC (IDAE, 2011).

## **UNA VISIÓN-PAÍS PARA EL SECTOR DE LA EDIFICACIÓN EN ESPAÑA**

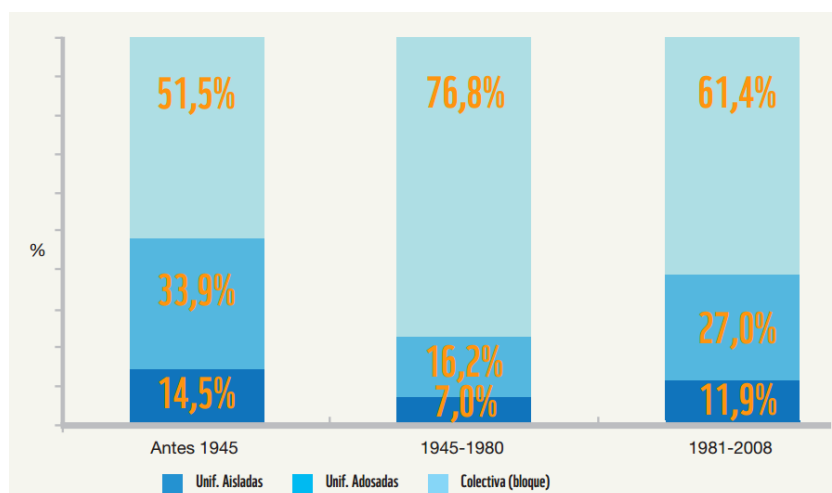
Projecte desenvolupat pel grup de treball GTR (Grupo de Trabajo sobre Rehabilitación), amb principals autors A. Cuchí i P. Sweatman, coordinat per GBCe España i la Fundación CONAMA. Va ser presentat el novembre de 2011.

Per la realització de l'estudi, les principals fonts utilitzades, van ser:

- Cens de la població i habitatge 2001.
- Estudi-informe 2010 del WWF "Ahorro Energético y de Reducción de Emisiones de CO2 del Parque Residencial existente en España en 2020 (WWF, 2010).

A mode de resum, el informe ens diu que (Cuchí A., Sweatman P., 2011, págs. 27-28):

- A prop de un 60% del total d'habitatges van ser construïts abans del 1980, fa més de 30 anys.
- Dels habitatges registrats en el cens del 2001, més del 40% es troben en mitja rural, en nuclis de població de menys de 10.000 habitants.
- Les edificacions residencials de 1 a 3 plantes sumen més del 90% dels edificis construïts en aqueles dates i suposen més del 45% del total d'habitatges d'aquest parc construït.
- Més de la meitat dels habitatges 33 d'aquest parc es concentra en menys d'un 10% d'edificis que acullen cada un 5 o més habitatges
- Segons el cens del 2001, la meitat dels habitatges principals no disposaven d'instal·lació fixa de calefacció i prop del 15% de les llars no escalfaven de cap manera el seu habitatge principal. En aquesta data, fins el 46% de les llars espanyoles van usar l'electricitat com a energia per escalfar seu habitatge



**Fig. 38. Distribució dels habitatges per data construïda i per tipus. Font: INE (2001).**

Per identificar el parc edificat, es divideixen els 15 milions d'habitatges (74% dels 20 milions d'habitatges construïts abans del 2001) en 10 *hotspots*; dels quals, 10'5 milions son habitatges principals (75% dels habitatges principals construïts abans del 2001 i el 65% dels habitatges principals estimats per el 2011).

| Número de viviendas principales, según año de construcción, número de viviendas en el edificio, dimensión del núcleo de población y plantas sobre rasante del edificio |                       |                       |                    |             |                      |                    |             |                 |  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------|-------------|----------------------|--------------------|-------------|-----------------|--|
| Año de construcción                                                                                                                                                    | Plantas sobre rasante | 1                     |                    |             | ≥ 2                  |                    |             | Nº de viviendas |  |
|                                                                                                                                                                        |                       | Dimensión del núcleo  |                    |             | Dimensión del núcleo |                    |             |                 |  |
|                                                                                                                                                                        |                       | < 10.000 h            | 10.000 - 100.000 h | > 100.000 h | < 10.000 h           | 10.000 - 100.000 h | > 100.000 h |                 |  |
| < 1960                                                                                                                                                                 | 1 - 3                 | 1.257.020             | 269.136            | 118.483     | 301.546              | 177.826            | 148.985     | A               |  |
|                                                                                                                                                                        | ≥ 4                   | 593                   | 428                | 356         | 135.609              | 584.999            | 1.114.148   | B               |  |
| 1960 - 1980                                                                                                                                                            | 1 - 3                 | 854.358               | 251.277            | 67.753      | 358.810              | 211.585            | 97.215      | C               |  |
|                                                                                                                                                                        | ≥ 4                   | 859                   | 527                | 388         | 406.082              | 1.281.739          | 2.577.719   | D - E - F       |  |
| 1981 - 2001                                                                                                                                                            | 1 - 3                 | 1.125.581             | 358.603            | 101.816     | 402.281              | 252.208            | 87.126      | G - H           |  |
|                                                                                                                                                                        | ≥ 4                   | 1.479                 | 1.272              | 1.131       | 281.421              | 668.325            | 869.166     | I - J           |  |
| Año de construcción                                                                                                                                                    |                       | Plantas sobre rasante |                    |             |                      |                    |             | Hotspots        |  |

Fuente y año de referencia: Censo de Población y Viviendas 2001.

| Características y cuantificación de los Hotspots |            |             |             |             |                    |             |             |             |                    |             |            |
|--------------------------------------------------|------------|-------------|-------------|-------------|--------------------|-------------|-------------|-------------|--------------------|-------------|------------|
| Nº de viviendas                                  | A          | B           | C           | D           | E                  | F           | G           | H           | I                  | J           |            |
|                                                  | 1          | ≥ 2         | 1           | ≥ 2         | ≥ 2                | ≥ 2         | 1           | ≥ 2         | ≥ 2                | ≥ 2         |            |
|                                                  | < 10.000 h | > 100.000 h | < 10.000 h  | < 10.000 h  | 10.000 - 100.000 h | > 100.000 h | < 10.000 h  | < 10.000 h  | 10.000 - 100.000 h | > 100.000 h |            |
|                                                  | < 1960     | < 1960      | 1960 - 1980 | 1960 - 1980 | 1960 - 1980        | 1960 - 1980 | 1981 - 2001 | 1981 - 2001 | 1981 - 2001        | 1981 - 2001 |            |
|                                                  | 1 - 3      | ≥ 4         | 1 - 3       | ≥ 4         | ≥ 4                | ≥ 4         | 1 - 3       | 1 - 3       | ≥ 4                | ≥ 4         |            |
| Viviendas                                        | A          | B           | C           | D           | E                  | F           | G           | H           | I                  | J           | Hotspot    |
|                                                  | 2.156.985  | 1.465.122   | 1.459.205   | 766.716     | 1.756.877          | 3.179.425   | 1.692.560   | 767.666     | 991.864            | 1.142.192   | 15.558.608 |
|                                                  | 10,54%     | 7,02%       | 7,00%       | 3,68%       | 8,53%              | 15,24%      | 8,11%       | 3,68%       | 4,75%              | 5,48%       | 73,63%     |
|                                                  | A          | B           | C           | D           | E                  | F           | G           | H           | I                  | J           | Hotspot    |
|                                                  | 1.257.020  | 1.114.148   | 854.358     | 406.082     | 1.281.739          | 2.577.719   | 1.125.581   | 402.281     | 668.325            | 869.166     | 10.554.419 |
|                                                  | 8,90%      | 7,89%       | 5,91%       | 2,87%       | 9,07%              | 18,25%      | 7,95%       | 2,85%       | 4,73%              | 6,15%       | 74,58%     |
| Sup. Útil viv. principales                       | 128.827    | 90.064      | 88.032      | 35.165      | 109.569            | 212.227     | 132.157     | 39.818      | 59.979             | 75.954      | 971.572    |
|                                                  | 9,78%      | 6,83%       | 6,68%       | 2,67%       | 8,30%              | 16,11%      | 10,03%      | 3,02%       | 4,55%              | 5,76%       | 73,73%     |
| Ocupación viv. principales (Miles de m²)         | 5.246.499  | 2.826.981   | 2.495.956   | 1.177.854   | 3.774.334          | 7.505.099   | 3.542.961   | 1.158.445   | 1.968.929          | 2.559.511   | 30.016.529 |
|                                                  | 8,03%      | 6,99%       | 6,17%       | 2,91%       | 9,34%              | 18,07%      | 8,76%       | 2,82%       | 4,87%              | 6,28%       | 74,26%     |
| Edificios                                        | 2.158.288  | 113.552     | 1.460.097   | 62.026      | 123.478            | 174.242     | 1.693.465   | 216.053     | 74.678             | 73.639      | 6.149.518  |
|                                                  | 25,03%     | 1,32%       | 16,95%      | 0,72%       | 1,43%              | 2,02%       | 19,64%      | 2,51%       | 0,87%              | 0,85%       | 71,51%     |
|                                                  |            |             |             |             |                    |             |             |             |                    |             | Spain      |
|                                                  |            |             |             |             |                    |             |             |             |                    |             | 20.859.821 |
|                                                  |            |             |             |             |                    |             |             |             |                    |             | 100%       |
|                                                  |            |             |             |             |                    |             |             |             |                    |             | 14.125.848 |
|                                                  |            |             |             |             |                    |             |             |             |                    |             | 100%       |

Fig. 39. Identificació dels 10 *hotspots* - varies distribucions. Font: (Cuchí A., Sweatman P., 2011).

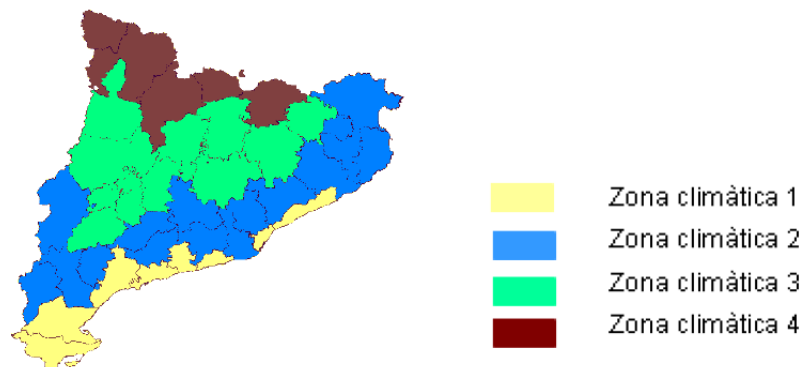
## **LA CONTRIBUCIÓ DE L'HABITATGE DE CATALUNYA A LA REDUCCIÓ D'EMISSIONS DE GASOS AMB EFECTE D'HIVERNACLE.**

Projecte desenvolupat per el Institut Cerdà, encarregat a la doctora Núria Garrido i Immaculada Casado Martínez (arquitecta tècnica) i presentat el gener de 2006.

Per la realització de l'estudi, les principals fonts utilitzades, van ser:

- Cens de la població i habitatge 2001 (IDESCAT,2010). Classificació en funció de 2 paràmetres: període constructiu i tipus d'ús, introduint, en el període constructiu, els dos talls importants de la normativa en edificació, que han suposat les normes NBE-CT-79 i NRE-AT-87. A les tipologies més actuals post-normativa 87, cal afegir el número d'habitatges unifamiliar i plurifamiliar construïts en el període 2001 – 2005.(IDESCAT, 2010).

La distribució de les zones climàtiques corresponen a les quatre zones climàtiques definides a la normativa catalana sobre l'aïllament tèrmic (Generalitat de Catalunya, 1987), segons la nova zonificació definida pel CTE.



**Fig. 40. Zones climàtiques. Font: Institut Cerdà (Garrido N., Casado I., 2006).**

El 60% dels habitatges, a Catalunya, es van construir durant l'època 1940-1980, abans de l'entrada en vigor de la normativa NTE-79. Per altra banda, el 75% dels habitatges residencials són plurifamiliars.

Es comprova que menys del 35 % d'edificis, segueixen algun tipus de normativa tèrmica, moltes vegades qüestionable.

*NOTA: les tipologies han sigut definides mitjançant sistema Lider-Calener*

| Tipologia                       | Zona Climàtica (nº habitatges ) |               |               |              | m² / habitatge | Total            |
|---------------------------------|---------------------------------|---------------|---------------|--------------|----------------|------------------|
|                                 | ZC 1                            | ZC 2          | ZC 3          | ZC 4         |                |                  |
| T1 Casa rural pre-guerra        | 26.425                          | 46.993        | 23.894        | 0            | 115            | 97.312           |
| T2 Casc antic fins 40           | 85.474                          | 61.215        | 24.949        | 0            | 60             | 171.638          |
| T3 Eixample 40                  | 103.809                         | 0             | 0             | 0            | 100            | 103.809          |
| T4 Casa post guerra             | 53.585                          | 124.399       | 37.993        | 0            | 108            | 215.977          |
| T5 Casa muntanya                | 0                               | 0             | 0             | 10.982       | 112            | 10.982           |
| T6 Postguerra ciutat            | 701.032                         | 421.780       | 48.777        | 0            | 80             | 1.171.589        |
| T7 Edificis habitatges muntanya | 0                               | 0             | 0             | 17.951       | 91             | 17.951           |
| T8 Adossada post 79             | 20.832                          | 46.950        | 10.398        | 0            | 124            | 78.180           |
| T9A Post 79                     | 2.768                           | 3.232         | 580           | 0            | 92             | 6.580            |
| T9M Post 79                     | 52.590                          | 61.406        | 11.024        | 0            | 92             | 125.020          |
| T10 Adossada post 87            | 65.602                          | 76.798        | 20.762        | 0            | 129            | 163.162          |
| T11A Post 87                    | 12.050                          | 7.569         | 1.392         | 0            | 90             | 21.011           |
| T11M Post 87                    | 228.959                         | 143.824       | 26.433        | 0            | 90             | 399.216          |
| <b>TOTAL</b>                    | <b>1.353.126</b>                | <b>994166</b> | <b>206202</b> | <b>28933</b> |                | <b>2.582.427</b> |

Fig. 41. Classificació i distribució de les tipologies d'edificis segons la zona climàtica. Font: Institut Cerdà (Garrido, 2010, pág. 91).

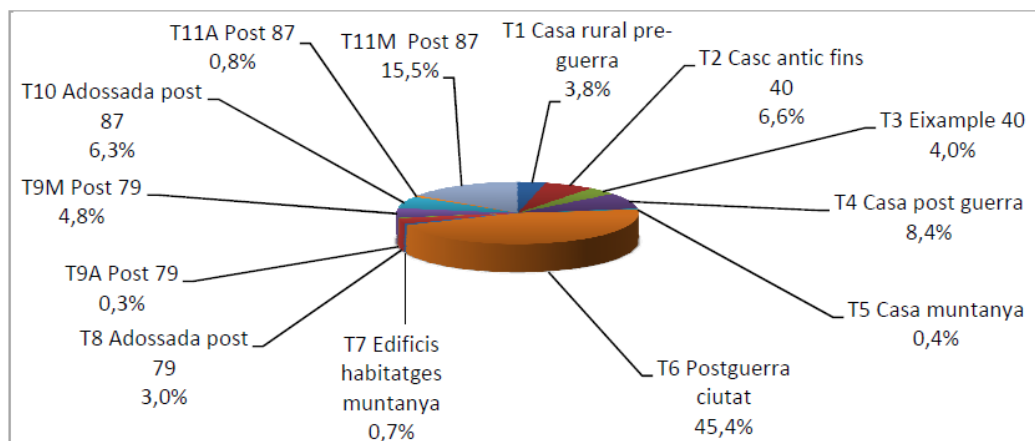


Fig. 42. Distribució en % de les tipologies d'habitatges a Catalunya. Font: Institut Cerdà (Garrido N., Casado I., 2006).

## PROJECTE TABULA

Projecte europeu que pertany al programa *Intelligent Energy Europe*, l'objectiu del qual es crear una estructura harmonitzada de tipologies en l'edificació a nivell europeu, basat en els paràmetres que afecten l'eficiència energètica del edificis. El projecte es centra en edificis residencials (Intelligent Energy Europe, 2013).



Fig. 43. Definició de tipologies en l'edificació. Font: Projecte TABULA (Intelligent Energy Europe, 2013).

Mitjançant web, per a cada tipologia es defineixen l'estudi de propietats tèrmiques de cada tipus, mesures adequades d'estalvi i potencials d'estalvi energètic

#### 6.2.4. Mesures per la rehabilitació energètica

Dins de les possibilitats existents en la rehabilitació, es plantegen diferents opcions, analitzant quins són aquells punts de l'edificació més eficaços per ser rehabilitats, per treure un factor de retorn econòmic el més aviat possible i amb capacitat d'estalvi energètic major (càlculs realitzats amb el software informàtic Lider i Calener).

|            | Ventana | Cubierta | Fachada | Forjado | Tabique | Medianera | Solera |
|------------|---------|----------|---------|---------|---------|-----------|--------|
| EEC        | 7,34    | 6,52     | 4,77    | 3,51    | 0,63    | 0,46      | 0,03   |
| Puntuación | 10      | 8,9      | 6,5     | 4,8     | 0,8     | 0,6       | 0      |

Fig. 44. Priorització de mesures en actuació per la rehabilitació a nivell de Catalunya. Font: Tesi doctoral Núria Garrido (Garrido, 2010).

Analitzant els processos a nivell d'Espanya, i atenent els sistemes actius (climatització activa de calefacció, refrigeració i aigua calenta sanitària) i les instal·lacions (electrodomèstics, cuina i il·luminació), es consideren els següents possibles estalvis energètics:

| Consumo energético medio por vivienda        |      | Posibles ahorros parciales                  |      | Valoración en el total |
|----------------------------------------------|------|---------------------------------------------|------|------------------------|
| CLIMATIZACIÓN<br>(Calefacción+refrigeración) | 49 % | Aislamiento muros y cubierta                | 18 % | 17,64 %                |
|                                              |      | Mejora de carpintería y vidrios             | 18 % |                        |
|                                              |      | TOTAL                                       | 36 % |                        |
| ILUMINACIÓN                                  | 8 %  | Sistemas de bajo consumo                    | 25 % | 2,00 %                 |
| COCINA                                       | 10 % |                                             | -    | -                      |
| ELECTRODOMÉSTICOS                            | 12 % | Eficiencia energética (etiqueta energética) | 10 % | 1,20 %                 |
| AGUA CALIENTE                                | 20 % | Placa solares                               | 50 % | 10,00 %                |
| AGUA (TRANSPORTE)                            | 1 %  | Ahorro en consumo de griferías              | 20 % | 0,20 %                 |

**Fig. 45. Percentatges de possibles estalvis en rehabilitació energètica d'edificis.** Font: Ponència SB10mad. Metodologia per l'avaluació pel programa d'ajudes a les actuacions de rehabilitació per la millora de la sostenibilitat i eficiència energètica de les edificacions.

Amb l'objectiu de realitzar un estudi de cas concret, representatiu per la zona de Catalunya, edifici de pb + 4 (tipologia de la postguerra), i amb la idea de realitzar una rehabilitació energètica que vagi més enllà del compliment del CTE i aplicant una sèrie de mesures possibles que es poden donar en un cas pràctic, es pot anomenar el informe realitzat pel grup de InnoCons (*en el qual he tingut el plaer de participar-hi com a membre desenvolupador del projecte*), grup de treball creatiu d'Eficiència Energètica; sota el nom "Eficiencia energética en la rehabilitación de edificios" (InnoCons, 2012). Les actuacions simulades (mitjançant el motor de càlcul EnergyPlus), conjuntament amb les seves implicacions, es resumeixen en la següent taula:

**Taula 1. Resum dels resultats – Orientació SE-NO. Percentatges de possibles estalvis en rehabilitació energètica d'edificis.** Font: Informe Eficiencia Energética en la Rehabilitación d'edificios del grup de InnoCons (InnoCons, 2012).

| Propuestas de Intervención             | Caso     | Variación relativa (%)<br>(+ es ahorro energético<br>- es incremento del consumo) |               |         | Sobrecoste de inversión<br>(€/m2) | Periodo de retorno del sobrecoste<br>(años) |
|----------------------------------------|----------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------|---------|-----------------------------------|---------------------------------------------|
|                                        |          | Calefacción                                                                       | Refrigeración | Total   | Incremento parte "Energética"     | Incremento parte "Energética"               |
| Edificio situación inicial             | Caso 0   | (--)                                                                              | (--)          | (--)    | (--)                              | (--)                                        |
| Aislamiento registros persiana         | Caso 1   | 6,18%                                                                             | 3,21%         | 9,39%   | 0,43                              | <b>1,45</b>                                 |
| Aislamiento Cubierta                   | Caso 2   | 16,23%                                                                            | 14,48%        | 30,71%  | -0,82                             | <b>-1,01</b>                                |
| Aislamiento Medianera                  | Caso 3   | 6,16%                                                                             | 6,13%         | 12,30%  | 2,50                              | <b>7,99</b>                                 |
| Aislamiento Patios                     | Caso 4   | 13,37%                                                                            | 6,06%         | 19,43%  | 7,91                              | <b>12,45</b>                                |
| Sustitución ventanas 4-6-4             | Caso 5   | 24,62%                                                                            | 5,34%         | 29,96%  | 15,75                             | <b>13,87</b>                                |
| Sustitución ventanas 4-12-4            | Caso 5.1 | 26,21%                                                                            | 4,42%         | 30,63%  | 15,96                             | <b>13,28</b>                                |
| Sustitución ventanas 4-12-4 BE         | Caso 5.2 | 27,94%                                                                            | 9,57%         | 37,50%  | 17,10                             | <b>13,06</b>                                |
| Aislamiento fachada relleno de camaras | Caso 6   | 9,38%                                                                             | 3,14%         | 12,52%  | 9,23                              | <b>21,01</b>                                |
| Aislamiento de fachadas trasdosados    | Caso 7   | 10,31%                                                                            | 2,40%         | 12,72%  | 9,56                              | <b>20,03</b>                                |
| Aislamiento de fachadas ETICS          | Caso 8   | 7,53%                                                                             | 7,69%         | 15,22%  | 13,11                             | <b>34,25</b>                                |
| Aislamiento fachada , F. ventilada     | Caso 9   | 13,05%                                                                            | 9,64%         | 22,70%  | 36,11                             | <b>56,22</b>                                |
| Estanqueidad al aire                   | Caso 10  | 10,32%                                                                            | 0,09%         | 10,41%  | 0,74                              | <b>1,58</b>                                 |
| Rehabilitación integral                | Caso 11  | 81,73%                                                                            | 43,59%        | 125,32% | <b>39,62</b>                      | <b>10,10</b>                                |
| Eliminación protección solar           | Caso -1  | 0,00%                                                                             | -16,43%       | -16,43% | 0,55                              | <b>-5,74</b>                                |

Com es pot observar, en el cas 11, proposta de rehabilitació integral de l'edifici, aplicant de forma conjunta l'aïllament de persianes (cas 1) + aïllament de coberta (cas 2) + aïllament en la mitgera (cas 3) + aïllament en els patis interiors (cas 4) + substitució de finestres 4-12-4 (cas 5.2) + millora estanquitat de l'aire (cas 10); és la solució que presenta un major estalvi energètic (més del 75%). Tot i que hi ha un sobrecost de 39'62 €/m<sup>2</sup>, aquesta inversió s'amortitza en uns 10 anys gràcies als estalvis energètics, que es veurien reduïts dràsticament si s'hagués tingut en compte l'increment del cost de l'energia i la devaluació del valor de la moneda; per tant és una conclusió molt conservadora).

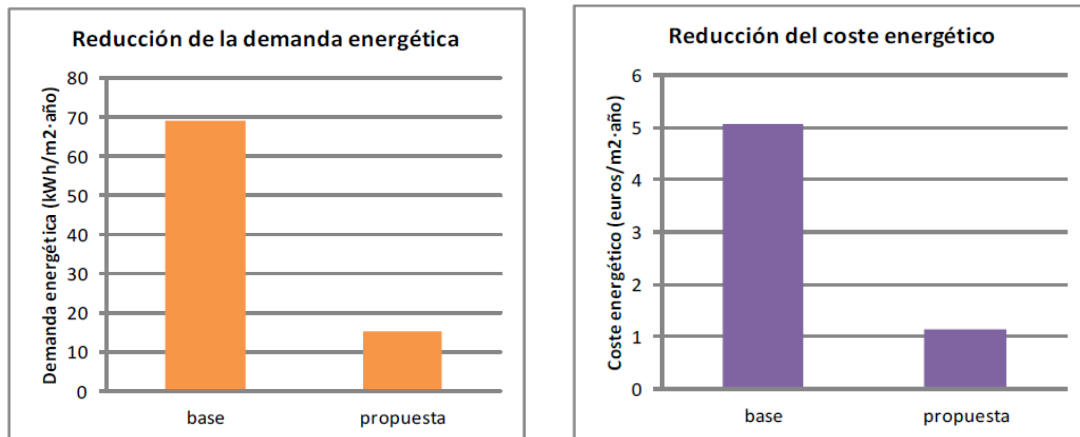


Fig. 46. Reducció de la demanda i cost energètic amb comparació amb l'edifici base. Font: Informe Eficiència Energètica en la Rehabilitació d'edificis del grup de InnoCons (InnoCons, 2012).

Cal destacar diverses guies on recomanen metodologies d'actuació per tal de portar a terme una rehabilitació sostenible, com ara la "Guía de edificación y rehabilitación sostenible para la vivienda" del País Vasco (Gobierno Vasco, 2011); la qual es presenta en format de fitxes bàsiques que serveixen de guia pel tècnic per ser aplicades en els diferents moments de la rehabilitació. En la "Guía de Rehabilitación Energética de Edificios de viviendas" (Comunidad de Madrid, 2008), en la "Guía de la renovación energética de edificios d'habitatges. Envolupant tèrmica i instal·lacions" (Departament de Medi Ambient i Habitatge, 2010) o en el "Catálogo de soluciones constructivas de rehabilitación" (Institut Valencià de l'edificació, 2011), podem trobar un conjunt de detalls constructius energètics que es proposen per donar solució a les diferents parts de l'envolupant de l'edifici. En la "Guía de recomendaciones de eficiencia energética; certificación de edificios existentes CE3" (IDAE, 2012) es proposa un seguit de recomanacions de solucions constructives i mètodes constructius (amb especial atenció a la posada en obra).

| HOJA PRINCIPAL DE FÁBRICA |                        | SIN AISLANTE                 |  |         |  |                              |  |         |  |                              |  | CON AISLANTE INTERMEDIO      |  |                              |  |                              |  |
|---------------------------|------------------------|------------------------------|--|---------|--|------------------------------|--|---------|--|------------------------------|--|------------------------------|--|------------------------------|--|------------------------------|--|
|                           |                        | Sin cámara de aire ventilada |  |         |  | Con cámara de aire ventilada |  |         |  |                              |  | Sin cámara de aire ventilada |  | Con cámara de aire ventilada |  |                              |  |
|                           |                        | 1 hoja                       |  | 2 hojas |  | Exterior a la hoja principal |  |         |  | Interior a la hoja principal |  | 2 hojas                      |  | Exterior a la hoja principal |  | Interior a la hoja principal |  |
|                           |                        |                              |  |         |  | 1 hoja                       |  | 2 hojas |  | 2 hojas                      |  |                              |  |                              |  |                              |  |
|                           |                        |                              |  |         |  |                              |  |         |  |                              |  |                              |  |                              |  |                              |  |
| VISTA                     | REVESTIMIENTO CONTINUO | REVESTIMIENTO DISCONTINUO    |  |         |  |                              |  |         |  |                              |  |                              |  |                              |  |                              |  |
|                           |                        |                              |  |         |  |                              |  |         |  |                              |  |                              |  |                              |  |                              |  |
|                           |                        |                              |  |         |  |                              |  |         |  |                              |  |                              |  |                              |  |                              |  |

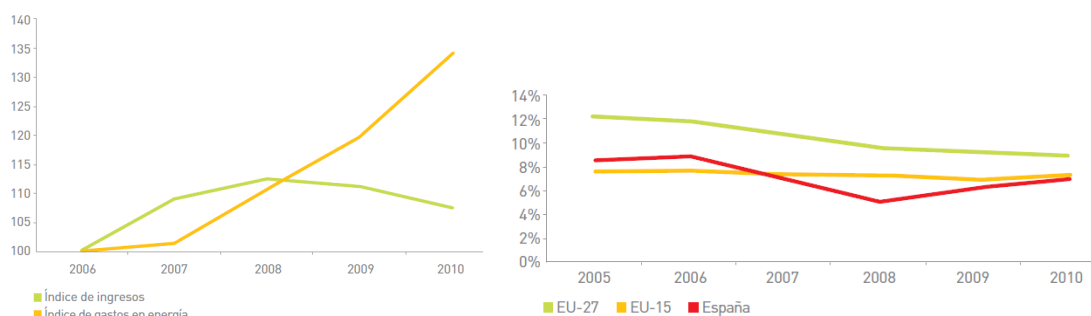
Fig. 47. Imatge de la classificació de tipologies constructives. Font Catálogo de soluciones constructivas de rehabilitación (Instituto Valenciano de la Edificación, 2011).

Per altra banda, s'han portat a terme varis projectes, finançats per subvencions europees i nacionals, per monitoritzar, avaluar i rehabilitar edificis existents i posar a la pràctica aquelles mesures considerades òptimes comprovar la seva eficàcia real. En aquest àmbit, es pot destacar el projecte Rehabitat (Viviendas municipales de Bilbao, 2009), PDEHU (Fundación La casa que ahorra, 2012), Rehenergia (Instituto Cerdà, 2008), i el projecte Reconsost (Grup de Termotècnia de Sevilla i el IETCC, 2006-2008).

### 6.2.5. Pobresa energètica

Concepte, que a causa de la crisi, comença a sentir-se en el mitjans de comunicació i l'àmbit professional i recerca, tot i que moltes vegades passa pràcticament invisible per les administracions públiques, el podem trobar amb múltiples definicions (OSE, 2012, pág. 296); tot i que, l'Observatori Sostenible d'Espanya, pren la següent:

“La taxa de pobresa energètica es defineix com el percentatge de llars obligats a destinar una part excessiva dels seus ingressos a pagar la factura energètica del seu habitatge i / o incapaços de pagar una quantitat d'energia suficient per a la satisfacció de les seves necessitats domèstiques. Aquesta mesura es refereix exclusivament a la despesa d'energia a la llar (calefacció, refrigeració, il·luminació, cuina, aigua calenta, electrodomèstics, etc.) Però sense incloure la compra de combustible per a vehicles o d'energia per a qualsevol altre ús no domèstic” (OSE, 2012, pág. 210).



**Fig. 48. Evolució dels ingressos i de la despesa energètica (calculat sobre unitats nominals, essent el 2006 = 100) –esquerra-. Persones % que es declaren incapaces de mantenir l'habitatge a un confort tèrmic adequat a l'hivern –dreta-. Font: EPF (Enquesta de Pressupostos Familiars) (INE, 2013) i EUSILC (European Union Statistics on Income and Living Conditions) EUROSTAT (Comissió Europea, 2013). Elaboració: (OSE, 2012).**

El Comitè Econòmic i Social Europeu va aprovar al 2011 un dictamen sobre la “pobresa energètica en el context de la liberalització i de la crisi econòmica” (Diari Oficial de la Unió Europea de 11 de febrer de 2011) on es proposa tenir en compte la pobresa energètica a l'hora d'elaborar qualsevol proposta de política energètica i s'afirma que millorar l'eficiència energètica en la construcció és un aspecte clau per abordar la pobresa energètica.

La Comissió Europea comença a incloure aquest aspecte en les orientacions de les polítiques energètiques i de protecció de consumidors; així, en la Directiva 2009/72/CE i 2009/73/CE, ja s'obliga als Estats membres a desenvolupar plans respecte aquesta temàtica (CSCAE, 2013).

Encara no hi ha masses estudis sobre els costos de inversió i de recuperació per afrontar aquesta situació; no obstant, es pot destacar el programa “Warm Homes” (Department of Communications, Energy and Natural Resources, 2008) desenvolupat entre el 2001-2008, que es va aplicar al Nord d'Irlanda, on es va estimar que l'estalvi generat pel sistema sanitari davant de la inversió en eficiència energètica, suposaria quasi la meitat (42%) dins del programa. Afrontar la problemàtica de la pobresa energètica aportarà beneficis econòmics, reduccions d'impactes ambientals i millores socials (Tirado, López, & Martín, 20012).

A Espanya, l'Associació de Ciències Ambientals ha desenvolupat un “Estudio sobre la Pobreza Energética en España”, dins del marc del “Proyecto REPEX - Rehabilitación energética de edificios, una oportunidad de empleo verde en Extremadura, una solución a la pobreza energética”, a través del programa Fundación Biodiversitat (MAGRAMA, 2013) i de la Fundación de la Casa que Ahorra (Fundación La casa que ahorra, 2013). Segons l'Asociación de Ciencias Ambientales (ACA) les comunitats amb major pobresa energètica es situen en zones interiors i nord de la península (i zona de les illes Canàries) (ACA, 2012).

La pobresa energètica depèn fonamentalment de tres factors: qualitat de l'habitatge respecte el consum energètic, els ingressos i el increment del cost d'energia i el cost de vida.

Les conseqüències directes de la pobresa energètica són riscos i impactes a nivell de salut física i mental, degradació dels habitatges i majors emissions de CO<sub>2</sub> pel

baix rendiment de les màquines i mínima qualitat d'aïllament tèrmic en l'habitatge (Intelligent Energy Europe, 2006).

Cal destacar, que mitjançant el “Plan Estatal de Vivienda y Rehabilitación, 2009-2012” (Ministerio de Vivienda, 2008) s'intenta dinamitzar el sector VPO (Vivienda de Protección Oficial), programa formulat per ajudes en la rehabilitació, i per afavorir col·lectius vulnerables.

Per tant, a causa de la situació econòmica i financera i el increment de cost acusat de les energies domèstiques i per tant la quantitat de ingressos que cal destinar per tal d'arribar al confort tèrmic, i si es suma que el nivell mig dels ingressos ha caigut, fa que a finals del 2010 aquesta taxa de pobresa energètica arribi aproximadament al 10% de llars espanyoles (l'Enquesta de Pressupostos Familiars (EPF) i l'Enquesta de Condicions de Vida (ECV)) (ACA, 2012). Aquest augment de tarifes domèstiques anirà incrementant-se, i una solució per pal·liar aquesta situació seria aplicar polítiques de rehabilitació energètica per aquelles famílies amb rendes baixes (a part que es milloraria el parc existent i es reduirien els gasos GEH).

### 6.3. NORMATIVES EXISTENTS

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 vàries 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 2. Relació històrica de normatives relacionadas amb l'eficiència energètica i l'aïllament tèrmic en l'edificació. 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.                                                                            |
| 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, las 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)                                                                                                                      |
| Projecte RD autoconsum      | Projecte de Reial Decret sobre la modalitat de Subministrament Elèctric de Balanç Net (Autoconsum). Falta aprovació                                                                                                        |

### 6.3.1. 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.

Les responsabilitats europees, amb l'objectiu de complir l'objectiu de Kyoto, així com mantenir el compromís del 20-20-20 per el 2020, 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 determina com a data límit 9 de Gener del 2013, per la seva transposició:

- Pels edificis de consum quasi nul: art. 9.
- Pel Certificat d'Eficiència Energètica: art. 11, 12, 13.
- Pels experts independents: art. 17
- Pel control independent: art. 18

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, en l'estalvi 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.

La comissió avaluarà, com a data màxima el 30 de juny del 2014, els progressos realitzats. Per portar a terme aquestes revisions, la comissió sumarà els objectius orientatius nacionals d'eficiència energètica comunicats pels estats membres.

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).

Almenys el 80% de consumidors hauran de tenir un comptador de mesura intel·ligent en el 2020 (paràgraf 27).

És convenient que els Estats membres estimulin l'adopció de mesures i procediments per promoure les instal·lacions de cogeneració amb una potència tèrmica nominal total igual o inferior a 20 MW a fi de fomentar la generació distribuïda d'energia (article 37). Al fomentar l'electricitat produïda mitjançant cogeneració d'alta eficiència, especialment en el cas de les unitats de microgeneració i generació a petita escala (paràgraf 43).

La Directiva obliga, a partir del 1 de gener del 2014, a la renovació energètica anual del 3% de la superfície total dels edificis que pertanyin a la Administració (article 5). El 3% es calcularà sobre la superfície total del edificis amb una superfície útil de més de 500 m<sup>2</sup> (límit que baixarà a 250 m<sup>2</sup> a partir del 9 de juliol de 2015). No farà falta ser aplicat (segons estats membres) a edificis protegits oficialment, edificis que siguin propietat de les forces armades o de l'administració central i en edificis utilitzats com a lloc de culte i per activitats religioses.

Cada estat membre establirà un sistema d'obligacions d'eficiència energètica. Aquest objectiu serà equivalent a la consecució d'un nou estalvi cada any, del 1,5% de les vendes anuals d'energia, des de l'1 de gener del 2014 fins el 31 de desembre del 2020 (article 7).

Una vegada l'any, han de publicar l'estalvi d'energia obtingut per cada part obligada, o cada subcategoria de part obligada, i en total dintre del sistema.

Com alternativa, es poden determinar altres mesures d'actuació per aconseguir estalvis d'energia seguint una sèrie de criteris, com definir les responsabilitats de cada una de les parts encarregades; l'estalvi obtingut es definirà de manera transparent; la quantitat d'estalvi exigida s'expressarà en termes de consum d'energia final o primària; es supervisaran els resultats i, si no es progressa de manera satisfactòria, s'adoptaran les mides oportunes en cada cas.

Els Estats membres elaboraran programes per conscienciar les llars sobre els beneficis de les auditories i d'un assessorament apropiat.

Sempre que sigui possible, els Estats membres procuraran que, els clients finals d'electricitat, gas, calefacció urbana, refrigeració urbana i aigua calenta sanitària, rebin comptadors individuals a un preu competitiu (article 9).

Els clients finals rebran de manera gratuïta, les seves factures de consum d'energia i la informació pertinent (article 11).

Es realitzarà un programa d'informació al consumidor. Els Estats membres prendran mesures per promoure l'ús eficient de l'energia per part dels petits clients, com l'ús de polítiques i instruments per promoure un canvi d'hàbits, maneres d'implicar als consumidors i a les organitzacions durant el possible proveïment de comptadors intel·ligents mitjançant la comunicació d'informació al respecte (article 12).

Per presentar informes, s'inclourà informació sobre els nivells d'eficiència energètica de les instal·lacions dedicades a la combustió de combustibles amb una potència tèrmica nominal total igual o superior a 50 MW (article 15).

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).

La directiva serveix de suport a línies d'actuació en l'estratègia EcoEuskadi 2020 (Govern Vasc, 2012) i s'està prenent en consideració en la revisió del manual pràctic per a la compra i la contractació pública verda.

### 6.3.2. 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 (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):
    - HE1: Limitació de demanda energètica (sistema càlcul de U). Els paràmetres que defineixen l'evolvent tèrmica s'agrupen en:
      - Transmissió tèrmica de murs de façana  $U_M$
      - Transmissió tèrmica de cobertes  $U_C$
      - Transmissió tèrmica de terres  $U_S$
      - Transmissió tèrmica de tancaments en contacte amb el terreny  $U_T$ ;
      - Transmissió tèrmica de forats  $U_H$
      - Factor solar modificat de forats  $F_H$
      - Factor solar modificat de lluernaris  $F_L$
      - Transmissió tèrmica de mitjaneres  $U_{MD}$
- Per evitar descompensacions entre la qualitat tèrmica dels diferents espais, cada un dels tancaments i particions interiors de l'evolvent tèrmica tindran una transmissió no superior a la indicada en la taula i sempre tenint en compte la zona climàtica.

**Taula 3. Transmissió tèrmica màxima de tancaments i particions interiors de l'evolvent tèrmica U en W/m<sup>2</sup>K. Font: DB-HE 1.**

| Tancaments i particions interiors                                                                                                                                                                           | ZONA A | ZONA B | ZONA C | ZONA D | ZONA E |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Murs de façana, particions interiors en contacte amb espais no habitables, primer metre del perímetre de terres recolzats sobre el terreny <sup>(1)</sup> i primer metre de murs en contacte amb el terreny | 1,22   | 1,07   | 0,95   | 0,86   | 0,74   |
| Terres <sup>(2)</sup>                                                                                                                                                                                       | 0,69   | 0,68   | 0,65   | 0,64   | 0,62   |
| Cobertes <sup>(3)</sup>                                                                                                                                                                                     | 0,65   | 0,59   | 0,53   | 0,49   | 0,46   |
| Vidres i marcs                                                                                                                                                                                              | 5,70   | 5,70   | 4,40   | 3,50   | 3,10   |
| Mitjaneres                                                                                                                                                                                                  | 1,22   | 1,07   | 1,00   | 1,00   | 1,00   |

- (1) S'inclouen les lloses o soleres a una profunditat no major de 0,5m.
- (2) Les particions interiors en contacte amb espais no habitables, com en el cas de càmeres sanitàries, es consideren com terres.
- (3) les particions interiors en contacte amb espais no habitables, com en el cas de les golfes, es consideren com cobertes.

- 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**

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.

Es considera reforma de les instal·lacions, la incorporació de nous subsistemes de climatització o de producció d'aigua calenta sanitària o la modificació dels existents; la substitució o ampliació del nombre d'equips generadors de calor o de fred; el canvi del tipus d'energia utilitzada o la incorporació d'energies renovables.

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.

### **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.

S'estableixen els terminis per l'adaptació del Procediment Bàsic als edificis existents per l'obtenció del certificat i l'obligació, per als edificis que presten serveis públics, d'exhibir l'etiqueta d'eficiència energètica i la obligació de realitzar un inventari estadístic dels certificats enregistrats, per part dels organismes competents de les Comunitat Autònomes.

Quan es construeixin, venguin 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.

Disposició transitòria segona: El certificat d'eficiència energètica s'haurà d'obtenir i exposar,

- amb un termini màxim fins el 1 de juny de 2013, quan la seva superfície total sigui superior a 500 m<sup>2</sup> i,
- fins el 9 de juliol de 2015, quan la seva superfície sigui superior a 250 m<sup>2</sup>, i
- fins el 31 de desembre de 2015, quan la seva superfície sigui superior a 250 m<sup>2</sup> i estigui en règim de lloguer.

S'exclouen de l'àmbit d'aplicació d'aquest real decret:

- Edificacions que han de romandre obertes.
- Edificis i monuments protegits, i edificis o unitats utilitzats com llocs de culte i per activitats religioses

- Construccions provisionals (igual o inferior a 2 anys)
- Edificis industrials o agrícoles (tallers, zona de processos industrials i agrícoles no residencials).
- Edificis o unitats aïllats amb superfície inferior a 50 m<sup>2</sup>
- Edificis sense caràcter residencial o públic
- Edificis que es comprin pel seu enderroc.
- Edificis o unitats d'habitatges destinats per un ús inferior a 4 mesos o durant un temps limitat (consum previst inferior al 25% del total de l'any).

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 CALENER o un programa informàtic alternatiu que tingui el reconeixement del Ministeri de Indústria, Turisme i Comerç i del Ministeri d'Habitatge (IDAE, 2009).

- El programa informàtic de referència, LIDER (Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja.CSIC, 2010) i CALENER (IDAE, 2013), d'aplicació a tot el territori nacional i suficient per acreditar el compliment dels requisits establerts. El programa LIDER s'encarrega de verificar la opció general del CTE-HE1 limitació de la demanda energètica dels edificis i dos dels requisits mínims de la Directiva 2002/91/CE, corresponents a la limitació de la demanda de calefacció i refrigeració, tal i com estableix el Real Decret 314/2006, del 17 de març, pel qual s'aprova el CTE (IDAE, 2009).
- El programa CALENER VYP està basat amb el motor de càlcul ESTO, desenvolupat pel departament de Termotècnia de la universitat de Sevilla, i el CALENER GT, amb motor de càlcul DOE-2.1 (James J. Hirsch & Associates, 2012).

- L'opció simplificada de caràcter prescriptiu.

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

| Opció de qualificació |                | Dificultat de l'eina | Usos                                         | Qualificació possible |
|-----------------------|----------------|----------------------|----------------------------------------------|-----------------------|
| Simplificades         | Ministeri-IDAE | Baixa<br>Mitjana     | Habitatges                                   | D i E<br>Totes: A-E   |
|                       | Ce2            |                      |                                              |                       |
|                       | CES            |                      |                                              |                       |
|                       | CERMA          |                      |                                              |                       |
| General               | Calener VyP    | Alta<br>Molt alta    | Habitatges                                   | Totes: A-E            |
|                       | Calener GT     |                      | Petit terciari                               |                       |
|                       |                |                      | Petit terciari<br>(instal·lacions complexes) |                       |
|                       |                |                      | Gran terciari                                |                       |

Fig. 49. Opcions de qualificació energètica. Font: (ICAEN, 2012).

La certificació d'habitatges unifamiliars es podrà basar en l'avaluació d'un altre edifici representatiu de disseny, de dimensió i eficiència energètica real similar.

El certificat d'un edifici o unitat d'edifici contindrà: La identificació, incloent referència cadastral; indicació de la normativa aplicada sobre estalvi i eficiència energètica; descripció de les característiques energètiques de l'edifici; qualificació de l'eficiència energètica de l'edifici, document de recomanacions per la millora dels nivells òptims o rendibles i descripció de les proves i comprovacions realitzades (capítol II, article 6).

L'eficiència energètica d'un edifici es determinarà calculant o mesurant el consum d'energia consumida anualment per satisfer la demanda energètica de l'edifici en unes condicions normals de funcionament i ocupació, que inclourà, entre altres coses, l'energia consumida en calefacció, la refrigeració, la ventilació, la producció d'aigua calenta sanitària i la il·luminació, per tal de mantenir les condicions de confort tèrmic i lumínic i les seves necessitats d'aigua calenta sanitària i qualitat d'aire interior (annex I).

NOTA: Del Real Decret s'elimina la següent anotació que es contemplava en els respectius esborranys: atenent que l'etiqueta energètica classifica als edificis dintre d'una escala de set lletres que va de la G (edifici menys eficient) a la A (edifici més eficient), *“el certificat haurà d'incloure la proposta d'actuacions que comportin una millora de la lletra si parteix de la classificació C i de dues lletres si parteix d'una lletra igual o inferior a D”*.

**Taula 4. Classificació d'eficiència energètica d'edificis destinat a habitatge.**  
Font: (IDAE, 2009, págs. 29-31).

| Qualificació d'eficiència energètica de l'edifici | Índex de qualificació d'eficiència energètica |
|---------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| A                                                 | $C1 < 0.15$                                   |
| B                                                 | $0.15 < C1 < 0.50$                            |
| C                                                 | $0.50 < C1 < 1.00$                            |
| D                                                 | $1.00 < C1 < 1.75$                            |
| E                                                 | $C1 > 1.75$ i $C2 < 1.00$                     |
| F                                                 | $C1 > 1.75$ i $1.00 \leq C2 < 1.50$           |
| G                                                 | $C1 > 1.75$ i $1.50 \leq C2$                  |

$$C1 = \frac{(IEE \cdot R) - 1}{2(R - 1)} + 0,6 \quad C2 = \frac{\left(\frac{I_{obj}}{I_{stock}} R'\right) - 1}{2(R' - 1)} + 0,5$$

- On:
- $R$  són les desviacions de cada corba de les localitats de referència en relació amb el seu valor mig.
  - $IEE$  és el Indicador d'Eficiència Energètica
  - $I_{obj}$  és el indicador corresponent a l'edifici objecte
  - $I_{stock}$  és el valor mig de l'indicador corresponents als edificis similars al parc edificat existent en l'any 2006.
  - $R'$  és el rati entre el valor  $I_{stock}$  i el valor d'emissions de CO<sub>2</sub> dels serveis de calefacció, refrigeració i aigua calenta sanitària, corresponent al percentil del 10% del parc edificat d'habitatges existents en l'any 2006.

El certificat d'eficiència energètica tindrà una validesa de 10 anys i és obligat exhibir l'etiqueta en aquells edificis que prestin serveis públics.

Quan un edifici es vengui o llogui, abans de la seva construcció, el venedor o arrendador facilitarà la seva qualificació energètica futura, donant-se el certificat una vegada construït l'edifici.

Per al **PROCEDIMENT SIMPLIFICAT DE CERTIFICACIÓ D'EDIFICIS EXISTENTS** (Ministerio de Industria, Energía y Turismo, 2013) s'han registrat com Documents Reconeguts 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.

Per aclarir el nivell de simulació utilitzat en els diferents procediments, s'utilitza la classificació proposada per la norma EN 15243:2009 que identifica la base de temps de càlcul utilitzada (base horària, mensual o temporada) per a l'avaluació de les demandes de l'edifici per una banda i del comportament de les instal·lacions per un altre

En el **programa CE3** es pot definir la forma de l'edifici i introduir les seves característiques. Es pot introduir la zona climàtica segons normativa, però no un arxiu de clima IWECC ni SWEC; els càlculs són amb formulació estàtica, no dinàmica; té en compte les ombres dels edificis propers però no la seva reflexió (tampoc té en compte l'efecte hivernacle); no es poden introduir sistemes de geotèrmia ni calderes de biomassa i no es poden situar les sortides d'aire de multisplit.

Aquest procediment es desenvolupa en base horària per l'obtenció de la demanda energètica de refrigeració i calefacció. Aquesta demanda s'obté mitjançant l'ús de correlacions, que utilitzen, com variables, paràmetres fonamentals de l'edifici i dades climàtiques.

L'esquema de funcionament d'aquest procediment simplificat es basa en el desenvolupament d'una sèrie de correlacions que han permès relacionar les demandes energètiques dels edificis (calefacció i refrigeració) amb algunes de les seves característiques geomètriques i constructives.

Per l'obtenció de les correlacions de calefacció i refrigeració, es parteix de les expressions matemàtiques que simulen el comportament tèrmic de l'edifici recollides en la norma UNE-EN ISO 137901:2008. En cada cas, s'ha comprovat si els resultats s'ajustaven als valors de demanda.

A partir de l'anàlisi inicial, s'ha anat corregint el model, agregant noves variables per obtenir el màxim ajust possible.

El **programa CE3X**, escrit amb llenguatge de programació python, es basa en la comparació de l'edifici objecte de certificació i una base de dades elaborada per cada ciutat representativa de les zones climàtiques amb els resultats obtinguts de la realització d'un gran nombre de simulacions amb CALENER. El software busca les simulacions amb característiques més similars a l'edifici objecte i interpola les demandes de calefacció i refrigeració per obtenir les demandes de l'edifici complert.

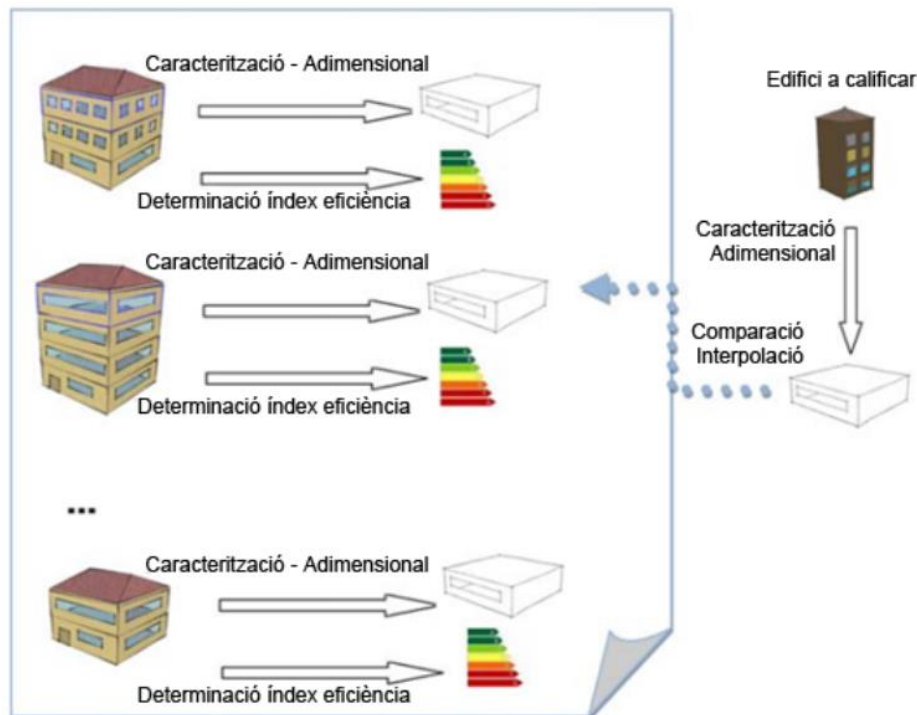


Fig. 50. Funcionament del programa CE3X. Font: Manual d'usuari CE3X.

Ambdues eines informàtiques generen un certificat que recull l'etiqueta energètica juntament amb les noves qualificacions després d'aplicar mesures de millora.

### 6.3.3. 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  $H$  a  $3,30 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

- 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 a continuació:

**Taula 5. Paràmetres d'Ecoeficiència que cal complir. Font: Decret d'Ecoeficiència (Decret d'ecoeficiència, 2006).**

| SOLUCIÓ CONSTRUCTIVA                                                                         | PUNTUACIÓ |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Façana ventilada en l'orientació sud-oest                                                    | 5         |
| Coberta ventilada                                                                            | 5         |
| Coberta enjardinada                                                                          | 5         |
| Sistema industrialitzat mínim en el 80% de la superfície de l'estructura                     | 6         |
| Sistema industrialitzat mínim en el 80% dels tancaments exteriors                            | 5         |
| Assolellament directe del saló entre les 10 i les 12 al hivern                               | 5         |
| Reduir coeficient de transmissió tèrmica $K_m$ dels tancaments verticals exteriors en un 10% | 4         |
| Reduir coeficient de transmissió tèrmica $K_m$ dels tancaments verticals exteriors en un 20% | 6         |
| Reduir coeficient de transmissió tèrmica $K_m$ dels tancaments verticals exteriors en un 30% | 8         |
| Sistema de reaprofitament de les aigües pluvials                                             | 5         |
| Sistema de reaprofitament de les aigües grises i pluvials                                    | 8         |
| Ús de productes reciclats de residus                                                         | 4         |
| Reutilització de residus de la fase de deconstrucció                                         | 4         |
| Ventilació creuada natural                                                                   | 6         |
| Ús d'energies renovables per climatització                                                   | 7         |
| Enllumenat amb detectors de presència en zones comunes                                       | 3         |
| Aïllament finestres mínim a so aeri $R$ de 28dB                                              | 4         |
| Nivells de soroll d'impacte no sigui superior a 74 dBA                                       | 5         |

La consecució dels 10 punts es pot fer a través de la combinació de qualsevol de les 18 opcions.

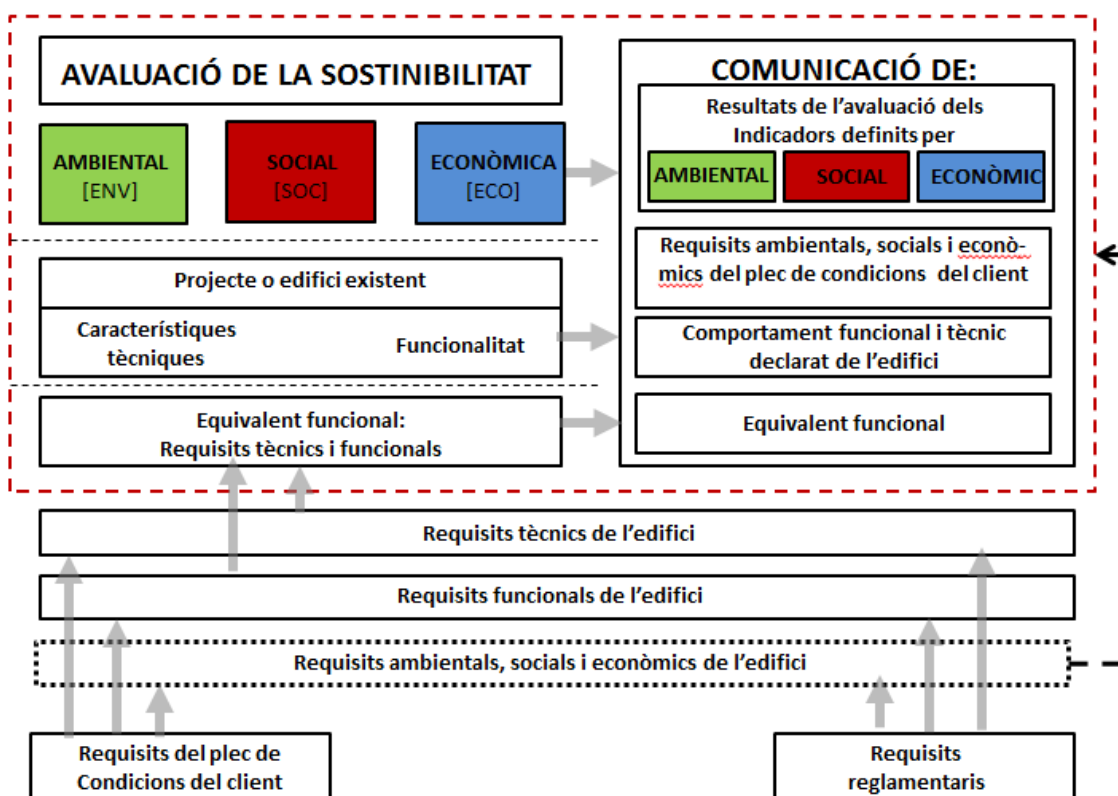
#### 6.3.4. Norma CEN/TC 350

El Comitè Tècnic de Normalització Europeu (CEN) és l'encarregat de desenvolupar les normes d'avaluació de la sostenibilitat en la construcció. Ha de desenvolupar normes que, tenint en compte el cicle de vida, descriguin una metodologia dels 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 <sup>2</sup>.”

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).



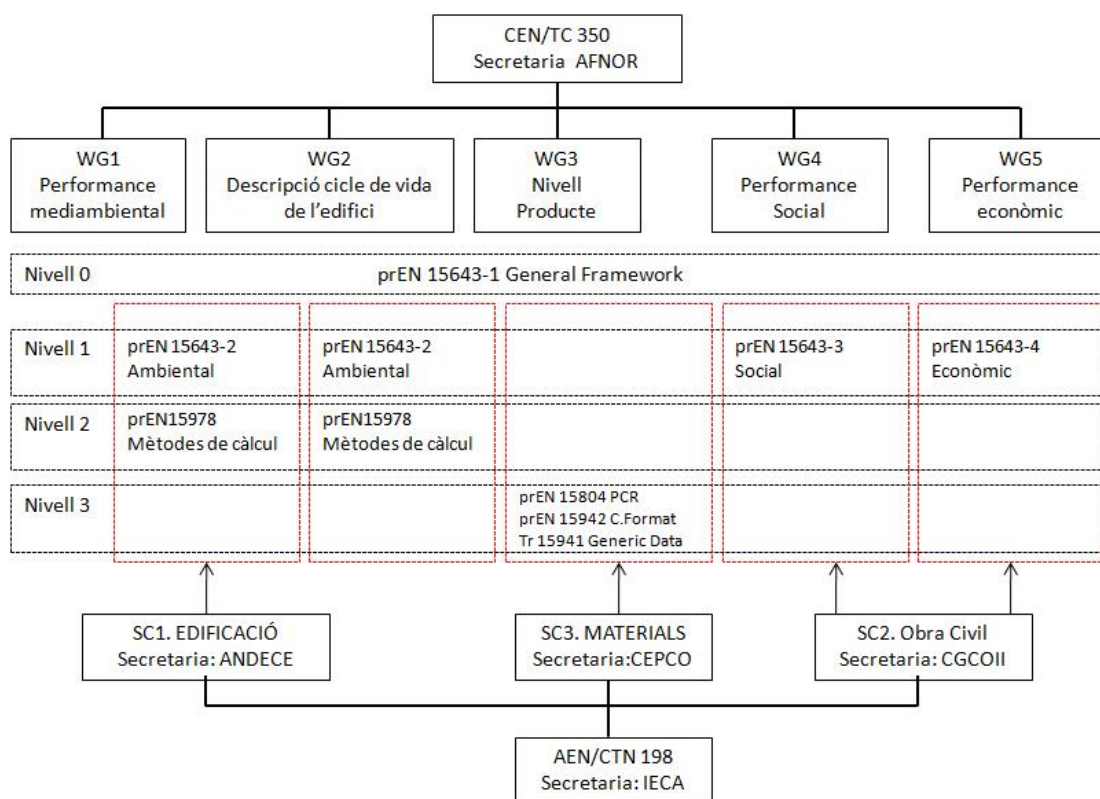
NOTA: El requadre de punts representa el camp de normalització del Comitè Tècnic CEN/TC 350

Fig. 51. 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:

<sup>2</sup> Els requisits tècnics i funcionals els troben definits en l'apartat *Rehabilitació energètica* d'aquest document. Les definicions referents al comportament ambiental, comportament social i comportament econòmic, es troben en els respectius apartats d'aquest mateix document.



**Fig. 52. Programa de treball del comitè tècnic CEN/TC 350. Font: (AENOR. UNE-EN 15643-1, 2012). Elaboració: elaboració pròpia.**

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'indicators 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 4 vessants de la sostenibilitat: mediambiental (WG1), econòmica (WG4), 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 EN 15978 de mètodes de càlcul, descriu quina és la informació mínima necessària a aportar a cada escenari o suposat ús.

La norma prEN 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 prEN 15643-3, referent al marc social, marca unes categories genèriques d'indicators que es completaran amb una norma de mètode de càlcul. Els indicadors són: accessibilitat, adaptabilitat, salut i confort, cargues al veïnat, seguretat, materials (i serveis que proporcionen i implicació dels agents interessats).

La norma prEN 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, expressa en termes financers durant el cicle de vida.

## RESULTATS

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

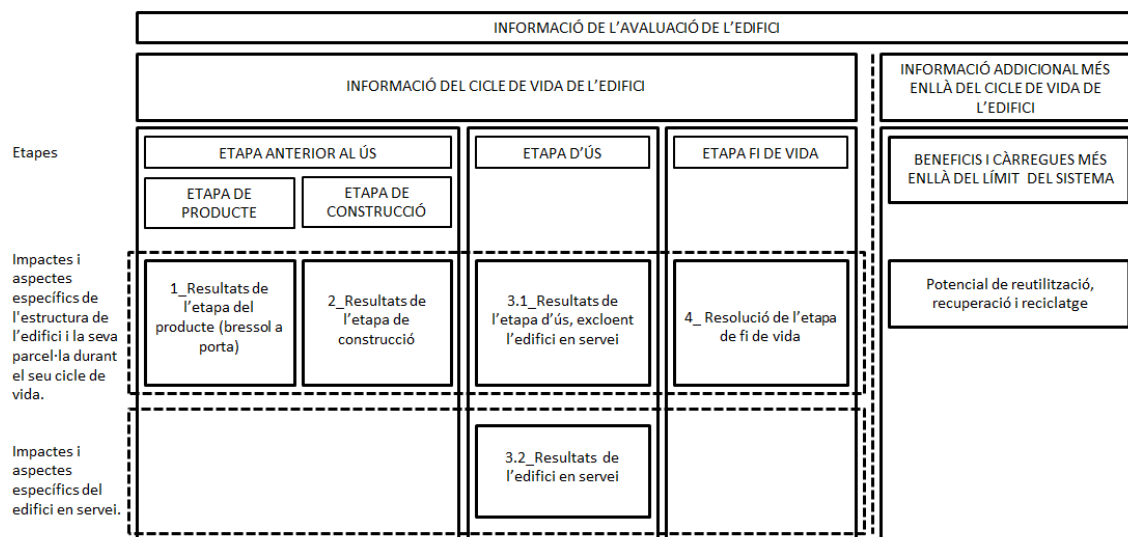


Fig. 53. Organització del resultat de l'avaluació en funció de les etapes del cicle de vida i grups d'informació. Font: (AENOR. UNE-EN 15643-1, 2012). Elaboració: elaboració pròpia.

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 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).

L'informe ha d'incloure les informacions o hipòtesis següents:

- Propòsit de l'avaluació (ús previst i abast)
- Identificació de l'edifici
- Client de l'avaluació
- Nombre i qualificació de l'avaluador
- Mètode d'avaluació, incloent el número de la versió i la referència
- Moment en el que es realitza l'avaluació en el cicle de vida de l'edifici
- Període de validesa de l'avaluació
- Data de l'avaluació
- Declaració respecte a la verificació de la informació
- Nom i qualificació del verificador, si s'ha verificat

La verificació dels resultats ha d'incloure::

- Consistència entre el propòsit de l'avaluació i els límits i escenaris utilitzats
- Traçabilitat de dades utilitzades per els productes
- Conformitat de les dades amb els requisits de la Norma EN 15804
- Consistència entre els escenaris que s'apliquen a nivell d'edifici amb aquells utilitzats per al producte
- Justificació de la completeness per la quantificació a nivell d'edifici

### **LÍMITS DEL SISTEMA**

L'avaluació s'ha de centrar en l'edifici, els seus fonaments i obres externes dins del perímetre de la parcel·la, així com les obres temporals associades a la construcció de l'edifici.

Si l'avaluació es restringeix a part de l'objecte avaluat o una part del seu cicle de vida, o si no es consideren alguns impactes rellevants, tot això s'ha de documentar, consignar en l'informe i justificar.

En general, els impactes relacionats amb la infraestructura (subministrament d'aigua i energia, sistemes de clavegueram i altres instal·lacions) dins de la parcel·la es poden excloure de l'avaluació.

L'avaluació ha d'excloure els impactes i aspectes dels dispositius i el mobiliari, les instal·lacions i els equipaments que no estiguin relacionats amb l'edifici. Per tant, aquests equipaments són els dispositius domèstics, comercials o industrials o els actius no relacionats amb l'edifici, per exemple els aparells electrònics d'entreteniment, les rentadores, frigorífics, aparells de cuina, aparells elèctrics d'oficina i els dispositius per a processos industrials. Tot aquell mobiliari, equipament o instal·lacions que redueixin el comportament d'un edifici o que la seva substitució o eliminació constitueixin operacions constructives, caldran tenir-los en compte.

## 6.4. IMPACTES AMBIENTALS

### 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 Standardization) 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), es a dir, edificis totalment sostenibles (Zabalza, 2010).

#### **6.4.1. 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 14044:2006, 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..*

#### **6.4.2. 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.

#### **6.4.3. 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:

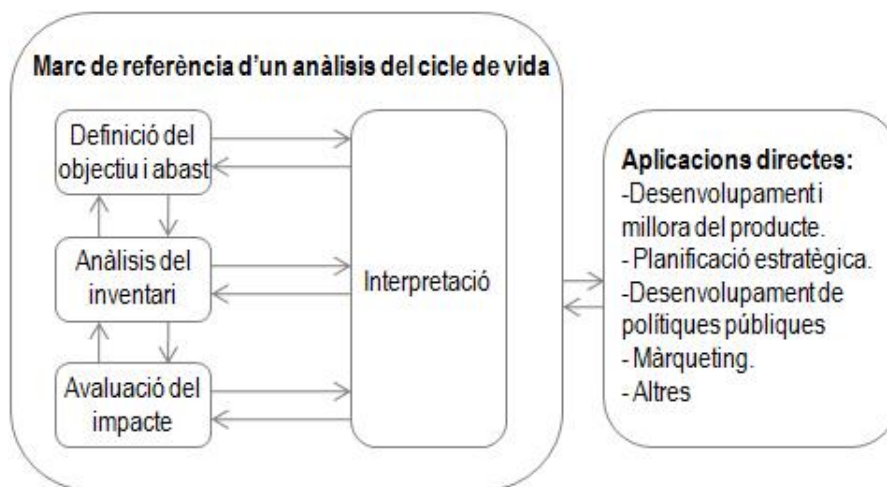


Fig. 54. Etapes d'un ACV. Font: (UNE-EN ISO 14040, 2006).

#### 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 son 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.

Taula 6. Etapes del cicle de vida d'un edifici. Font: (CEN/TC 350, 2012)

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

## Anàlisi de l'inventari del cicle 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.

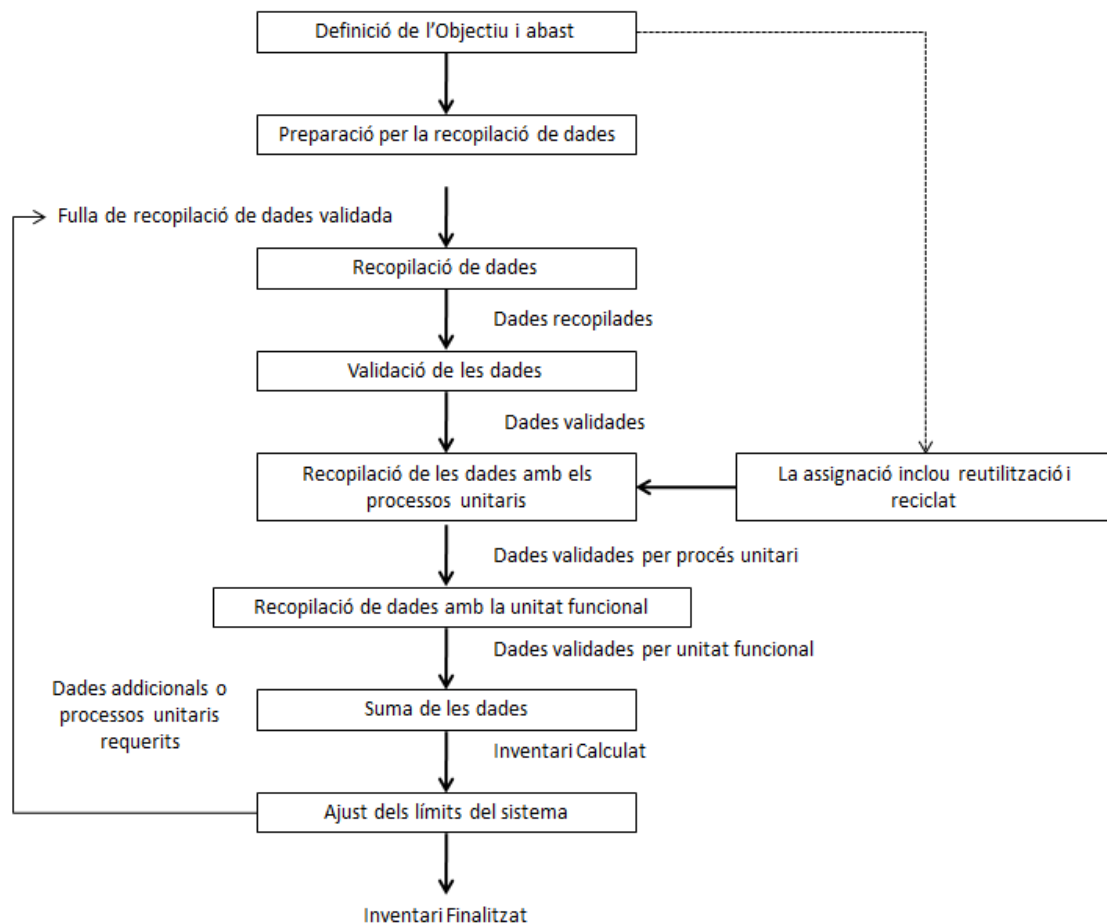
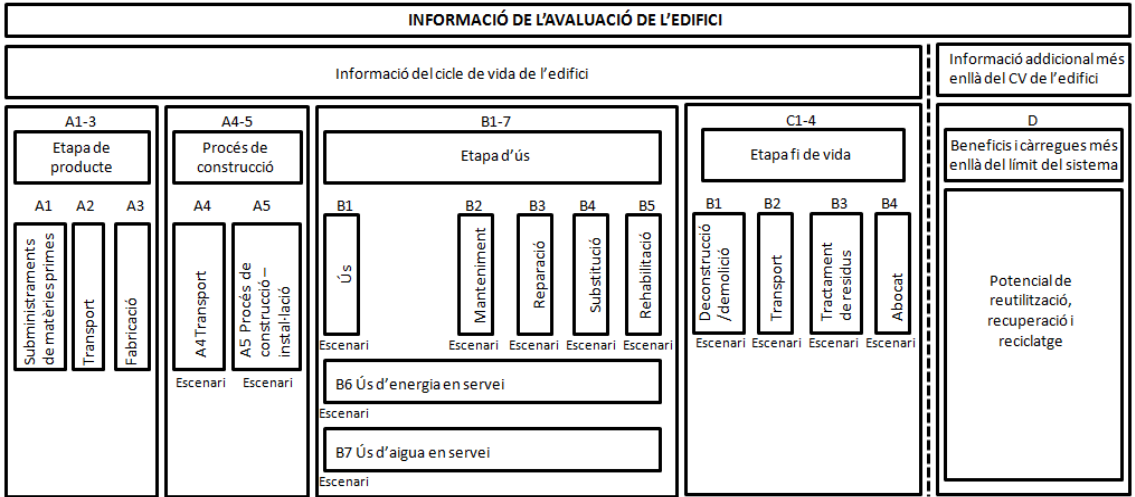


Fig. 55. Procediments simplificats per l'anàlisi del inventari. Font: (UNE-EN ISO 14044, 2006)

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



**Fig. 56. 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 7. 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 8. 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 maquinaria 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 deconstrucció.

El mòdul B1 i B2 inclou:

**Taula 9. 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 10. 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 11. 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 12. 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 13. Processos ambientals associat al mòdul B6. Font: (AENOR. UNE-EN 15978, 2012).  
Elaboració: elaboració pròpia**

|                                                                                                                     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Calefacció                                                                                                          |
| Subministrament domèstic d'aigua 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 14. 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 deconstrucció 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 15. Processos ambientals associats als mòduls C1-C4 i D. Font: (AENOR. UNE-EN 15978, 2012). Elaboració: elaboració pròpia**

|    |                                                                                                                                                                                                                |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| C1 | La deconstrucció 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 deconstrucció 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, es 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 (EICV)**

En aquesta fase s'avalua com són de significatius els impactes ambientals utilitzant els resultats del ICV. 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, 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.

#### 6.4.4. Indicadors i metodologies d'avaluació dels impactes

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 16. 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                                            |

**NOTA:** *En un principi, s'ha pensat en utilitzar aquests impactes com a camps d'entrada per la BBDD per la realització dels estudis en les simulacions.*

Els impactes d'un edifici es quantifiquen a través dels indicadors. Aquest, traslladen el concepte de desenvolupament a termes numèrics.

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.

Els indicadors mediambientals més importants utilitzats en el estudi dels ACV en edificació són (Peuportier, y otros, 2011):

**Taula 17. Indicadors mediambientals utilitzats en edificació. Font: (Peuportier, y otros, 2011)**

|                                   |                                                                                          |
|-----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1. Recursos                       | 1.1_ Esgotament de recursos biòtics, CML <sup>3</sup> 1992                               |
|                                   | 1.2_ Esgotament de recursos abiòtics, CML 1995 i 2001                                    |
|                                   | 1.3_ Demanda d'energia acumulada a) total i b) fracció no renovable                      |
|                                   | 1.4_ Esgotaments de recursos hídrics                                                     |
|                                   | 1.5_ Energia addicional per extreure minerals i combustibles fòssils.                    |
|                                   | 1.6_ Ús del terreny                                                                      |
|                                   | 1.7_ Factor d'ús dels recursos                                                           |
|                                   | 1.8_ Demanda d'exergia acumulada                                                         |
| 2. Contaminació de l'aire         | 2.1_ Potencial de l'escalfament global, IPCC 1994 i 2001                                 |
|                                   | 2.2_ Potencial de disminució de la capa d'ozó, CML 1992, 1995 i 2001                     |
|                                   | 2.3_ Acidificació potencial, CML 1992, 1995 i 2001                                       |
|                                   | 2.4_ Boira d'hivern, CML 1992 i 1995                                                     |
|                                   | 2.5_ Formació d'oxidants fotoquímics (boira d'estiu), CML 1992, 1995 i 2001.             |
|                                   | 2.6_ Olor, CML 1992 i 2001                                                               |
| 3. Contaminació de l'aigua        | 3.1_ Eutrofització potencial, CML 1992, 1995 i 2001                                      |
|                                   | 3.2_ Ecotoxicitat aquàtica, CML 1992 i 2001                                              |
| 4. Contaminació del sòl i residus | 4.1_ Ecotoxicitat terrestre, CML 1992 i 2001                                             |
|                                   | 4.2_ Quantitat de residus sòlids                                                         |
|                                   | 4.3_ Quantitat de residus radioactius                                                    |
| 5. Danys, salut i biodiversitat   | 5.1_ Toxicitat humana, CML 1992 i 2001                                                   |
|                                   | 5.2_ Metalls pesats, CML 1995                                                            |
|                                   | 5.3_ Substàncies cancerígenes, CML 1995                                                  |
|                                   | 5.4_ Pèrdua d'anys de vida ajustats en funció de la discapacitat (DALY), Ecoindicador 99 |
|                                   | 5.5_ Radiació ionitzant, CML 2001                                                        |
|                                   | 5.6_ Esgotament de recursos biòtics, CML 1992 i 2001                                     |
|                                   | 5.7_ Impacte de l'ús del terreny, CML 2001                                               |
|                                   | 5.8_ Fracció potencialment desapareguda (PDF), Ecoindicador 99                           |

Aquest indicadors ambientals, formen part de les metodologies d'avaluació del impacte utilitzades en els estudis d'ACV.

Les metodologies d'avaluació del impacte són els càlculs sistemàtics que s'utilitzen per obtenir des d'un flux d'inventari del cycle de vida (LCI), com el diòxid de

<sup>3</sup> CML és el Centre per Estudis Mediambientals (CML), Universitat de Leiden, Holanda [Pré Consultants, 2008b]

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 respectivament (SolidWorks Sustainability, 2013).

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

**Taula 18. Metodologies utilitzades en ACVs. Font: (Zabalza Bribián, 2011).**

| METODOLOGIA         | CARACTERÍSTIQUES                                                                                                             | ENTITAT DESENVOLUPADORA        |
|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| CML 92              | Mètode de 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 de impacte final.       | Pré (Holanda)                  |
| IMPACT 2002+        | Mètode semblant al Ecoindicador 95, està orientat als danys però amb els factors de toxicitat recalculats.                   | EPFL (Suïça)                   |
| 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 (Suïça)        |
| 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 de impacte final, orientat als danys, avaluen els danys reals produïts com a conseqüència dels problemes ambientals.

#### 6.4.5. 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 cicle 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 correctament i les dades obtingudes han de ser certes, per això s'han de seguir 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 Cicle 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).

Es defineixen diferents tipus de DAPs depenent de les fases del cicle de vida que s'hagin tingut 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 cicle de vida.
- DAPs bressol-tomba (mòduls A1-C4, amb opcions del D); cobreixen totes les etapes del cicle de vida de l'edifici.

**Taula 19. 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                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| El 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 consideradas                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| 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'Agència 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:

- El nom del producte, una descripció i ús previst.
- Els valors numèrics determinats pels indicadors d'impactes.
- Informació tècnica addicional per assegurar una comprensió adequada
- Informació necessària per definir la vida útil estimada del producte en el context de l'edifici
- Dades tècniques addicionals necessaris per l'avaluació a nivell de l'edifici.

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.

Les RCP bàsiques:

- Defineixen els paràmetres a declarar i la forma en què es recopilen i consignen en l'informe.
- Descriuen quines etapes del cicle de vida d'un producte es consideren en la DAP i quins processos es van a incloure en les etapes del cicle de vida.
- Defineixen les regles per al desenvolupament d'escenaris.
- Inclouen les regles per al càlcul de l'inventari del cicle de vida i l'avaluació del impacte del cicle de vida en què es recolza la DAP, incloent l'especificació de la qualitat de les dades a aplicar;
- Inclouen les regles per consignar la informació ambiental i sanitària predeterminada, que no està coberta pel ACV d'un producte, procés i servei de construcció, quan sigui necessari.
- Defineixen les condicions en les quals els productes de construcció es poden comparar sobre la base de la informació proporcionada per les DAP.

**Taula 20. 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 caractéristiques écologiques de produits utilisés dans la construction | SIA, Suïça                                           | <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.

En l'actualitat, ofereixen informació del cicle de vida per les següents categories de impacte (ALARCÓN BARRIO, 2012):

**Taula 21. Categories d'impacte que ofereix el DAP d'un producte. Font: (ALARCÓN BARRIO, 2012).**

| INDICADORS                                     | MESURA                                 |
|------------------------------------------------|----------------------------------------|
| Escalfament global                             | kgCO <sub>2</sub> eq/ud17              |
| Potencial d'esgotament de la capa de ozó       | kgCFC-11eq/ud                          |
| Acidificació                                   | kgSO <sub>2</sub> eq/ud                |
| Eutrofizació                                   | kgPO <sub>4</sub> eq/ud                |
| Potencial de formació d'ozó troposfèric        | kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq/ud |
| Potencial d'esgotament de recursos abiòtics    | kg Sb eq/ud                            |
| Potencial d'esgotament de combustibles fòssils | MJ/ud                                  |

**Taula 22. Categories d'impacte que descriuen l'ús dels recursos. Font: (AENOR. UNE-EN 15978, 2012).**

| INDICADORS                                                                                        | MESURA                  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|
| Ús d'energia primària renovable excloent els recursos d'energia utilitzats com matèria prima      | MJ, valor calorífic net |
| Ús de recursos d'energia primària renovable utilitzats com a matèria prima                        | MJ, valor calorífic net |
| Ús d'energia primària no renovable excloent els recursos d'energia utilitzats com a matèria prima | MJ, valor calorífic net |
| Ús de recursos d'energia primària no renovable utilitzats com matèria prima                       | MJ, valor calorífic net |
| Ús de materials secundaris                                                                        | Kg                      |
| Ús de combustibles secundaris renovables                                                          | MJ                      |
| Potencial d'esgotament per recursos abiòtics per elements, ADP_Elements                           | MJ                      |
| Potencial d'esgotament per combustibles fòssils                                                   | m3                      |

**Taula 23. Indicadors que descriuen categories de residus. Font: (AENOR. UNE-EN 15978, 2012)**

| INDICADORS                    | MESURA |
|-------------------------------|--------|
| Residus perillosos abocats    | Kg     |
| Residus no perillosos abocats | Kg     |
| Residus radioactius abocats   | Kg     |

**Taula 24. Indicadors que descriuen els fluxos de sortida. Font: (AENOR. UNE-EN 15978, 2012)**

| INDICADORS                                                                    | MESURA                        |
|-------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| Components de reutilització                                                   | Kg                            |
| Materials per reciclatge                                                      | Kg                            |
| Materials per valorització energètica (que no siguin residus per incineració) | Kg                            |
| Energia exportada                                                             | MJ, per cada vector energètic |

### **Criteris per la exclusió d'entrades i sortides**

S'ha de seguir el següent procediment:

- Totes les entrades i sortides d'un procés s'han de incloure en el càlcul
- En el cas de que les dades d'entrada siguin insuficients, els criteris de tall seran del 1% de l'ús de l'energia primària renovable i no renovable i el 1% de la massa total entrant del procés unitari.
- S'ha de tenir especial cuidat per incloure els fluxos materials i d'energia coneguts per tenir un potencial de provocar emissions al aire, al aigua o al sòl significatives, en relació amb els indicadors ambientals.

## Escenaris i informació tècnica addicional

### MÒDUL A4-A5: Etapes del procés de construcció

El mòdul A4:

**Taula 25. Transport a l'obra. Font: (AENOR.UNE-EN 15804, 2013).**

| PARÀMETRE                                                                                                                                                 | UNITAT                                                                                                                    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tipus i consum de combustible del vehicle , tipus de vehicle vehicles utilitzats per al transport; per exemple camions de llarga distància, vaixell, etc. | Litre de tipus de combustible, per tipus de vehicle o per distància. Directiva 2007/37/CE (Norma europea sobre emissions) |
| Distància                                                                                                                                                 | km                                                                                                                        |
| Utilització de la capacitat (incloent el retorn en buit)                                                                                                  | %                                                                                                                         |
| Densitat aparent dels productes transportats                                                                                                              | kg/m <sup>3</sup>                                                                                                         |
| Factor de capacitat útil (factor: = 1 o < 1 o 2: 1 per als productes que s'empaqueten comprimits o niats)                                                 | No aplicable                                                                                                              |

El mòdul A5:

**Taula 26. Instal·lació en l'edifici al mòdul A5. Font: (AENOR.UNE-EN 15804, 2013).**

| PARÀMETRE                                                                                                | UNITAT                         |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| Materials auxiliars per a la instal·lació (especificant cada material)                                   | kg o altres unitats apropiades |
| Ús d'aigua                                                                                               | m <sup>3</sup>                 |
| Ús d'altres recursos                                                                                     | Kg                             |
| Descripció quantitativa del tipus d'energia i el consum durant el procés d'instal·lació                  | kWh oMJ                        |
| Rebuig de materials en l'obra abans del tractament de residus, generats per la instal·lació del producte | Kg                             |
| Sortida de materials com resultat del tractament de residus a la parcel·la del edifici                   | Kg                             |
| Emissions directes al aire ambient, al sòl i a l'aigua                                                   | Kg                             |

## MÒDUL B1-B7: Etapa d'ús

### B1-B5: Etapa d'ús relativa a l'estructura de l'edifici

**Taula 27. Etapa d'ús relativa a l'edifici. Font: (AENOR.UNE-EN 15804, 2013).**

| MÒDUL            | PARÀMETRE                                                                                                     | UNITAT                                           |
|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| B2 Manteniment   | Procés de manteniment                                                                                         | Descripció o font on es pot trobar la descripció |
|                  | Cicle de manteniment                                                                                          | Número per RSL o any <sup>a</sup>                |
|                  | Materials auxiliars per al manteniment                                                                        | Kg/cicle                                         |
|                  | Rebuig de material durant el manteniment                                                                      | Kg                                               |
|                  | Consum net d'aigua corrent                                                                                    | m <sup>3</sup>                                   |
|                  | Entrada d'energia durant el manteniment                                                                       | kWh                                              |
| B3 Reparació     | Procés de reparació                                                                                           | Descripció o font on es pot trobar la descripció |
|                  | Procés d'inspecció                                                                                            | Descripció o font on es pot trobar la descripció |
|                  | Cicle de reparació                                                                                            | Número per RSL o any <sup>a</sup>                |
|                  | Materials auxiliars                                                                                           | Kg o Kg/cicle                                    |
|                  | Rebuig de material durant la reparació                                                                        | Kg                                               |
|                  | Consum net d'aigua corrent                                                                                    | m <sup>3</sup>                                   |
|                  | Entrada d'energia durant la reparació, tipus de vector energètic i quantitat                                  | kWh/RSL, kWh/cicle                               |
| B4 Substitució   | Cicle de substitució                                                                                          | Número per RSL o any <sup>a</sup>                |
|                  | Entrada d'energia durant la substitució , tipus de vector energètic i quantitat, si es aplicable o pertinent. | kWh                                              |
|                  | Canvi de peces desgastades en el cicle de vida del producte, especificant cada material                       | Kg                                               |
| B5 Rehabilitació | Procés de rehabilitació                                                                                       | Descripció o font on es pot trobar la descripció |
|                  | Cicle de rehabilitació                                                                                        | Número per RSL o any <sup>a</sup>                |
|                  | Entrada d'energia durant la rehabilitació, tipus de vector energètic i quantitat si es aplicable o pertinent  | kWh                                              |
|                  | Material d'entrada per la rehabilitació, incloent els materials auxiliars per al procés                       | Kg o Kg/cicle                                    |
|                  | Rebuig de material durant la rehabilitació                                                                    | Kg                                               |
|                  | Altres supòsits de desenvolupament d'escenaris                                                                | Unitats apropiades                               |

## B6 ús d'energia i B7 ús d'aigua

**Taula 28. Ús d'energia i ús d'aigua. Font: (AENOR.UNE-EN 15804, 2013)**

| PARÀMETRE                                                                                                                                        | UNITAT                         |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|
| Materials auxiliars, especificats per material                                                                                                   | kg o altres unitats apropiades |
| Consum net d'aigua corrent                                                                                                                       | m <sup>3</sup>                 |
| Tipus de vector energètic, per exemple electricitat, gas natural, calefacció urbana                                                              | kWh                            |
| Potència de sortida dels equips                                                                                                                  | kW                             |
| Prestacions característiques (per exemple, l'eficiència energètica, les emissions, la variació del rendiment amb la utilització de la capacitat) | Unitats apropiades             |
| Altres supòsits de desenvolupament d'escenaris (per exemple, període de temps i freqüència d'ús, número d'ocupants)                              | Unitats apropiades             |

## C1-C4: Etapa de fi de vida

**Taula 29. Etapa de fi de vida. Font: (AENOR.UNE-EN 15804, 2013)**

| PARÀMETRE                                     | UNITAT                                      |
|-----------------------------------------------|---------------------------------------------|
| Procés de recollida, especificat per tipus    | kg recollits per separat                    |
|                                               | kg recollits amb barreja de residus         |
|                                               | Construcció                                 |
| Sistema de recuperació, especificat per tipus | kg per reutilització                        |
|                                               | kg per reciclatge                           |
|                                               | kg per valorització energètica              |
| Eliminació, especificada per tipus            | kg producte o material per eliminació final |
| Supòsits pel desenvolupament d'escenaris      | Unitats apropiades                          |

Nota: respecte a les emissions a l'aire interior i a la alliberació al sòl i a l'aigua: la següent informació s'ha de facilitar pels productes exposats a l'aire interior, al sòl i a l'aigua, durant l'etapa d'ús després de la seva instal·lació en els edificis, amb la finalitat de recolzar els escenaris de l'etapa d'ús respecte a la salut, a la contaminació del sòl i de l'aigua a nivell de l'edifici.

### 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 30. 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 |

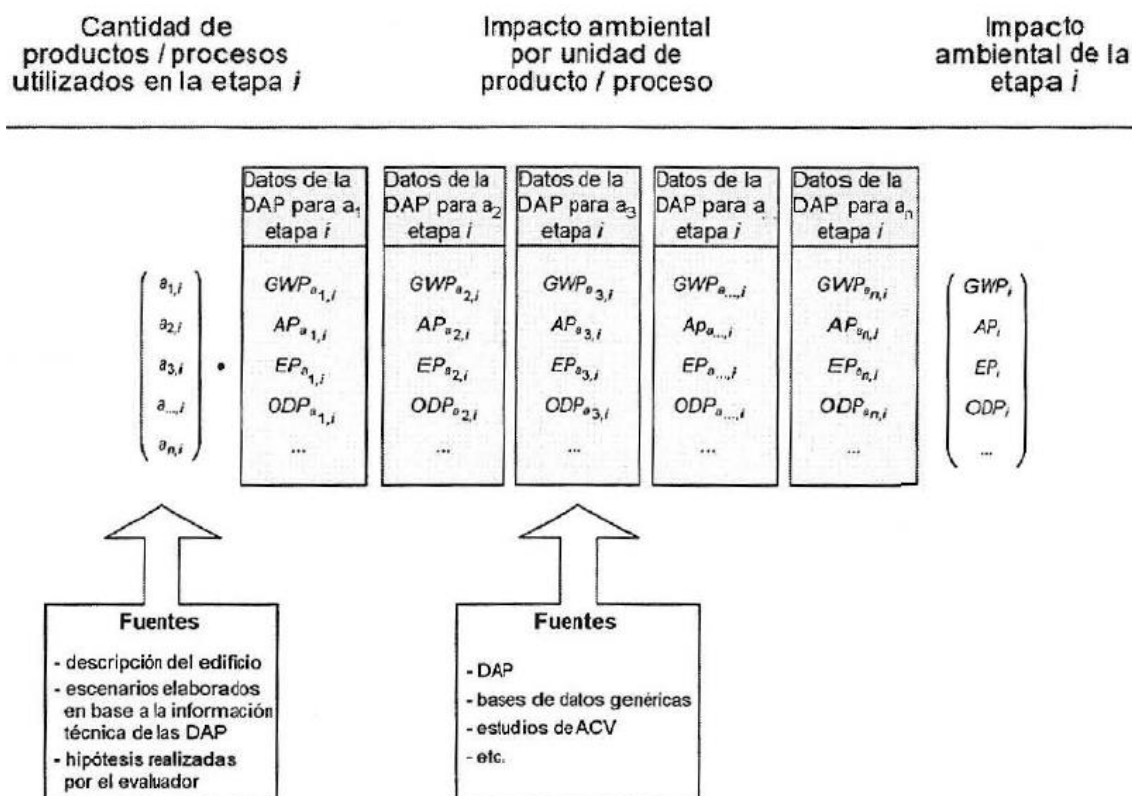
Després de verificar-se, una DAP és vàlida per un període de 5 anys des de la data de la seva expedició, només s'avaluarà de nou i actualitzarà quan sigui necessari per reflectir els canvis en la tecnologia o altres circumstàncies.

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

Es basa en els 4 fases citades anteriorment (apartat 6.4.3).

#### **Mètode de càlcul**

Els valors per cada un dels indicadors mencionats 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. 57. 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.

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

On:

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

$\bar{a}_j$  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.

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

| CÍCLOPE | PROJECTE                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|---------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|         | <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'explotació d'un edifici.</p> |
|         | ANY DE REALITZACIÓ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|         | 2009-2010 (finalitzat)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|         | PARTICIPANTS/PROMOTORS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|         | Finançat pel Ministeri de Ciència i Innovació i cofinançat amb Fons Europeo de Desenvolupament Regional "FEDER". Van participar 6 coordinadors i 22 socis.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|         | OBJECTIUS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|         | <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>                                                                                                                                                                                                                                                              |
|         | RESULTATS ESPERATS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|         | <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 deconstrucció.</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 deconstrucció i gestió dels residus.</li> </ul>                                                                                                                                                                                   |

Ref: (UNESCO, 2010)

|               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>SOFIAS</b> | <b>PROJECTE</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|               | 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.<br>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).                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|               | <b>ANY DE REALITZACIÓ</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|               | 2011-2014 (desenvolupament)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|               | <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 Cycle Assessment for Energy Efficiency in Buildings.<br>Creat per fomentar la sostenibilitat en la construcció i rehabilitació d'edificis de vivendes 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.<br>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>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|                | Un any comprès 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> | PROJECTE                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                  | EDEA-RENOV: Desenvolupament de l'Eficiència energètica en la arquitectura: rehabilitació, Innovació y TICs.<br>Té com a finalitat realitzar un mapa energètic de la Comunitat Autònoma d'Extremadura, la elaboració d'estudis energètics en els barris socials de Santa Engracia, San Lázaro i en quatre vivendes existents representatives d'Extremadura, a més assajar sistemes d'estalvi energètic.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|                  | ANY DE REALITZACIÓ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|                  | 2011-2013                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|                  | PARTICIPANTS/PROMOTORS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|                  | Conselleria de Foment, Habitatge, Ordenació del Territori i Turisme del Govern d'Extremadura, cofinanciat pel Programa LIFE+09 de la Comissió Europea.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|                  | OBJECTIUS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Elaborar un mapa energètic i climàtic de vivendes existents a Extremadura, avaluar l'entorn urbà, la tipologia edificatòria i tots els aspectes referents a l'edifici.</li> <li>- Avaluar el parc de vivendes 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> |
|                  | RESULTATS ESPERATS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|                  | <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 CO2, 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)

#### 6.4.8. 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 cicle 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 31. 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)<br>Ecoinvent v2.2 (2007)    | 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<br>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 Suïça centrada en energia, transport i residus.                                                                  | ETH-ESU (Suïça)                               | 1200 |
| GEMIS 4.5 (2009)            | 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 | -    |

#### 6.4.9. 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 32. Eines d'ACV. Font: (European Commission, 2013). Elaboració: Pròpia**

| <b>eVerdEE v.1.0</b> | DESENVOLUPADOR                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                      | ENEA - Italian National Agency for New Technology, Energy and the Environment                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|                      | SOFTWARE WEBSITE                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|                      | <a href="http://www.ecosmes.net/everdee/login2">http://www.ecosmes.net/everdee/login2</a>                                                                                                                                                                                                                                                      |
|                      | VERSIONS DISPONIBLES Y PREUS                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|                      | Finançat pel Ministeri de Ciència i Innovació i cofinançat amb Fons Europeo de Desenvolupament Regional "FEDER". Van participar 6 coordinadors i 22 socis.                                                                                                                                                                                     |
|                      | DESCRIPCIÓ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|                      | Eina web que investiga l'avaluació del cicle 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>                                                                                                                                                                                                                                             |
|                      | BASES DE DADES DISPONIBLES AMB LA EINA                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|                      | Base de dades principal:<br>DIM 1,0                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|                      | FORMATS IMPORTACIÓ/EXPORTACIÓ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|                      | XML/-----                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |

|                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|--------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>EcoScan 3,1</b> | <b>DESENVOLUPADOR</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|                    | TNO Built Environment & Geosciences                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|                    | <b>SOFTWARE WEBSITE</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|                    | <a href="http://www.tno.nl/groep.cfm?&amp;context=markten&amp;content=producten&amp;laag1=186&amp;item_id=267&amp;Taal=2">http://www.tno.nl/groep.cfm?&amp;context=markten&amp;content=producten&amp;laag1=186&amp;item_id=267&amp;Taal=2</a>                                                                                                                                                                               |
|                    | <b>VERSIONS DISPONIBLES Y PREUS</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|                    | -----                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|                    | <b>DESCRIPCIÓ</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|                    | <p>Avaluació de l'impacte del Cicle de Vida i disseny per al medi ambient.</p> <p>Els assistents donen ajuda en la realització de càlculs complexos. Emmagatzema els components calculats per la reutilització instantània.</p> <p>Ve de sèrie amb l'Eco-indicador 95 y 99 de base de dades, però també es pot utilitzar la base de dades EcoScan '97 o qualsevol altre. Es poden crear bases de dades personalitzades.</p> |
|                    | <b>BASES DE DADES DISPONIBLES AMB LA EINA</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|                    | EcoScan 3.1: base de dades recolzada en el mètode de l'Eco-indicador 99. La base de dades conté pre-càlculs d'eco-indicadors de materials, processos, aspectes d'ús i transport. Aquest indicadors cobreixen una ampla gama de materials i processos d'enginyeria.                                                                                                                                                          |
|                    | <b>FORMATS IMPORTACIÓ/EXPORTACIÓ</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|                    | Excel/---                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |

|                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>GaBi 4.2</b> | <b>DESENVOLUPADOR</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|                 | PE International GmbH                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|                 | <b>SOFTWARE WEBSITE</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|                 | www.gabi-software.com                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|                 | <b>VERSIONS DISPONIBLES Y PREUS</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|                 | <p>GaBi 4.2 Per instal·lacions de la indústria, la consultoria i la investigació. El preu inclou el servei complert, sense limitació en la duració de la utilització de la eina.</p> <p>GaBi 4,2 acadèmia: Ús no comercial. Per tesis, seminaris... El preu inclou el servei complert, sense limitació en la duració de la utilització de la eina.</p> <p>GaBi 4,2 Edu: Per l' ensenyament a les escoles / universitats. El preu inclou el servei complert, sense limitació en la duració de la utilització de la eina.</p> <p>GaBi 4,2 Alumne: Versió gratuïta per estudiants sense ús comercial. Llicència limitada per 1 any.</p> <p>GaBi 4,2 Temporal: Ús per un període limitat. Preu a petició en funció de la base de dades i el període d'utilització es requereix.</p> <p>GaBi 4,2 Llicència de prova (sense cost): Versió lliure per propòsits únicament de prova. Llicència de temps limitat durant 3-6 mesos, amb un contingut de base de dades específiques.</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>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|                 | <b>BASES DE DADES DISPONIBLES AMB LA 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                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |

|                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|-----------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>GaBi DFX</b> | <b>DESENVOLUPADOR</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|                 | PE International GmbH                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|                 | <b>SOFTWARE WEBSITE</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|                 | www.gabi-software.com                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|                 | <b>VERSIONS DISPONIBLES Y PREUS</b>                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|                 | GaBi DFX: per aplicació industrial (automotriu i electrònica) i comercial<br>GaBi DFX acadèmia: per aplicacions d'investigació                                                                                                                                                                                  |
|                 | <b>DESCRIPCIÓ</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|                 | Eina pel desenvolupament i el compliment de productes sostenibles. Inclou diferents regulacions com les directives de la UE.<br>GaBi DFX 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. |
|                 | <b>BASES DE DADES DISPONIBLES AMB LA EINA</b>                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|                 | Base de dades principal:<br>- Gabi bases de dades de 2006<br>Bases de dades addicionals:<br>- GaBi bases de dades de 2006 mòduls d'extensió: també totes les altres bases de Gabi 4,2.                                                                                                                          |
|                 | <b>FORMATS IMPORTACIÓ/EXPORTACIÓ</b>                                                                                                                                                                                                                                                                            |
|                 | EcoSpold 1, Excel / EcoSpold 1, Excel                                                                                                                                                                                                                                                                           |

|                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|--------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>GEMIS version 4.4</b> | <b>DESENVOLUPADOR</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|                          | Oeko-Institut (Institute for applied Ecology), Darmstadt Office                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|                          | <b>SOFTWARE WEBSITE</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|                          | www.gemis.de                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|                          | <b>VERSIONS DISPONIBLES Y PREUS</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|                          | -----                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|                          | <b>DESCRIPCIÓ</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|                          | GEMIS és un model d'anàlisi de flux de cicle de vida i de materials complert 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 LA EINA</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|                          | Gemis 4,4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|                          | <b>FORMATS IMPORTACIÓ/EXPORTACIÓ</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|                          | -----/-----                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |

|                  |                                                                                                                            |
|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>REGIS 2.3</b> | <b>DESENVOLUPADOR</b>                                                                                                      |
|                  | sinum AG                                                                                                                   |
|                  | <b>SOFTWARE WEBSITE</b>                                                                                                    |
|                  | <a href="http://www.sinum.com/htdocs/e_software_regis.shtml">http://www.sinum.com/htdocs/e_software_regis.shtml</a>        |
|                  | <b>VERSIONS DISPONIBLES Y PREUS</b>                                                                                        |
|                  | REGIS 2.3                                                                                                                  |
|                  | <b>DESCRIPCIÓ</b>                                                                                                          |
|                  | Pot utilitzar ecobalanços d'acord amb els estàndards provats i assajats de forma que ofereixen flexibilitat i simplicitat. |
|                  | <b>BASES DE DADES DISPONIBLES AMB LA EINA</b>                                                                              |
|                  | Base de dades principal:<br>- Ecoinvent datos v1.3<br>Bases de dades addicionals:<br>- Infrac, BUWAL, etc                  |
|                  | <b>FORMATS IMPORTACIÓ/EXPORTACIÓ</b>                                                                                       |
|                  | csv, EcoSpold 1, Excel / EcoSpold 1, Excel, html, txt                                                                      |

|                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>SimaPro 7</b> | <b>DESENVOLUPADOR</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|                  | PRé Consultants BV                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|                  | <b>SOFTWARE WEBSITE</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|                  | www.pre.nl / SimaPro o www.simapro.com                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|                  | <b>VERSIONS DISPONIBLES Y PREUS</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
|                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Analyst: Versió complertaper 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 LA 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>- Danish Food data</li> <li>- Dutch input output data</li> <li>- Ecoinvent Data v1.3</li> <li>- ESU ETH data</li> <li>- Franklin USA data</li> <li>- IDEMAT</li> <li>- Industry data</li> <li>- USA input output data</li> <li>- IO-database for Denmark 1999</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|                  | <b>FORMATS IMPORTACIÓ/EXPORTACIÓ</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
|                  | csv, EcoSpold 1, Excel / csv, EcoSpold 1, Excel                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |

## 6.5. IMPACTES ECONÒMICS

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. UNE-EN 15643-4, 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 cycle de vida que pot alterar les condicions econòmiques), al llarg del seu cycle 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 (apartat 11.4 Certificats ambientals i energètics).

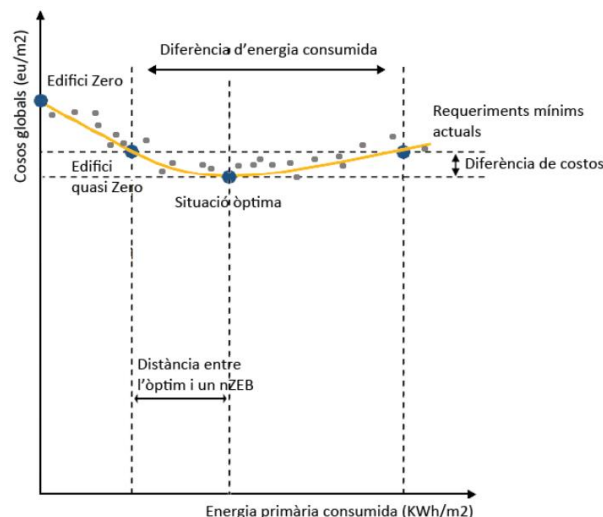


Fig. 58. Relació òptima entre benefici-cost. Font: (BPIE - Buildings Performance Institute Europe -, 2012). Elaboració: elaboració pròpia.

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 en l'estudi d'optimització que es realitzarà en el desenvolupament de la tesi doctoral.

### 6.5.1. 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. UNE-EN 15643-4, 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. Mètodes, elaborada pel grup de treballadors CEN / TC 350/WG 4)**, actualment en elaboració.

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 quantitatius.
- 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 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>.

### 6.5.2. Anàlisi del cycle de vida

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

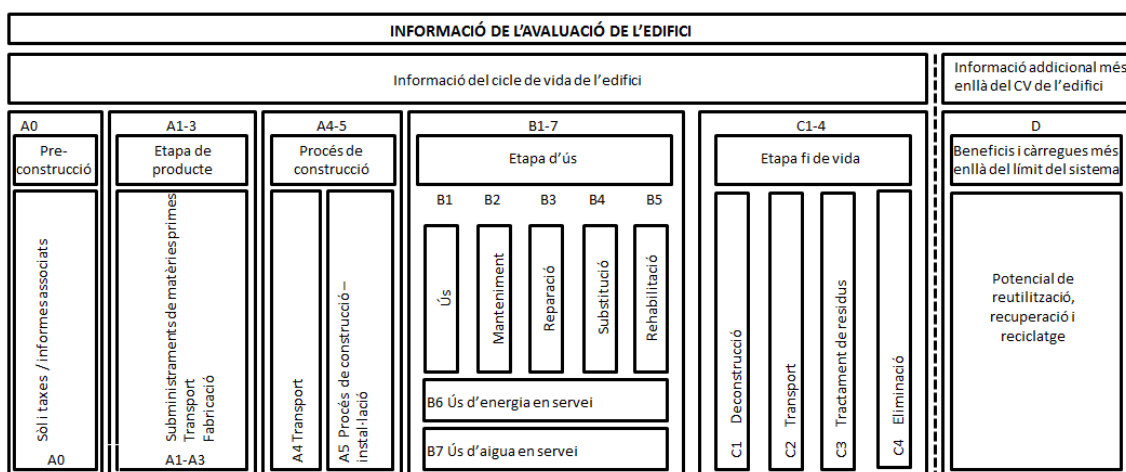


Fig. 59. Mòduls d'informació aplicats a l'avaluació del comportament econòmic d'un edifici <sup>5</sup>. Font: (AENOR. UNE-EN 15643-4, 2012). Elaboració: elaboració pròpia.

<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 deconstrucció, 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 33. Costos associats als mòduls A1-A5. Font: (AENOR. UNE-EN 15643-4, 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 34. Costos associats als mòduls B1-B5. Font: (AENOR. UNE-EN 15643-4, 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 35. Costos associats als mòduls B6-B7. Font: (AENOR. UNE-EN 15643-4, 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 36. Costos associats als mòduls C1-C4 i D. Font: (AENOR. UNE-EN 15643-4, 2012). Elaboració: elaboració pròpia**

|                                                                                                         |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Deconstrucció, desmantellament, demolició                                                               |
| Tots els costos de transport associats amb el procés de deconstrucció 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.

### 6.5.3. 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.

### 6.5.4. Indicadors econòmics potencials

El següent llistat, són un grup de indicadors que no es troben reflectits en la Norma però que es proposen per un futur desenvolupament (és una suggerència, per tant, no és definitiva ni completa):

**Taula 37. Proposta de indicadors econòmics potencials. Font: (AENOR. UNE-EN 15643-4, 2012).**  
Elaboració: elaboració pròpia

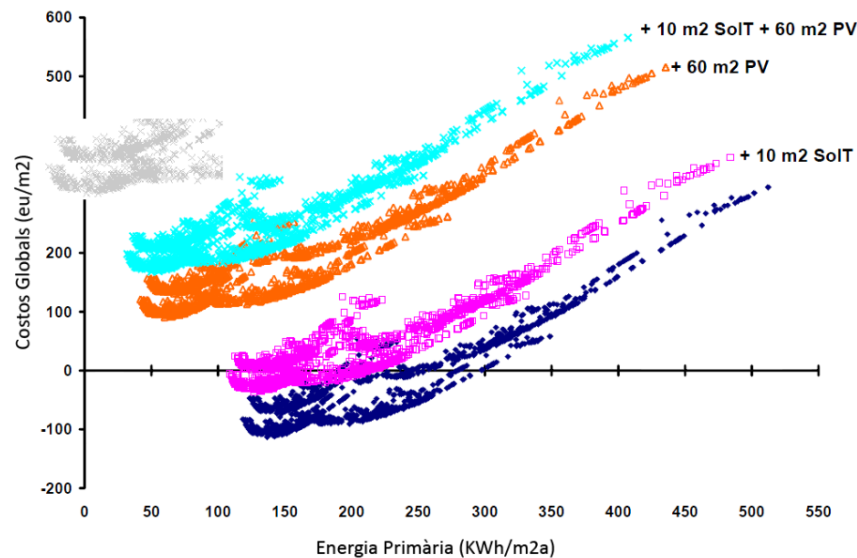
|                                                                                                                                                                                                                     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <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 C01 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);                                                                                                                                              |

#### 6.5.5. 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 es 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 (entens 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. 60. Diferents paquets de situacions d'estudi.** Font: (Hamdy, Hasan, & Siren, 2011). Elaboració: 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 a 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 de inversió inicials
- Costos de funcionament (inclouen costos de la substitució periòdica, dels elements dels edificis, si es dona 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'explotació 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 al 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 de 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 $i$ . |
|--------------|----------------------------------------------------------------------------------------|

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.

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 adoptades, etc...).*

## 6.6. IMPACTES SOCIALS

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.

### 6.6.1. 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.

### 6.6.2. 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
- Adaptabilitat
- Salut i confort
- Càrregues al veïnat

- Manteniment
- Seguretat
- 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.

NOTA: Per la realització de les diferents avaluacions del casos d'estudi cal atendre a un equivalent funcional que haurà d'estar correctament especificat (mirar apartat 6.2.3 Tipologies d'habitatges).

### **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 reservat 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 interns de càrrega-elements (columnes, parets internes), Facilitat de demolició / deconstrucció d'elements constructius interiors, redundància en la capacitat de suport de càrrega, Accessibilitat / deconstrucció 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 (s'està elaborant una norma europea pel grup CEN/TC 169 / WG11, que es presentarà a finals del 2013).
- Característiques espacials: 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 del índex PMV-PDD 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 la neteja i el llibre de registre de l'edifici.
  - Higiene i comoditat per als usuaris dels impactes durant el manteniment.
  - Freqüència i el temps que es necessita per al manteniment regular.
  - 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 que causen les finestres a tancar, 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 que 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 puguin 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 correcta 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

**Taula 38. 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                                                                                                                                                                                                                                                       |                                                              | 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                                                                                                                            |
| IMPPLICACIÓ EN / IMPLICACIÓ DE      | Usuari de l'edifici | - Procediments de planejament integrats<br>- participació de l'usuari<br>- Implicació de les parts interessades                                                                                                                                                                                          |                                                              |                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                          | - Accessibilitat<br>- Adaptabilitat<br>- Salut i confort<br>- Manteniment<br>- Seguretat de persones i bens<br>- Seguretat de persones i bens | - Salut i confort<br>- Seguretat de persones i bens<br>- Manteniment | - Materials perillosos, accidents, sorolls i pols                                                                                | - Soroll, tràfic o pols                                                                                                                         |
|                                     | Veïnat              | - Participació del veïnat<br>- Implicació de les parts interessades                                                                                                                                                                                                                                      |                                                              | - Tràfic i soroll<br>- 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)<br>- Normes socials i condicions de treball durant l'extracció i processat de matèries primeres<br>- I durant la fabricació de productes<br>- Origen dels materials<br>- 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)<br>Serveis socials en l'obra (banys, cuina)<br>- Implicació de les parts interessades | - Infraestructura (transport públic, altres)<br>- Disponibilitat social i eficiència de costos<br>- Implicació de les parts interessades |                                                                                                                                               |                                                                      | - Materials perillosos, accidents, sorolls i pols que afecten als treballadors en l'obra<br>- Disseny per la fàcil deconstrucció | - Tràfic al llarg de les rutes de transport<br>- Aspectes de salut de productes i components<br>- Disseny per la reutilització o reciclabilitat |

### **6.6.3. 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 del projecte de Norma prEN 16309.

Per garantir la transparència i la coherència del flux de 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:

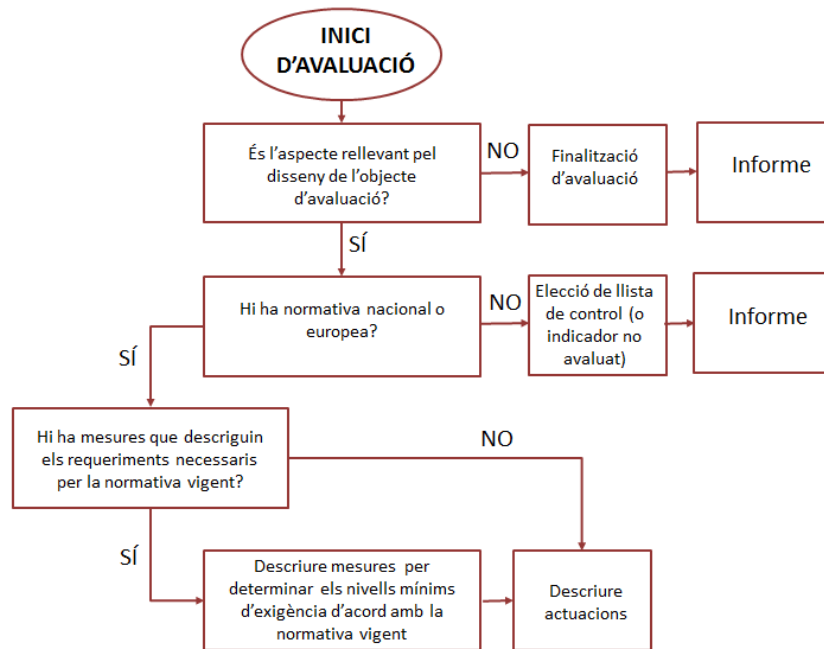


Fig. 61. Concepte d'avaluació de l'acompliment social dels edificis. Font: (AENOR. UNE-EN 15643-3, 2012).

En la Norma prEN 16309, 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 de 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.

## 6.7. MOTORS DE CàLCUL – Eines informàtiques de simulació

Es poden identificar varis softwares 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.

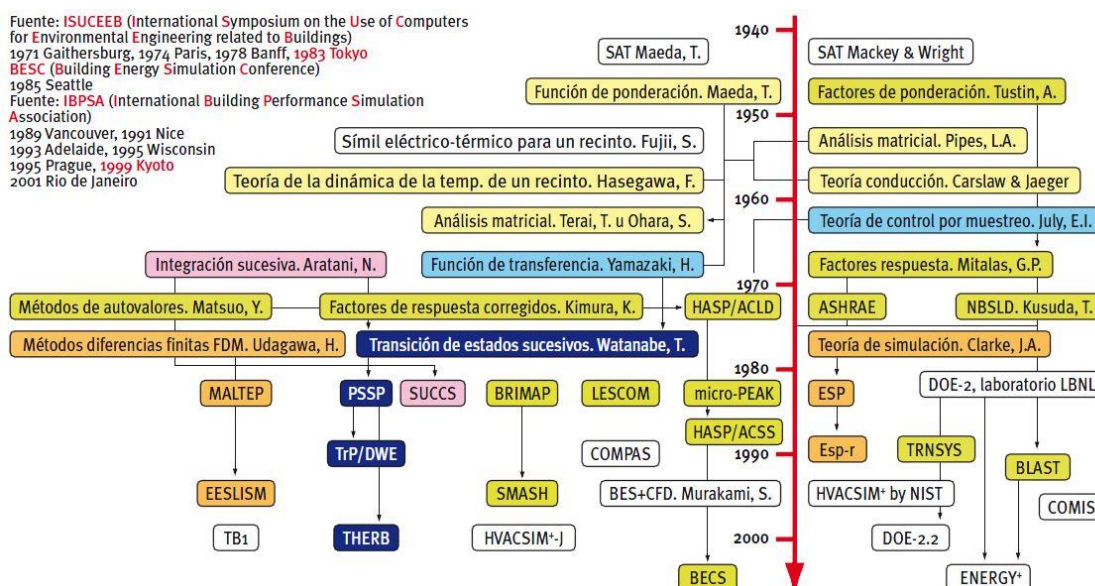


Fig. 62. Exemples de mètodes, autors i programes. Font: (IDAE, 2008).

Taula 39. Taules comparatives entre diferents softwares de simulació. Font: (Crawley, Kummert, Hand, & Griffith, 2005).

| Table 1<br>General Modeling Features                        | BLAST | BSim            | DeST | DOE-2.1E | ECOTECH      | EnerWin | Energy Express  | Energy-10 | Energy Plus     | eQUEST          | ESP-r           | HAP             | HEED            | IDA ICE         | IES <VE> | PowerDomus      | SUNREL | Tas | TRACE           | TRNSYS          |
|-------------------------------------------------------------|-------|-----------------|------|----------|--------------|---------|-----------------|-----------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------|-----------------|--------|-----|-----------------|-----------------|
| • Multi-sided polygons                                      | X     | X               | X    | X        | X            | P       |                 |           | X               | X               | X <sup>21</sup> |                 | X               | X               | X        |                 |        | X   | X               | X <sup>20</sup> |
| Import building geometry from CAD programs                  |       | X <sup>22</sup> | P    |          | X            |         | X <sup>23</sup> |           | X               | X               | X               | P <sup>23</sup> |                 | X <sup>24</sup> | X        | X <sup>25</sup> |        | X   | X               | X <sup>26</sup> |
| Export building geometry to CAD programs                    |       |                 |      |          | X            |         |                 |           | X <sup>22</sup> | X <sup>27</sup> | X <sup>27</sup> |                 |                 |                 | X        |                 |        | X   | X <sup>28</sup> |                 |
| Import/export model to other simulation programs            |       |                 |      |          | X            |         |                 |           | X <sup>29</sup> | X <sup>30</sup> | X <sup>30</sup> |                 |                 |                 |          |                 |        |     |                 |                 |
| Number of surfaces, zones, systems, and equipment unlimited |       | X <sup>31</sup> | X    |          | X            |         |                 |           | X               | X <sup>32</sup> | X <sup>33</sup> | X <sup>34</sup> | X <sup>35</sup> | X               | X        | X               |        | X   | X               | X <sup>36</sup> |
| Simple building models for HVAC system simulation           |       |                 | E    |          | <sup>3</sup> |         |                 |           | X               | X               | X               |                 |                 | X               |          |                 |        |     | X               | X               |
| • Import calculated or measured loads                       |       |                 |      |          |              | X       |                 |           |                 |                 | X               |                 |                 |                 |          |                 |        |     |                 | X <sup>37</sup> |
| • Simple models (single lumped capacitance per zone)        |       |                 |      |          |              |         |                 |           |                 |                 | X               |                 |                 |                 |          |                 |        |     |                 |                 |

| <i>Table 3<br/>Building Envelope, Daylighting and Solar</i>                                                                          | BLAST | BSim | DeST | DOE-2.1E | ECOTECT | EnerWin | 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    | X        | X       | X       | X              | X         | X                | X      | X                | X   | X    | X       | X        | X                | X      | X   | X     | X                |
| ▪ 2- and 3-dimension                                                                                                                 |       |      | P    |          |         |         |                |           |                  |        | R                |     |      | O       |          |                  |        |     |       |                  |
| Ground heat transfer                                                                                                                 |       |      |      |          |         |         |                |           |                  |        |                  |     |      |         |          |                  |        |     |       |                  |
| ▪ ASHRAE simple method <sup>104</sup>                                                                                                | P     | X    | X    | P        | X       | X       | X              | X         | X <sup>106</sup> | X      | X                | X   | X    | X       | X        | X                | X      | X   | P     | X <sup>105</sup> |
| ▪ 1-dimension                                                                                                                        |       |      |      |          |         |         |                |           |                  |        |                  |     |      | O       |          |                  |        |     |       | O <sup>105</sup> |
| ▪ 2- and 3-dimension slabs                                                                                                           |       |      |      |          |         |         |                |           |                  |        | R                |     |      | O       |          |                  |        |     |       | O <sup>105</sup> |
| ▪ 2- and 3-dimension basements                                                                                                       |       |      | P    |          |         |         |                |           | X                |        | R                |     |      | O       |          | O <sup>107</sup> | R      |     |       | O <sup>105</sup> |
| Variable thermophysical properties                                                                                                   |       |      |      |          | X       |         |                |           |                  |        | I                |     |      | X       |          | 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                |

| <i>Table 4<br/>Infiltration, Ventilation, Room Air and Multizone Airflow</i> | BLAST | BSim | DeST             | DOE-2.1E | ECOTECT | EnerWin | 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     | 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       |                |           |                  |                  | 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 <sup>114</sup> | P          | X      | X   |       | O <sup>111</sup> |
| Multizone airflow (via pressure network model)                               |       | X    | P                |          |         |         |                |           | X                |                  | X                |     |      |         | X                |            | X      | X   |       | O <sup>111</sup> |
| Displacement ventilation                                                     |       |      |                  |          |         |         |                |           | X <sup>115</sup> |                  | X <sup>116</sup> |     |      | X       | X                |            |        | X   |       | O <sup>117</sup> |
| Mix of flow networks and CFD domains                                         |       |      | X                |          |         |         |                |           |                  |                  | E                |     |      |         |                  |            |        |     |       |                  |
| Contaminants, mycotoxins (mold growth)                                       |       | P    |                  |          |         |         |                |           |                  |                  | P <sup>118</sup> |     |      |         |                  | P          |        |     |       |                  |

| <i>Table 9<br/>Environmental Emissions</i>                                        | BLAST | BSim | DeST | DOE-2.1E | ECOTECT | EnerWin | 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     | I      |
| On-site energy emissions                                                          | X     | X    | P    | X        | X       | X       |                |           | X          | X      | X     | X                | X    |         | X        |            |        | X   | X     | I      |
| 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 <sup>119</sup> | X    |         | X        |            |        | X   | X     |        |
| Carbon equivalent of greenhouse gases                                             | X     |      |      | X        |         |         |                |           | X          |        |       |                  |      |         | X        |            |        | X   |       | I      |
| Criteria pollutants (CO, NO <sub>x</sub> , SO <sub>x</sub> , PM, Pb)              |       |      |      |          |         |         |                |           | X          |        |       | X <sup>120</sup> |      |         | X        |            |        |     |       |        |
| Ozone precursors (CH <sub>4</sub> , NMVOC, NH <sub>3</sub> )                      |       |      |      |          |         |         |                |           | X          |        |       |                  |      |         | X        |            |        |     |       |        |
| Hazardous pollutants (Pb, Hg)                                                     |       |      |      |          |         |         |                |           | X          |        |       |                  |      |         |          |            |        |     |       |        |
| Water use in power generation                                                     |       |      |      |          |         |         |                |           | X          |        |       |                  |      |         |          |            |        |     |       | X      |
| High- and low-level nuclear waste                                                 |       |      |      |          |         |         |                |           | X          |        |       |                  |      |         |          |            |        |     |       |        |
| Pollutant emissions factors <sup>126</sup>                                        |       |      |      |          |         |         |                |           | X          |        |       |                  | X    |         |          |            |        |     |       |        |

| <i>Table 11<br/>Economic Evaluation</i>      | BLAST | BSim | DeST | DOE-2.1E | ECOTECT | EnerWin | 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   | X     | X      |
| ▪ Complex energy tariffs <sup>127</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      |
| ▪ User selectable billing dates              |       |      |      | 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 <sup>128</sup> | X    |         | X        |            |        |     | X     | X      |
| ▪ Standard life-cycle costing <sup>129</sup> |       |      |      |          |         | X       |                | X         | X          | X      | P <sup>130</sup> | X                |      |         | X        |            |        |     |       | X      |

| <i>Table 12<br/>Results Reporting</i>                                                                 | BLAST            | BSim | DeST | DOE-2.1E | ECOTECT | EnerWin | Energy Express | Energy-10 | EnergyPlus | eQUEST | ESP-r            | HAP | HEED | IDA ICE | IES <VE>         | PowerDomus | SUNREL | Tas | TRACE | TRNSYS           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|------|------|----------|---------|---------|----------------|-----------|------------|--------|------------------|-----|------|---------|------------------|------------|--------|-----|-------|------------------|
| Standard reports                                                                                      | X                |      | X    | X        | X       | X       | X              | X         | X          | X      | X <sup>131</sup> | X   |      | X       | X                |            | X      | X   | X     | X                |
| User-defined reports                                                                                  | X <sup>132</sup> | X    | 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          | X      | X   | X     | X                |
| ▪ Text                                                                                                |                  | X    | X    |          | X       |         |                |           | X          | X      | X                | X   | X    | X       | X                | X          | X      | X   | X     | X                |
| ▪ Word                                                                                                |                  |      |      |          | X       |         |                |           | X          | X      | X                | X   | X    | X       | X                | X          | X      | X   | X     | X                |
| ▪ Tab-separated value                                                                                 |                  | P    | X    |          | X       |         | 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     | X                |
| ▪ Graph                                                                                               |                  |      |      |          | X       |         | X              | X         | X          | X      | X                | X   | X    | X       | X                | X          | X      | X   | X     | X                |
| ▪ Statistics                                                                                          |                  |      |      |          |         |         |                |           | X          | X      | X                | X   | X    | X       | X                | X          | X      | X   | X     | X                |
| Load, system, and plant variables reportable at time step with daily, monthly, and annual aggregation | X <sup>133</sup> | X    | 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   | P     | X                |
| ▪ Variable versus variable                                                                            |                  |      |      |          |         |         |                | X         | X          | X      | X                |     |      | X       | X                | X          |        | X   |       | O <sup>134</sup> |
| Meters                                                                                                |                  |      |      |          |         |         |                |           |            |        |                  |     |      |         |                  |            |        |     |       |                  |
| ▪ Energy end-uses <sup>135</sup>                                                                      | X                | X    | 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   | X     | X                |
| ▪ Peak demand period user-selectable <sup>134</sup>                                                   |                  |      |      |          | X       |         |                |           | X          | X      | X                | X   | X    | X       | X                | X          |        | X   | X     | X <sup>135</sup> |
| ▪ Consumption by energy source                                                                        | X                |      | X    | 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 <sup>136</sup> |     |      | X       | X                | X          |        | X   | X     | X                |
| ▪ Multiple levels of sub-metering                                                                     |                  | X    |      |          |         |         |                |           | X          | X      |                  |     |      | X       | X                | X          |        | X   | X     | X                |
| Auto-sizing report                                                                                    |                  |      | X    | X        |         |         |                | X         | X          | X      |                  | X   |      | X       | X                |            |        | X   | X     | X                |
| Automatic generation of energy balance checks <sup>137</sup>                                          |                  |      |      |          |         |         |                | X         | X          |        | X                |     |      | X       | X <sup>138</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, 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 proves 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 per les simulacions.

#### **6.7.1. 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'ídoni.

Per tant, els mètodes de càlcul, per una banda han de ser capaços de caracteritzar els requeriments energètics, els cicles de vida, les necessitats de confort, gestió, màquines i per una altra caldrà definir el components que integren l'edifici, com són les parets, finestres i sostres. 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 diferencia 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 ( $I$  [ $\text{K/m}^2\text{K}$ ]), l'angle de incidència de la radiació solar ( $\theta$ ) i de la radiació difusa que impacta a l'edifici ( $D$  [ $\text{K/m}^2\text{K}$ ]). 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 del 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) -formulació explicada breument en l'apartat 5.7.3-. L'expressió general per calcular els guanys de les càrregues és:

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

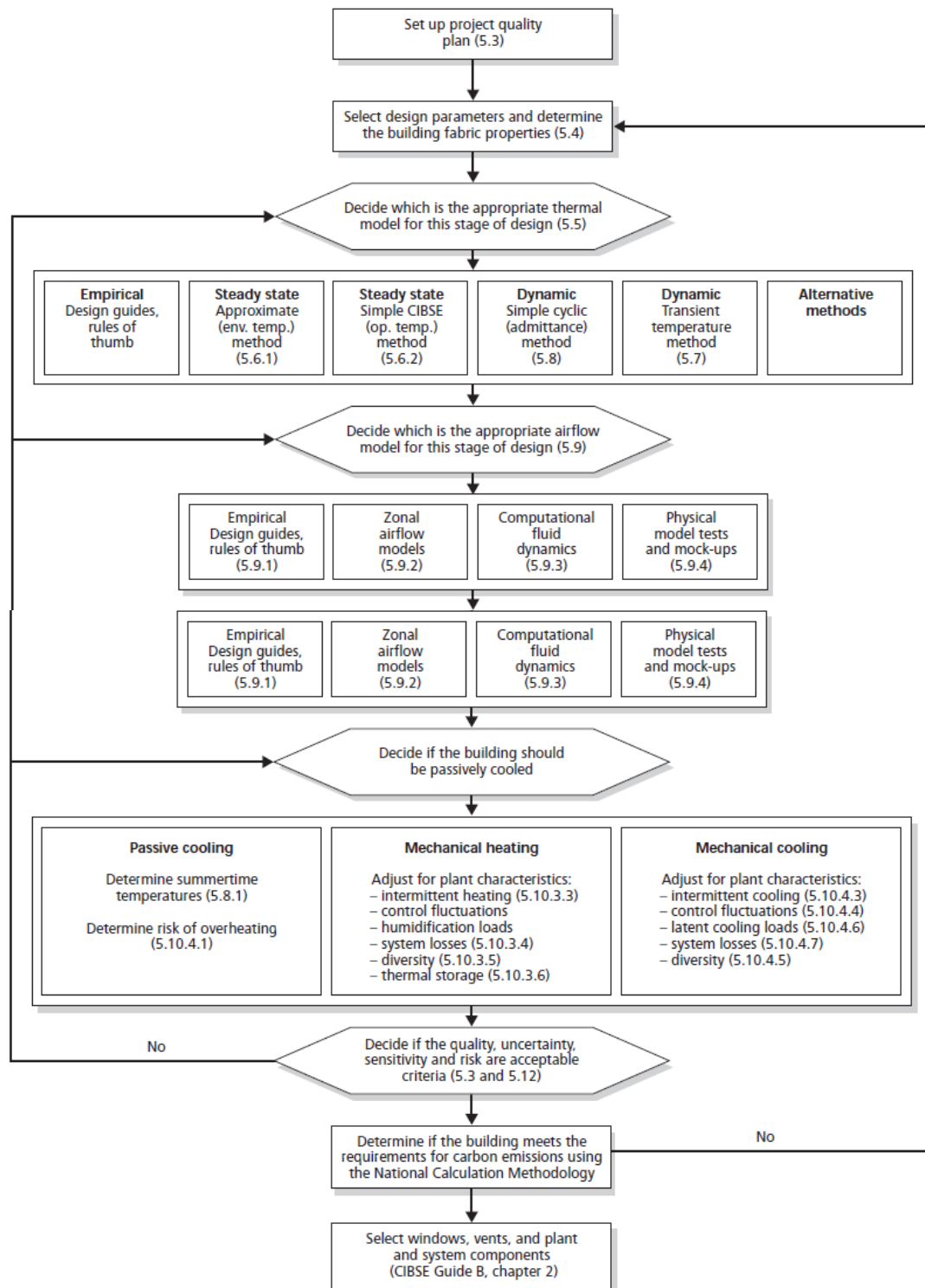


Fig. 63. Diagrama de les metodologies pel modelatge tèrmic i dimensionat de fluxos. Font: (CIBSE Guide A, 2006, pág. 174).

## 6.7.2. Eines on-line / SmartPhones

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 hi ha cap eina via internet que estigui validada per tal de que les dades extretes serveixin per realitzar la certificació de l'edifici.

En la següent taula es pot veure la relació d'aquestes eines i una breu explicació de cadascuna d'elles:

**Taula 40. Relació on s'exposen varies eines de simulació energètica via on-line. Font: Elaboració pròpia.**

| NOM                                          | DESCRIPCIÓ                                                                                                                                                                              | URL                                                                                                                                                                                                                 |
|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| U.S. - NREL                                  | Simulador basat amb el software EnergyPlus, que permet dissenyar l'arxiu *.idf per càlcul.                                                                                              | <a href="http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/inputs/index.cfm#form_generator">http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/inputs/index.cfm#form_generator</a>                           |
| NREL - Model market                          | Servei gratuït que permet realitzar una simulació anual del model mitjançant EnergyPlus, previ introducció de les dades                                                                 | <a href="https://modelmaker.nrel.gov/">https://modelmaker.nrel.gov/</a>                                                                                                                                             |
| MIT Design Advisor                           | Eina senzill que permet realitzar la simulació de l'edifici de forma àgil i eficaç. Motor de càlcul propi i possibilitat d'optimització.                                                | <a href="http://designadvisor.mit.edu/design/">http://designadvisor.mit.edu/design/</a>                                                                                                                             |
| 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.               | <a href="http://usa.autodesk.com/adsk/servlet/pc/index?id=11179508&amp;siteID=123112">http://usa.autodesk.com/adsk/servlet/pc/index?id=11179508&amp;siteID=123112</a>                                               |
| Gas Natural - Diagnòstic de consum energètic | Facilitant els consums reals de l'habitatge permet comparar amb els consums de referència associats a la capital de província.                                                          | <a href="http://portal.gasnatural.com/dceapp/swf/gn_dce_flex_cabecera_es.html?locale=es&amp;entorno=publico">http://portal.gasnatural.com/dceapp/swf/gn_dce_flex_cabecera_es.html?locale=es&amp;entorno=publico</a> |
| 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. | <a href="http://multimediafundacionlaboral.com/archivos/Simuladores/Eficiencia/">http://multimediafundacionlaboral.com/archivos/Simuladores/Eficiencia/</a>                                                         |
| Informe energètic                            | Servei senzill i gratuït on permet visualitzar de forma aproximada el consum i la classificació del nostre edifici.                                                                     | <a href="http://www.ahorratuenergia.es/nuevo-informe-ahorro/ubicacion-edificio">http://www.ahorratuenergia.es/nuevo-informe-ahorro/ubicacion-edificio</a>                                                           |
| BatRenover                                   | Portal francès que et permet definir el model i amb càlcul estàtic et permet veure el consum energètic de l'edifici.                                                                    | <a href="http://www.batirenover.com/bilan-energetique/">http://www.batirenover.com/bilan-energetique/</a>                                                                                                           |
| Dexma Enegy                                  | Aplicació que et permet veure de forma interactiva el consum de l'edifici                                                                                                               | <a href="http://www.dexmatech.com/">http://www.dexmatech.com/</a>                                                                                                                                                   |
| Calculadora energètica                       | Aplicació molt senzilla que permet realitzar una aproximació molt general del consum energètic de l'edifici.                                                                            | <a href="http://www.ocu.org/vivienda-y-energia/calefaccion/calculadora/etiqueta-energetica-edificios">http://www.ocu.org/vivienda-y-energia/calefaccion/calculadora/etiqueta-energetica-edificios</a>               |

|                             |                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Home Energy Performance Pro | És de les poques aplicacions per SmartPhone que permet realitzar una auditoria de l'habitatge obtenint l'etiqueta energètica. | <a href="https://market.android.com/details?id=com.greativemedias.apprating.world&amp;feature=search_result#?t=W251bGwsMSwxLDEsImNvbS5xcmlVhdGlZ2W1IZGlhcy5hcHByYXRpbmud29ybGQixQ..">https://market.android.com/details?id=com.greativemedias.apprating.world&amp;feature=search_result#?t=W251bGwsMSwxLDEsImNvbS5xcmlVhdGlZ2W1IZGlhcy5hcHByYXRpbmud29ybGQixQ..</a> |
|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

### 6.7.3. EnergyPlus – v.7.2

El software EnergyPlus (U.S. Department of Energy, 2013), basat amb llenguatge de programació Fortran 90 (Drury B. Crawley, 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).

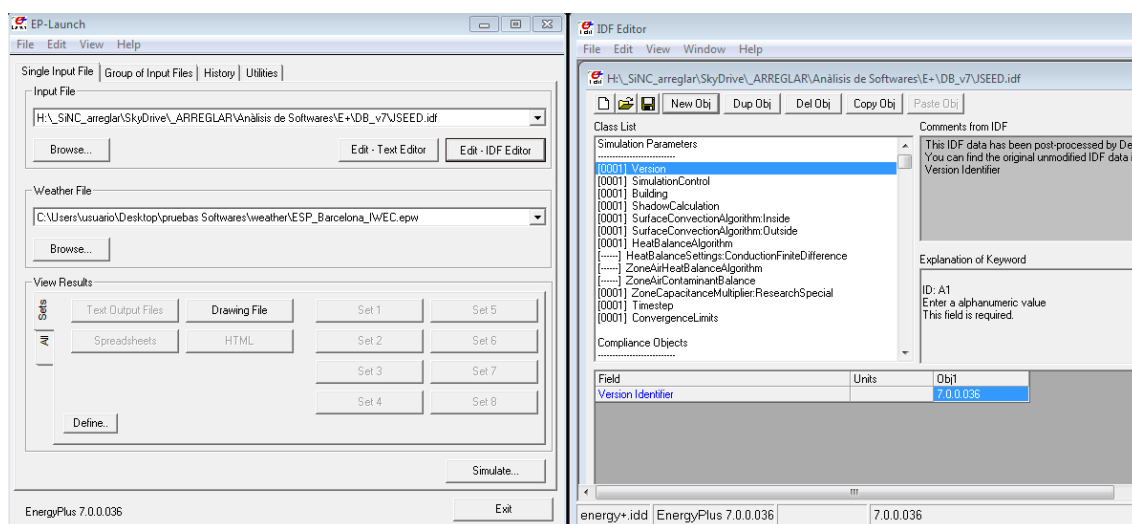


Fig. 64. Visió general del software EnergyPlus v.7.0. Font: Cas d'estudi propi.

Software amb constant evolució i reconegut internacionalment, en pocs anys ha passat de la versió 1.0 fins la 8.0 actual, 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.

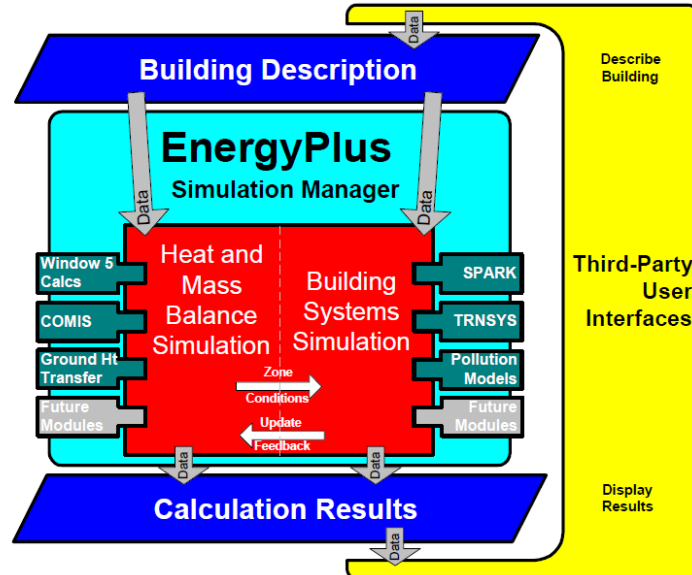


Fig. 65. Imatge dels diferents mòduls en que es basa EnergyPlus. Font: (Drury B. Crawleya, y otros, 2001).

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.

La formulació d'anàlisi de càrregues, utilitzada pel software EnergyPlus, per defecte, la podem trobar en el document “EnergyPlus. Engineering Reference” (University of Illinois and Lawrence Berkeley National Laboratory, 2012, pág. 35).

$$T_z^t = \frac{\sum_{i=1}^{N_{zi}} \dot{Q}_i + \sum_{i=1}^{N_{surfaces}} h_i A_i T_{si} + \sum_{i=1}^{N_{zones}} \dot{m}_i C_p T_{zi} + \dot{m}_{inf} C_p T_{\infty} + \dot{m}_{sys} C_p T_{supply} - \left( \frac{C_z}{\delta t} \right) \left( -3T_z^{t-\delta t} + \frac{3}{2}T_z^{t-2\delta t} - \frac{1}{3}T_z^{t-3\delta t} \right)}{\left( \frac{11}{6} \right) \frac{C_z}{\delta t} + \sum_{i=1}^{N_{surfaces}} h_i A + \sum_{i=1}^{N_{zones}} \dot{m}_i C_p + \dot{m}_{inf} C_p + \dot{m}_{sys} C_p}$$

$\sum_{i=1}^{N_{zi}} \dot{Q}_i$  = sum of the convective internal loads

$\dot{Q}_{sys}$  = air systems output

$\sum_{i=1}^{N_{surfaces}} h_i A_i (T_{si} - T_z)$  = convective heat transfer from the zone surfaces

$C_z \frac{dT_z}{dt}$  = energy stored in zone air

$\dot{m}_{inf} C_p (T_{\infty} - T_z)$  = heat transfer due to infiltration of outside air

$C_z = \rho_{air} C_p C_T$

$\rho_{air}$  = zone air density

$C_p$  = zone air specific heat

$\sum_{i=1}^{N_{zones}} \dot{m}_i C_p (T_{zi} - T_z)$  = heat transfer due to interzone air mixing

$C_T$  = sensible heat capacity multiplier (Detailed description is provided below)

**Fig. 66. Formulació emprada per defecte definit en l'objecte ZoneAirHeatBalanceAlgorithm. Font: (University of Illinois and Lawrence Berkeley National Laboratory, 2012).**

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 *temp. local* canvia al pas general del *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):

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

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 varis 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 .

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 (U.S. Department of Energy - NREL, 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 comprat per tal de realitzar modificacions directament.

**Taula 41. 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                    | m2-K/W             |
| Density                       | kg/m3              |
| 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; tot i que també es poden introduir dades com CO2/kg de material o cost de material o d'altres dades que el propi usuari pot definir (mirar apartat inicial 5.7 Motors de càlcul).

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 valida encara més el se 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).

## 6.8. 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, ens 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, & Colls, 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 de 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, actualment no existeix cap paquet de simulació que integri l'optimització i totes les fases de l'edifici (disseny-construcció-ús-deconstrucció).

### 6.8.1. Mètodes de càlcul – Algoritmes d'optimització

Els algoritmes 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 altra 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: podem parlar de 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'algoritme més idoni que s'ajusta als criteris de partida. Per la realització d'aquests càlculs, els algoritmes d'optimització que en general s'utilitzen són (GenOpt, 2011):

Cas Diferenciable continu  $P_c$   $n=1$

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

Algoritme Paramètric (secció 7.1, pàg 62)

Algoritme discret Gradient Armijo

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

Algoritme Híbrid: secció 5.5

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

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

Cas amb Variables discretes  $P_d$

Algoritme d'optimització Particle Swarm: secció 5.4

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

Algoritme d'optimització Particle Swarm: secció 5.4

Algoritme Híbrid: secció 5.5

### **6.8.2. Programes d'Optimització**

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 Sattrop, 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, & Colls, 2012).

Previ a l'optimització (o un altre camí a seguir) hi ha la parametrització, on es simulen una gran quantitat de situacions possibles que es volen analitzar (normalment són les que realment es podran portar a terme si el model es construeix). 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).

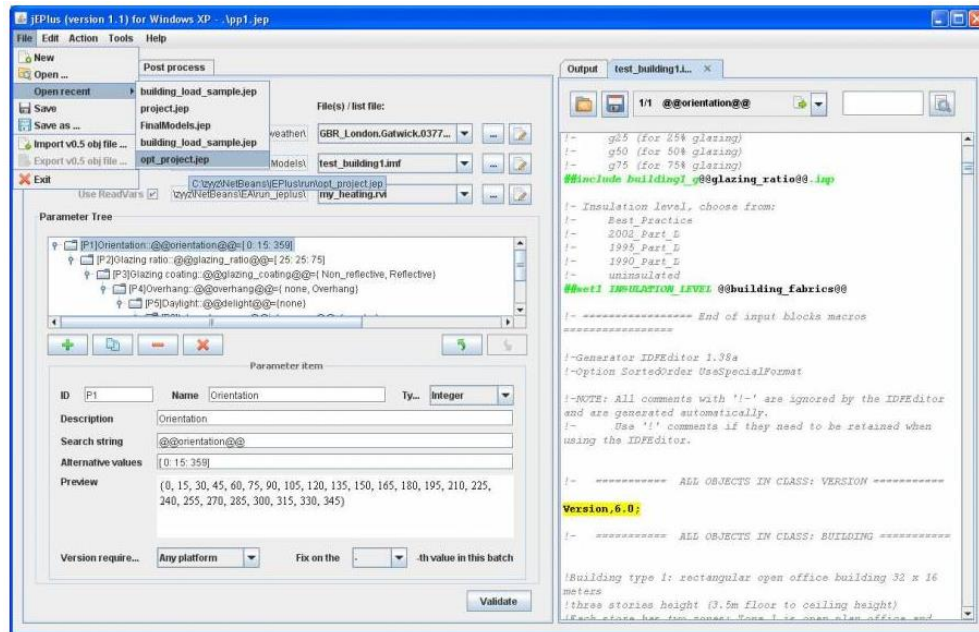


Fig. 67. Interface general de JePlus. Font: (Zhang, 2013).

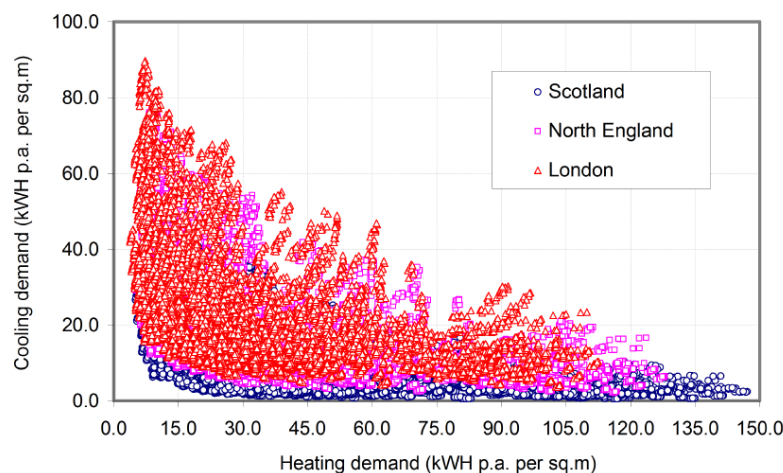


Fig. 68. Cas d'estudi amb JePlus, amb 34.560 situacions. Font: (Yi & Ivan , 2010).

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, i Dakota (The DAKOTA Project, 2011), kit de disseny d'anàlisi per a l'optimització i aplicacions. A nivell de softwares comercials, es pot anotar el TrnOpt (Universidad de Wisconsin, 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'algoritmes 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.

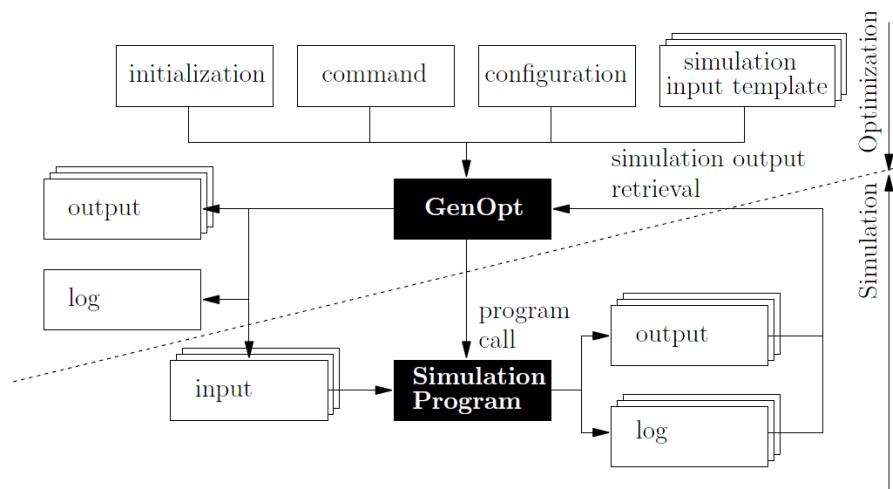


Fig. 69. Interfície entre GenOpt i el programa de simulació que avalua la funció de cost.

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).

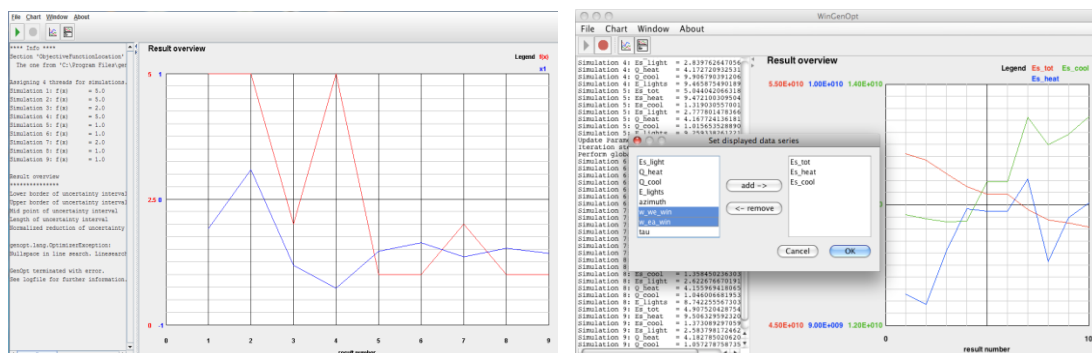
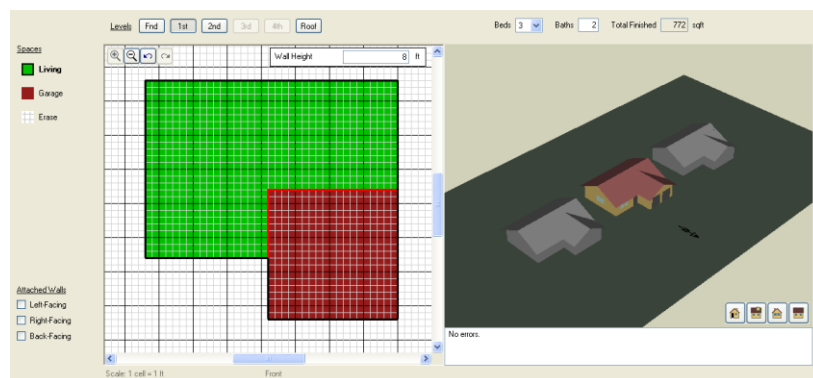


Fig. 70. Visió general del funcionament de programa GenOpt durant el progrés de l'optimització. Font: (GenOpt, 2011).

Disposa d'un conjunt d'algoritmes d'optimització que poden ser ampliat fàcilment sense la necessitat de conèixer els detalls de l'estructura del programa. Alguns d'aquests algoritmes a destacar són: Hooke-Jeeves, algoritme 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. 71.** 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.

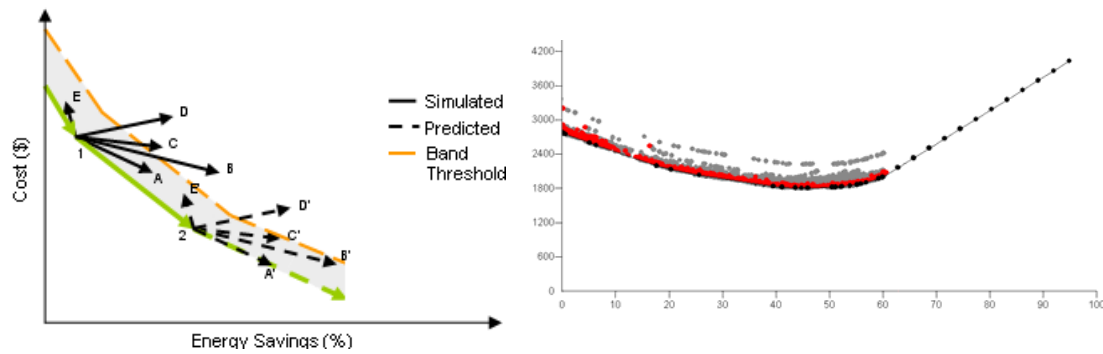


Fig. 72. Procés de càlcul de seqüenciació per arribar a l'òptim. Font: (Horowitz & Christensen, 2008).

A cada pas, es calcula el cost de l'energia estalviada i es compara amb el cost de l'energia fotovoltaica. La situació on el cost d'energia fotovoltaica és major, el disseny de l'edifici es manté constant i la capacitat de la fotovoltaica augmenta fins que s'arriba a compensar tota l'energia. Per tant, de la figura anterior, el punt 2 és una mesura més econòmica i de major estalvi energètic que l'anterior, i, així, successivament fins trobar el mínim.

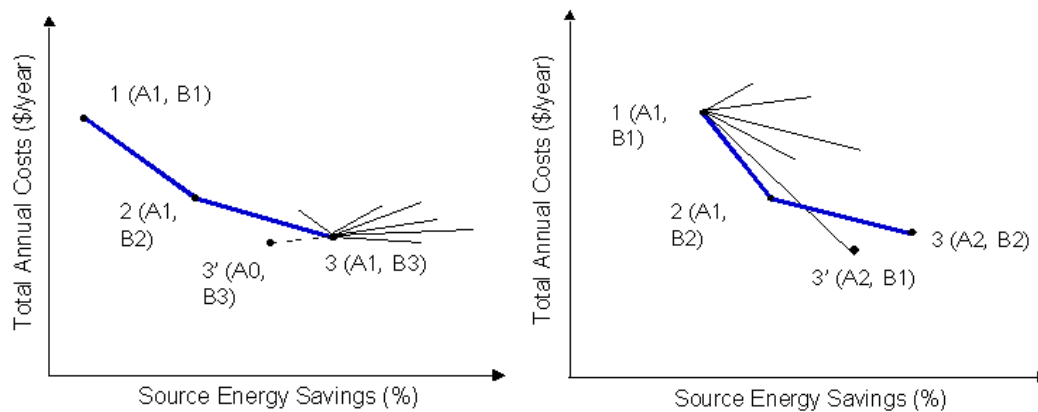


Fig. 73. Procés de càlcul de seqüenciació per arribar a l'òptim. Font: (BeOpt, 2012).

Aquest procés pot donar a una sèrie de situacions d'error (on alguna situació posterior pot arribar a millorar situacions considerades òptimes anteriorment (figura anterior 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 anterior dreta) on una situació genera gran estalvi amb referència al altres resultats, essent possible la generació d'una corba d'òptim errònia. En aquest cas, BeOpt també ho avalua analitzant situacions anteriors i posteriors pròximes.

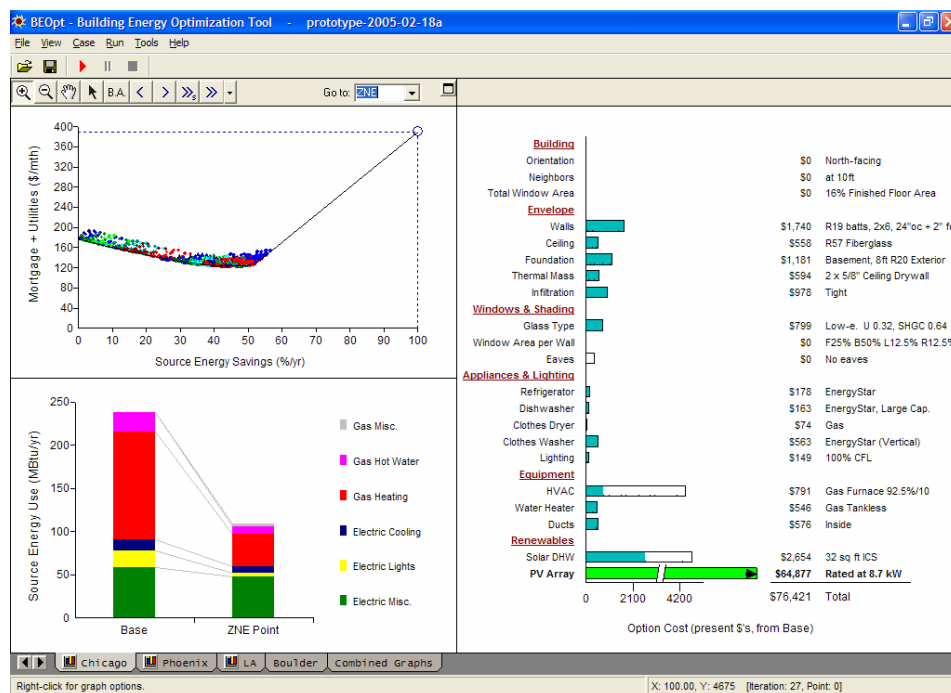


Fig. 74. Pantalla de resultats per un cas concret d'estudi. Font: (Craig , Scott , Todd, Adam , & Greg , 2005).

### 6.8.3. 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), 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).

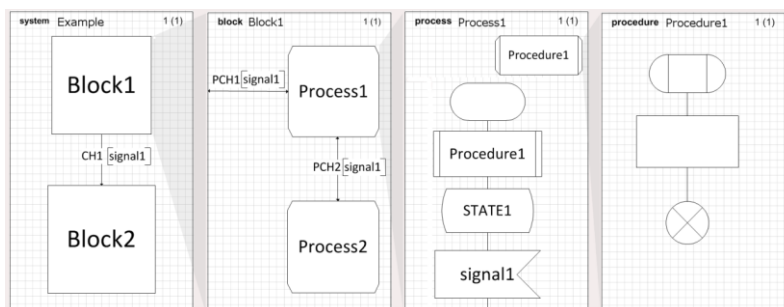


Fig. 75. Sistemes i subsistemes que component el llenguatge SDL. Font: (Doldi, 2001).

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

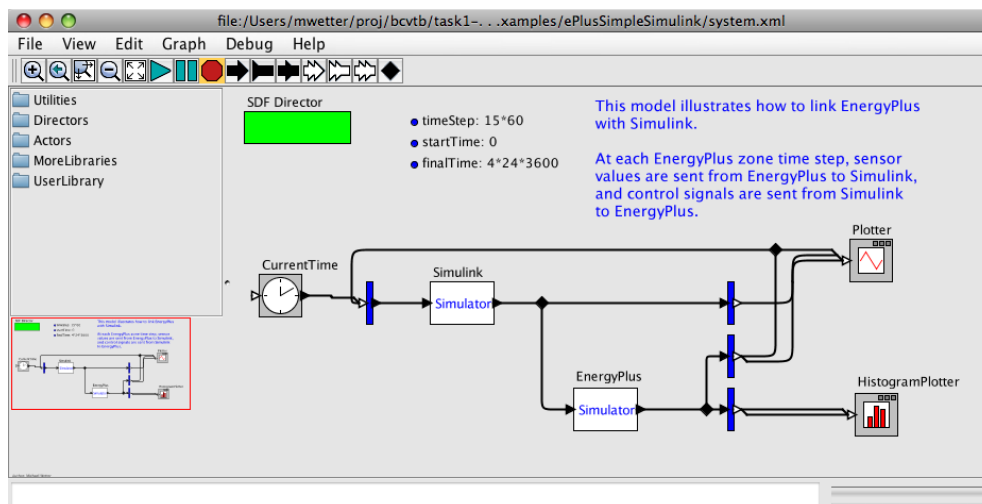


Fig. 76. Imatge general del BCVTB. Font: (Building Technologies Department, 2012).

A mode de resum, es mostra una taula dels diferents softwares avaluats i que han servit de base pel desenvolupament del co-simulador d'aquesta tesi doctoral.

**Taula 42. 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 pluguin) | No                      | No               | No             | No                       | No (sí amb OpenStudio)      | Sí (editor IDF)          |
| <b>JEPlus</b>              | E+                            | si                    | 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>Building OptimalSIM</b> | E+ / Radiance                 | Sí                    | Sí (en procés)          | Sí               | Sí             | Sí (en procés)           | No (sí amb programa extern) | Sí ( <b>web</b> i local) |

**Taula 43. Comparativa dels diferents sistemes de co-simulació i simuladors d'optimització energètica.**  
Font: Elaboració pròpia.

|                            | Llenguatge de programació | Recollida de resultats       | Llicència                 | NOTES                                                                       | Font                                                                                                                                                                  |
|----------------------------|---------------------------|------------------------------|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>EnergyPlus</b>          | Fortran 90                | HTML i gràfic + tabla *.csv  | gratuïta (accés al codi)  | motor de càlcul base                                                        | <a href="http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/">http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/</a>                                                   |
| <b>JEPlus</b>              | java                      | tabla *.csv                  | lliure per investigació   |                                                                             | <a href="http://www.iesd.dmu.ac.uk/~yzhang/wiki/doku.php?id=software:java:jeplus">http://www.iesd.dmu.ac.uk/~yzhang/wiki/doku.php?id=software:java:jeplus</a>         |
| <b>GenOpt</b>              | java                      | input i output arxiu de text | gratuïta, cal conformitat |                                                                             | <a href="http://gundog.lbl.gov/GO/download.html">http://gundog.lbl.gov/GO/download.html</a>                                                                           |
| <b>BeOpt</b>               | java                      | gràfiques                    | lliure                    |                                                                             | <a href="https://beopt.nrel.gov/softwareHelp">https://beopt.nrel.gov/softwareHelp</a>                                                                                 |
| <b>OptePlus</b>            |                           |                              |                           | per terciari                                                                | <a href="http://www.nrel.gov/buildings/energy_analysis.html">http://www.nrel.gov/buildings/energy_analysis.html</a>                                                   |
| <b>Dakota</b>              | C++                       |                              | lliure                    |                                                                             | <a href="http://dakota.sandia.gov/publications.html">http://dakota.sandia.gov/publications.html</a>                                                                   |
|                            | Llenguatge de programació | Recollida de resultats       | Llicència                 | NOTES                                                                       | Font                                                                                                                                                                  |
| <b>BCVTB</b>               | SIMULINK/ C++             | MATLAB                       | comercial                 | És de pagament; llenguatge no estàndard                                     | <a href="http://simulationresearch.lbl.gov/bcvtb">http://simulationresearch.lbl.gov/bcvtb</a>                                                                         |
| <b>Building OptimalSIM</b> | SDL / C++ (web en ruby)   | SDLPS / EYE / Quick R        | -                         | ACV edifici + Redefinició de dades meteorològiques + Compensació energètica | UPC-Barcelonatech (inLab - SummLab);<br><a href="http://inlab.fib.upc.edu/ca/nzeb-optisim-sustainability">http://inlab.fib.upc.edu/ca/nzeb-optisim-sustainability</a> |

## 7. OPTIMALSIM – UPC (ENERGYPLUS + QR STADISTICS)

---

Projecte en desenvolupament que s'ha iniciat arran d'aquesta tesi doctoral i, després d'avaluar les diferents opcions i de comparar els softwares existents mencionats anteriorment (veure taula anterior), es va prendre la determinació d'idear un co-simulador 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'està desenvolupant conjuntament amb el centre de recerca Inlab i SummLab de la UPC (Inlab - UPC, 2012).

### 7.1. OBJECTIUS

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

La idea es poder avaluar i trobar l'òptim tenint en compte el cicle de vida complet del model d'estudi (disseny + construcció + ús/manteniment + deconstrucció + reutilització + compensació energètica), per apropar-nos al màxim a un NZEB.

Permetre la utilització de varis motors de càlcul de llicència lliure, tots sota un mateix entorn: motor de càlcul de balanç tèrmic (EnergyPlus o altres) + motor de càlcul lumínic (Radiance) + motor de renderització (Skecthup o Blender) + motor de càlcul de CFD (OpenFoam) + tractament de dades (QuickR Stadistics).

Desenvolupar el software de simulació d'optimització on-line, per oferir un servei distribuït i permetre treballar en paral·lel.

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

### 7.2. METODOGIA

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

- Impactes ambientals. Es basa principalment en el DAP's (UNE-EN 15643-2 i UNE-EN 15978), explicats en l'apartat 6.4.5, i base de dades principalment nacionals (mirar apartat impactes ambientals - taula 31).
- Impactes Econòmics. Segons la normativa de Sostenibilitat en la Construcció (UNE-EN 15643-4)
- Impactes Socials. Segons la normativa de Sostenibilitat en la Construcció (UNE-EN 15643 -3)

Confort interior: es basa en les normatives vigents (veure apartat 11.3)

### 7.2.1. Estructura del model

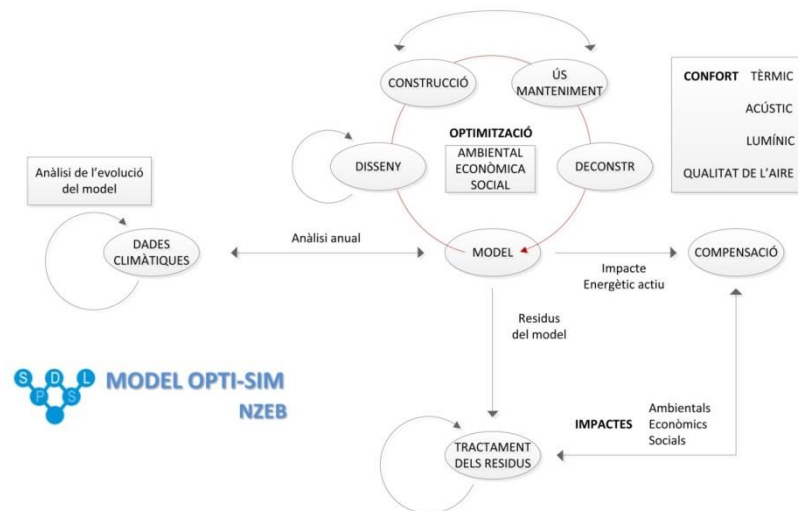


Fig. 77. Estructura general del simulador (sistema gràfic). Font: elaboració pròpia.

Com es veu amb l'estructura general del co-simulador (imatge anterior), 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 (en desenvolupament).
  - a. Disseny. Procés on s'optimitza la forma de l'edifici, la compacitat i obertures del disseny inicial.
  - 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).
  - c. Ús / Manteniment. Procés on s'optimitza l'ús i gestió del disseny i s'optimitza l'elecció dels materials i sistemes constructius escollits anteriorment. En aquest procés es pot escollir per analitzar el cas d'estudi, únicament atenent sistemes passius o amb sistemes actius.
  - d. Deconstrucció. Procés on s'optimitza el model en la fase final (optimització de recollida de residus i demolició).
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).
04. Compensació. Bloc on es plantegen els sistemes de generació d'energia necessària perquè el cas d'estudi sigui NZEB (fase en estat inicial).

## 7.2.2. Llenguatge de programació (SDL / C++)

Per definir els diferents processos s'empra Specification and Description Language (SDL) (Doldi, 2001), estàndard de la ITU-T (ITU-T, 1999), un llenguatge gràfic 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.

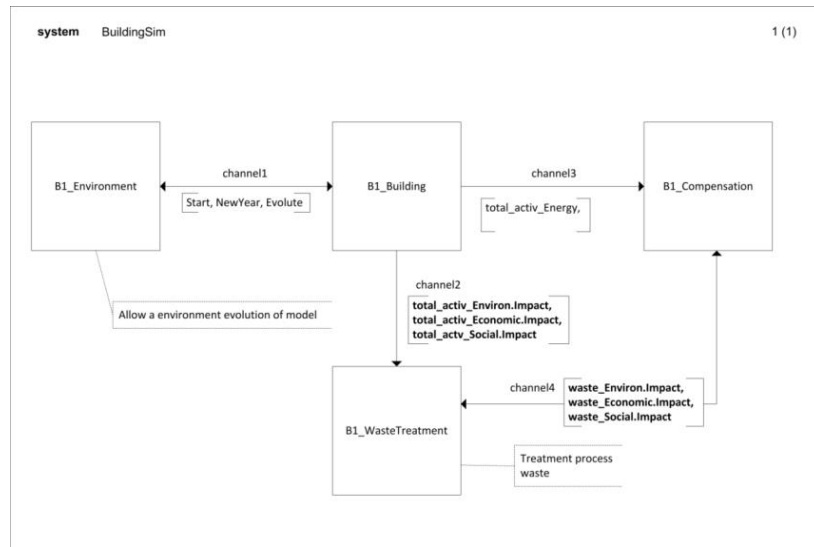


Fig. 78. Estructura general del simulador. Llenguatge SDL. Font: elaboració pròpia.

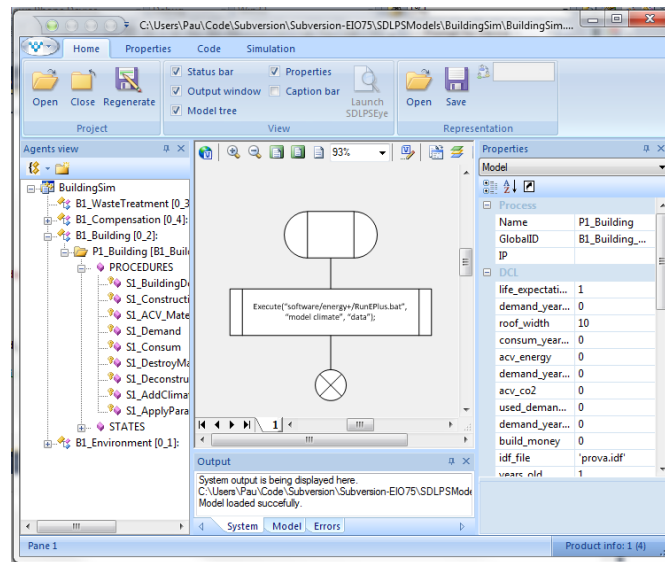


Fig. 79. Visió del software de simulació SDLPS. Font: (Fonseca P. , SDLPS, 2012).

Gràcies a la utilització del llenguatge formal SDL integrat al programari desenvolupat per la UPC SDLPS (Fonseca P. , SDLPS, a SDL distributed simulator, 2008), es dissenya l'estructura global del co-simulador i es capaç d'integrar altres motors de càlcul (Openfoam o Radiance).

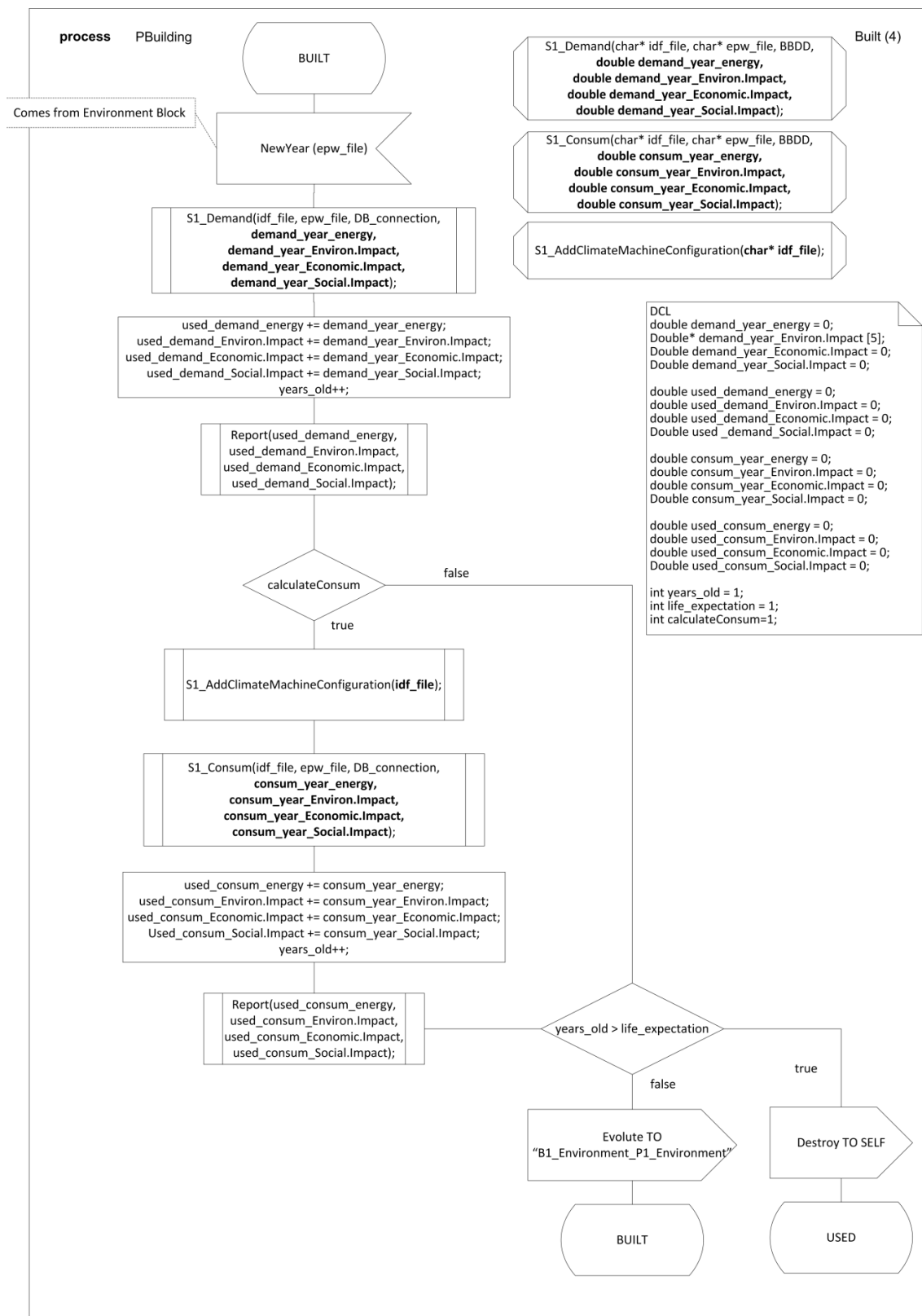
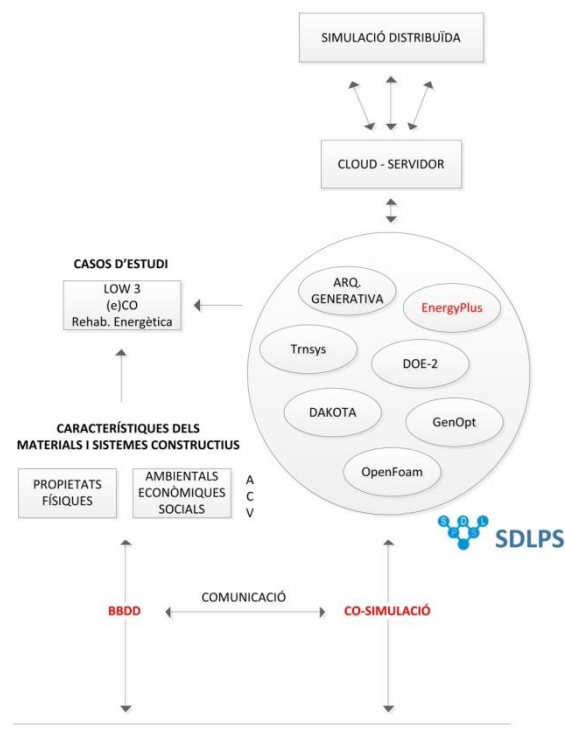


Fig. 80. Estructura del procés Ús/Manteniment. Llenguatge SDL. Font: elaboració pròpia.

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.

La potencialitat es desenvolupa al ser capaç de recollir els resultats dels experiments determinats amb l'estudi i relacionar els resultats amb la base de dades integrada.



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 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.
- Característiques i impactes econòmics associats.

**Taula 44. Camps disponibles en la base de dades amb relació a l'impacte ambiental. Font: Elaboració pròpia.**

| DADES Ambientals             |                                      |
|------------------------------|--------------------------------------|
| Energ. del mat. 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/m3                                |
| waste / non renew            | kg CO2/kg o kg CO2/m <sup>3</sup>    |
| recycling                    | % kg/m3                              |

\* paràmetres difícils d'aconseguir en molts casos

**Taula 45 Camps disponibles en la base de dades amb relació a l'impacte econòmic. Font: Elaboració pròpia.**

| DADES Econòmiques                          |         |
|--------------------------------------------|---------|
| €/m2 per cost producció                    | €/m2    |
| €/km*kg pel transport de material a l'obra | €/km*kg |
| Cost de manteniment                        | €/kg    |
| €/kg de material reciclat                  | €/kg    |

L'estructura de la base de dades i els indicadors relacionats amb els impactes socials s'està integrant actualment.

#### 7.2.4. Entorn Cloud – online

A diferència dels altres softwares presentats fins ara, el co-simulador està pensant per ser utilitzat via sistema local i via cloud, on line, de tal manera que pot atendre a varis usuaris a la vegada i llençar múltiples simulacions de forma distribuïda. Mitjançant una integració i una interface senzilla, integració amb llenguatge Ruby on rails, vol donar resposta a aquells usuaris professionals, que sense necessitat de conèixer l'estructura del co-simulador pugin realitzar els seus projectes i treure el màxim rendiment a l'estudi sostenible del cas d'estudi.



Fig. 82. Visió del software de simulació on-line. Font: (Inlab - UPC, 2012).

Amb l'entorn on-line, l'usuari pot carregar el cas o casos d'estudi, detallar els materials a optimitzar i les seves característiques, modificar característiques de l'arxiu, determinar el tipus d'optimització i realitzar el tractament de dades finals.

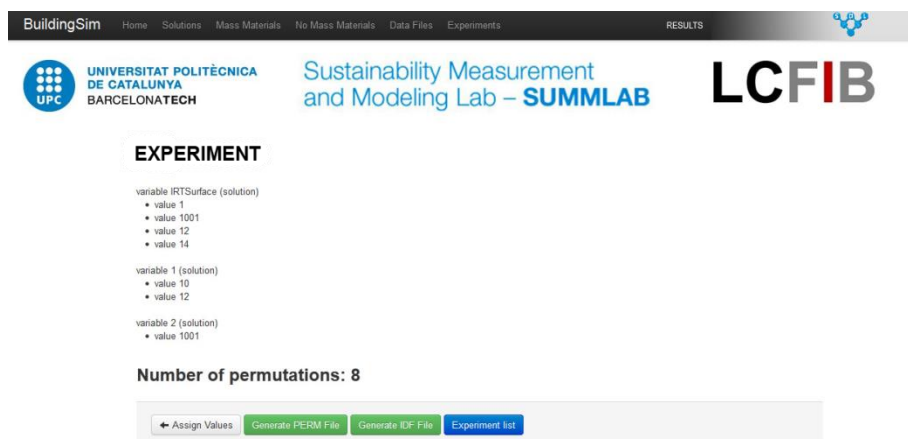


Fig. 83. Generació d'experiments preparats per llençar les simulacions. Font: elaboració pròpia.

### 7.3. PROGRÉS - ACCIONS FUTURES

El motor de càlcul pel balanç energètic és el EnergyPlus v.7.1 i, per la generació dels models, s'utilitza el pluguín gratuït OpenStudio d'SketchUp.

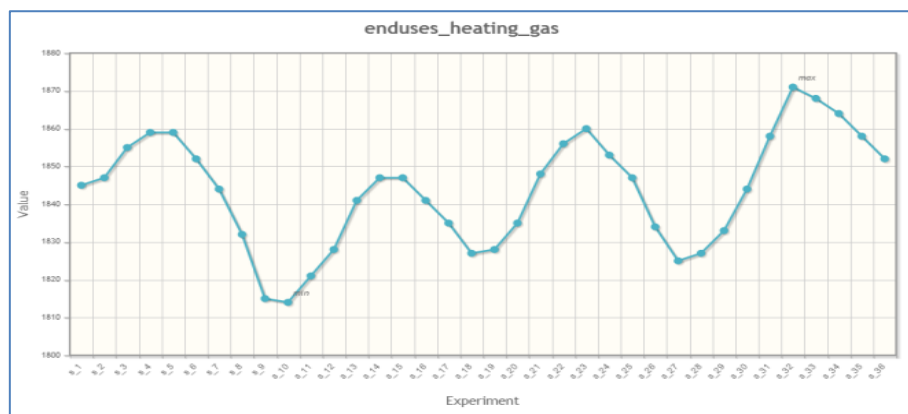
En l'actualitat, l'eina permet desenvolupar i optimitzar mitjançant permutacions i combinacions d'experiments la demanda i el consum energètic d'una edificació atenent el cicle de vida de l'edifici complert (disseny, construcció, ús-manteniment i deconstrucció).

De moment no estan implementats sistemes d'optimització. Està pensat per llençar multitud d'experiments amb les permutacions que el propi usuari cregui oportú, de tal manera, que es pot analitzar a la vegada i realitzar combinacions amb els

sistemes constructius i materials dels paraments i finestres, orientacions, zones climàtiques, situació geogràfica (alçada respecte el nivell del mar) i sistemes de clima.

Hi ha diverses opcions per l'optimització:

- per una banda realitzar les simulacions mitjançant l'algoritme de parametrització directe, mitjançant les permutacions pertinents,
- per altra banda, existeix la possibilitat d'aplicar un algoritme de seqüenciació i,
- finalment, s'ha desenvolupat un algoritme d'autoaprenentatge que fa que el procés de simulació sigui molt més àgil, ja que el co-simulador aprèn dels seus errors (situacions que generen un impacte pitjor) i cerca l'òptim molt més ràpidament –s'aplica la teoria de l'àrea d'algoritmes d'aprenentatge de xarxes neuronals utilitzats en l'àrea de *intel·ligència artificial*- (està en procés d'avaluació).



**Fig. 84. Consum de calefacció. Prova d'edifici tipus amb diferents orientacions. Font: elaboració pròpia.**

Pel tractament de resultats s'utilitza l'algoritme de Yates (Kuehl, 2000), el qual ens permet veure els paràmetres o experiments amb major impacte, segons l'estudi que s'estigui realitzant.

S'ha integrat el software Quick-R Statistics (Quick-R, 2012) dins del co-simulador per permetre un tractament de dades amb major potencialitat.

Com ja s'ha comentat anteriorment s'està treballant en:

- Implementació dels impactes socials
- Algoritmes d'optimització
- Transició entre els diferents motors de càlcul
- Sistema de recopilació de dades-resultats
- Nou enfocament estructural a nivell de Smart Cities

En l'actualitat, el projecte OptimalSIM s'està desenvolupant, com a principal impulsor el propi autor d'aquest document; tot i que està a l'espera de rebre finançament per part d'un projecte internacional.

## 7.4. VALIDACIÓ

El co-simulador ha estat validat amb èxit en diferents edificis reals, concretament el LOW3 (ETSAV. Low3, 2010) i el ECO (ETSAV. (e)co, 2012), projectes prototips, del concurs Solar Decathlon 2010 i 2012, respectivament, el que ha permès que el sistema actualment comenci a ser conegut per les empreses del sector.

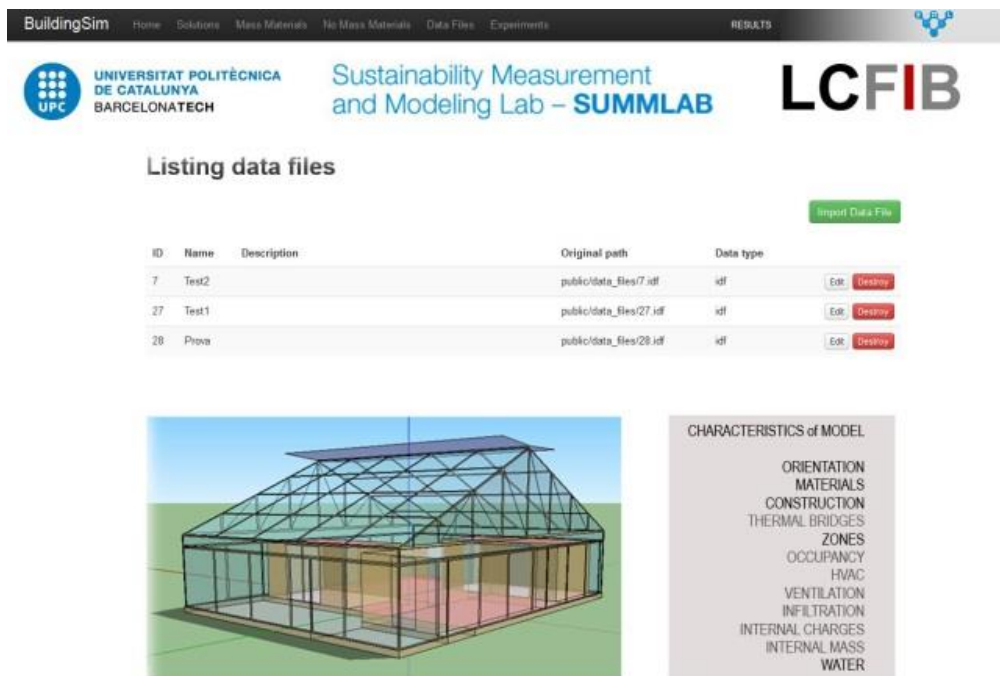


Fig. 85. Imatge de l'estudi de cas de l'edifici ECO en el simulador via web. Font: (Inlab - UPC, 2012).

Concretament, per l'edifici Eco, projecte prototip del SolarDecathlon 2012, va ser dibuixat amb el pluguin OpenStudio del Sketchup de Google. 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) –els resultats comparatius estan en revisió per la seva publicació en revista indexada–.

Taula 46. Taula on es mostren les permutacions realitzades en el cas d'estudi ECO. Font (Fonseca, Fonseca, & Colls, 2012).

|            | North MODULE |           |            |           | South MODULE |           |            |           | East MODULE |           |            |           |
|------------|--------------|-----------|------------|-----------|--------------|-----------|------------|-----------|-------------|-----------|------------|-----------|
| U (W/m2 K) | 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'algoritme 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, & Colls, 2012).

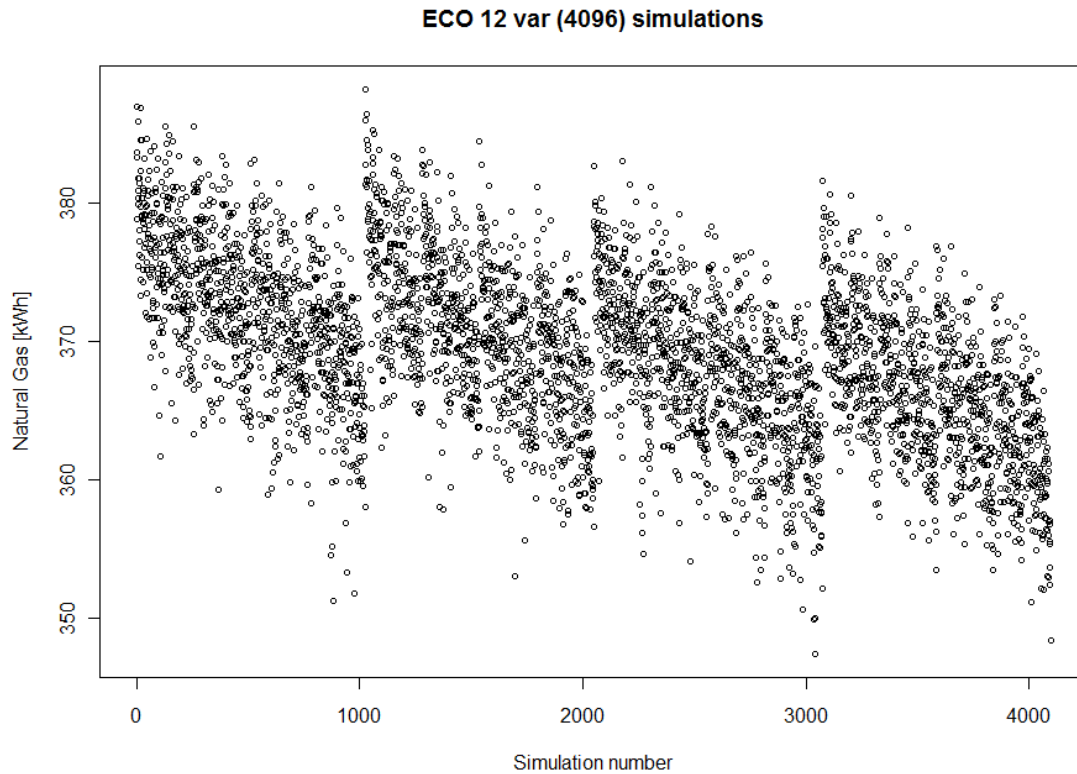


Fig. 86. Resultats de els 4096 simulacions realitzades. Font: (Fonseca, Fonseca, & Colls, 2012).

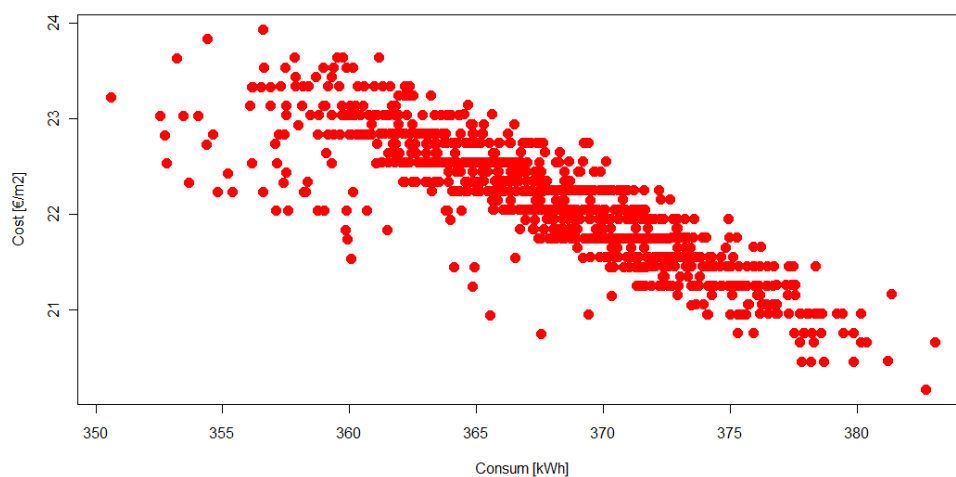


Fig. 87. Relació entre el cost-consum de les simulacions generades. Font: (Fonseca, Fonseca, & Colls, 2012).

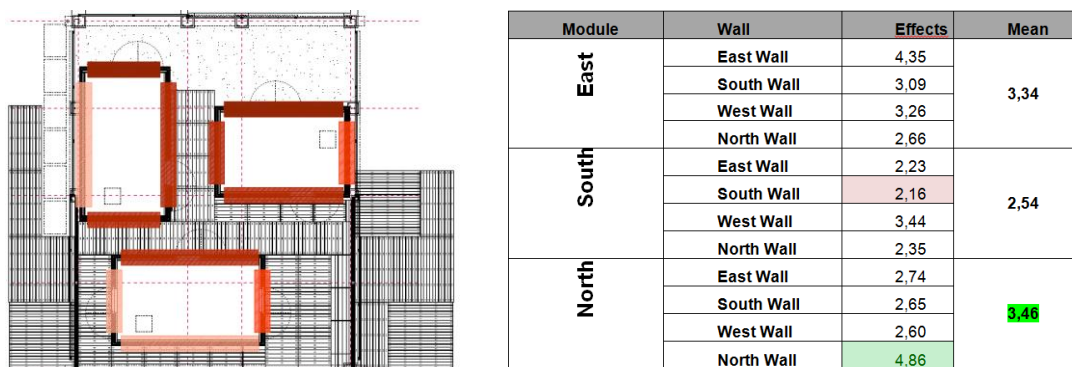


Fig. 88. Resultats de l'anàlisi energètic realitzat a l'edifici ECO, projecte prototip del concurs Solar Decathlon 2012; atenent l'algoritme de Yates. Font: (Fonseca, Fonseca, & Colls, 2012).

A part d'aquests casos d'estudi, el simulador s'està utilitzant per altres casos reals (projectes professionals i de investigació).



## 8. PLA DE TREBALL

En aquest apartat es defineix el programa i les tasques relacionades per cada fase, les quals queden ben diferenciades entre la preparació de la metodologia, aplicació d'aquesta i realització del informe finals amb les conclusions.

### 8.1. PROGRAMACIÓ GENERAL

Per motius d'extensió de la investigació, podem diferenciar tres fases:

**TASCA 01.** Seria la fase de preparació de tota la metodologia i de les tipologies i solucions constructives. Podem destacar la subtasca tercera com a eix vertebrador i imprescindible, ja que en aquesta es detallarà gran part del model a seguir. Aquest gran bloc engloba des de la subtasca *primera* fins la *cinquena*.

**TASCA 02.** En aquesta fase es preparen les tipologies amb modelatge BIM, i es llançaran les simulacions. Engloba de la tasca *sisena* fins la *setena*. Destacar la subtasca *setena* ja que és on dedicarem els esforços a realitzar totes les simulacions d'optimització.

**TASCA 03.** Recollida de dades i informes finals. Engloba de la tasca *vuitena*, on s'aplicaran els conceptes estadístics per comprovar la validesa de resultats, fins la *novena*.

Taula 47. Diagrama de flux de les diferents fases. Font: elaboració pròpia.

| PROGRAMACIÓ GENERAL                           |                         |                                        |
|-----------------------------------------------|-------------------------|----------------------------------------|
| TASCA 01                                      | TASCA 02                | TASCA 03                               |
| Metodologia de treball i tasques relacionades | Modelatge i simulacions | Recopilació de resultats i conclusions |

### 8.2. TASQUES PROGRAMADES

#### 8.2.1. PRIMERA: Anàlisi, selecció i definició de les tipologies

##### DESCRIPCIÓ GENERAL

Previ anàlisi i selecció de tipologies ja estudiades amb d'altres informes anteriors, es definiran les tipologies que serviran de model base (cas 0) per la investigació posterior.

##### OBJECTIUS ESPECÍFICS

- Determinar les tipologies segons els criteris de selecció escollits (anàlisi d'estudis existents).
- Definir zones climàtiques i orientacions.
- Determinació de les solucions constructives existents.
- Determinació dels sistemes actius existents (calefacció, refrigeració, ACS).

## **RESULTATS DE LA TASCA**

Informe resultant amb la documentació necessària explicativa i detallada per la definició dels experiments per la rehabilitació.

### **8.2.2. SEGONA: Caracterització de l'usuari**

#### **DESCRIPCIÓ GENERAL**

Atenent les normatives existents es valoraran els diferents tipus d'usuari.

#### **OBJECTIUS ESPECÍFICS**

- Detallar els perfils d'usos, tipus d'usuari, perfils econòmics, etc., segons la normativa nacional i internacional.

## **RESULTATS DE LA TASCA**

Quadre explicatiu on s'esposaran les característiques de l'usuari escollides.

### **8.2.3. TERCERA: Plantejament global de la metodologia de treball**

#### **DESCRIPCIÓ GENERAL**

És una de les tasques principals, ja que en aquesta part detallarem i plantejarem la metodologia global a aplicar en la investigació i servirà com a base pel desenvolupament de la futura investigació.

#### **OBJECTIUS ESPECÍFICS**

- Determinar i elegir el motor de càlcul que s'utilitzarà per la realització de les simulacions.
- Determinar els algorismes d'optimització.
- Determinar l'estructura general de la Base de dades.
- Plantejar la metodologia de càlcul dels impactes ambientals
- Plantejar la metodologia de càlcul dels impactes econòmics.
- Plantejar la metodologia de càlcul dels impactes socials.

## **RESULTATS DE LA TASCA**

Metodologia a seguir.

### **8.2.4. QUARTA: Base de dades dels materials utilitzats**

#### **DESCRIPCIÓ GENERAL**

Caldrà cercar la informació adient per tal d'organitzar la base de dades necessària pels posteriors càlculs.

Els continguts de la base de dades s'extraurà de les base de dades nacionals i si no fos possible, de les bases internacionals anteriorment comentades (sempre amb referència clara de la seva extracció)

#### **OBJECTIUS ESPECÍFICS**

- Preparar l'estructura de la base de dades (impactes ambientals, econòmics i socials), per els diferents fases: disseny, constructiu, ús / manteniment, reutilització.

- Preparar la relació de la base de dades amb el simulador / motor de càlcul escollit.
- Generar els continguts de la base de dades a nivell dels Impactes ambientals, econòmics i socials implicats en cada material.

#### **RESULTATS DE LA TASCA**

Preparar l'estructura de la base de dades

Realitzar la base de dades necessària amb els materials i les seves característiques que seran utilitzats per les simulacions. En un principi estaran els materials base de l'edificació existent. La base de dades s'anirà ampliant i millorant a mida de que s'incorporin les noves solucions constructives i els nous materials a utilitzar.

### **8.2.5. CINQUENA: Proposta de rehabilitació**

#### **DESCRIPCIÓ GENERAL**

Definir les diferents situacions que seran simulades. L'elecció dependrà entre aquelles opcions més lògiques a priori i més adequades per cada tipus de construcció i zona climàtica. Es revisaran les guies ja publicades, com ara el 'Llibre blanc de valència' (Instituto Valenciano de la Edificación (IVE), 2009), 'Guia para la rehabilitación' del País Vasc (Departamento de Vivienda y Asuntos Sociales, 2011) o la 'Guia de rehabilitación' de l'ajuntament de Madrid (FENERCOM, 2008).

Es farà una previsió de combinacions possibles, per tal de que l'algoritme d'optimització no hagi de resoldre masses experiments (ja que sinó el procés de càlcul podria ser molt extens).

#### **OBJECTIUS ESPECÍFICS**

- Proposta de sistemes constructius que, a priori, millorin l'edifici existent.

#### **RESULTATS DE LA TASCA**

Preparar els escenaris necessaris per la posterior simulació.

Generar la documentació necessària per les diferents solucions constructives.

### **8.2.6. SISENA: Modelatge de les tipologies**

#### **DESCRIPCIÓ GENERAL**

Segons el software de modelatge escollit, caldrà dissenyar les diferents tipologies. • A cadascuna d'aquestes tipologies, apart de definir la forma global de l'edifici i obertures i sistemes i materials constructius, caldrà definir l'usuari, grau de confort i zona climàtic i orientacions.

#### **OBJECTIUS ESPECÍFICS**

- Mitjançant software informàtic es realitzaran els arxius amb tecnologia BIM per tal de poder-los passar al simulador.

## **RESULTATS DE LA TASCA**

Generar els diferents arxius informàtics amb les tipologies escollides.

### **8.2.7. SETENA: Optimització dels models (simulacions)**

#### **DESCRIPCIÓ GENERAL**

En aquesta fase es passarà a realitzar tots els experiments desitjats i processar-los mitjançant l'algoritme d'optimització escollit (amb possibilitat de fer varies comprovacions per tal de calibrar els resultats).

Abans de llençar la multitud de simulacions, caldrà assolir un grau de certesa en els resultats i comprovar que el procés no serà massa llarg en el temps.

#### **OBJECTIUS ESPECÍFICS**

- Mitjançant el motor de càlcul escollit i els algoritmes de simulació multicriteri, es llençaran les simulacions per les diferents tipologies, zones climàtiques i orientacions; tenint en compte el confort de l'usuari i criteris anteriorment seleccionats. Els paràmetres multicriteri seran la reducció de la demanda energètica, baix impacte ambiental, econòmic i social.

## **RESULTATS DE LA TASCA**

Els resultats de les simulacions sense tractar.

### **8.2.8. VUITENA: Informe de l'estudi realitzat**

#### **DESCRIPCIÓ GENERAL**

Després de les simulacions caldrà un procés de recopilació de dades, comprovacions i reformatat de resultats per poder veure quines seran les millors opcions per cada zona climàtica i tipologia.

#### **OBJECTIUS ESPECÍFICS**

- Recopilació dels resultats per generar els informes pertinents.
- Determinació de les millors configuracions i experiments simulats.
- Verificació de resultats per tal de que siguin coherents amb d'altres estudis ja realitzats (preferible una monitorització i calibratge dels resultats).
- Tractament de resultats.

## **RESULTATS DE LA TASCA**

Realitzar els informes necessaris per el posterior processament de dades.

Generar els quadres i diagrames necessaris per determinar les configuracions òptimes estudiades.

### 8.2.9. NOVENA: Conclusions

#### DESCRIPCIÓ GENERAL

Determinar les conclusions generals

#### OBJECTIUS ESPECÍFICS

- Determinar un nou protocol a seguir atenent els resultats anteriors, amb una base a criteris sostenibles, es detallarà la U òptima segons cada cas.

#### RESULTATS DE LA TASCA

Realització d'una guia atenent les tipologies analitzades i zones climàtiques, anotant els materials, sistemes constructius més aconsellables per a cada cas, segons criteris sostenibles.

### 8.3. CALENDARI DE TREBALL

Segons les diferents tasques anteriorment presentades, es presenta el cronograma del projecte de tesi presentat. El cronograma podrà variar si el projecte forma part d'una proposta amb finançament públic o privat.

*Es preveu una durada de 18 mesos per la realització de les tasques i 6 mesos més per la redacció final, revisió i dipòsit de la Tesi i la seva posterior defensa.*

Taula 48. Proposta calendari treball. Font: elaboració pròpia.

| PROGRAMACIÓ GENERAL |          |                                                  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|---------------------|----------|--------------------------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| (mesos)             |          |                                                  | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| TASCA 01            | PRIMERA  | ANÀLISI, SELECCIÓ I DEFINICIÓ DE LES TIPOLOGIES  | X | X |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|                     | SEGONA   | CARACTERITZACIÓ DE L'USUARI                      |   |   | X |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|                     | TERCERA  | PLANTEJAMENT GLOBAL DE LA METODOLOGIA DE TREBALL | X | X | X | X | X | X |   |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|                     | QUARTA   | BASE DE DADES DELS MATERIALS UTILITZATS          |   |   |   |   |   | X | X | X |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|                     | CINQUENA | PROPOSTA DE REHABILITACIÓ                        |   |   |   |   |   |   | X | X | X |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
| TASCA 02            | SISENA   | MODELATGE DE LES TIPOLOGIES                      |   |   |   |   |   |   |   |   |   | X  | X  | X  |    |    |    |    |    |    |
|                     | SETENA   | OPTIMITZACIÓ DELS MODELS (SIMULACIONS)           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    | X  | X  | X  | X  |    |    |    |    |
| TASCA 03            | VUITENA  | INFORME DE L'ESTUDI REALITZAT                    |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    | X  | X  |    |    |
|                     | NOVENA   | CONCLUSIONS                                      |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |    |    |    |    |    | X  | X  | X  |



## 9. PUBLICACIONS

---

### 9.1. PUBLICACIONS I CONGRESSOS

#### **SEMINARIS PROMOIGUTS PER BCD (Barcelona Centre de Disseny)**

(2012-2013)

PARTICIPACIÓ de les jornades en el marc de Barcelona Design Week, sobre noves propostes d'investigació, amb la col·laboració del BDIC (Barcelona Design Innovation Cluster).

Projecte cofinançat pel fons FEDER (Fons Europeu de Desenvolupament Regional).

**INNOCONS 2011-2012:** “Eficiencia Energética en la Rehabilitación de Edificios”. Publicació del programa de innovació tecnològica de la CCOC (Cambra Oficial de Contractistes d'Obres de Catalunya).

**SIMULATION SI (Simulation for Architecture and Urban Design. Special Issue: Simulation for Architecture and Urban Design).**

“Formal simulation model to optimize building sustainability” (en revisió).

**CONAMA 2012 (26-30 nov, Madrid):** “NZEB. Optimización mediante co-simulación. Estudio de caso (e)Co, prototipo del concurso Solar Decathlon 2012” - ISBN: 978-84-695-6377-9

<http://www.conama2012.conama.org/web/index.php>

**CONAMA 2012 (26-30 nov, Madrid):** “Arquitectura sostenible para el huerto ecológico: de la simulación a la realidad. Estudio de caso Cal Mamà” - ISBN: 978-84-695-6377-9

<http://www.conama2012.conama.org/web/index.php>

**GreenCities 2012 (7-9 nov, Màlaga):** “BUILDING OPTISIM, OPTIMIZADOR NZEB”. ISBN: 978-84-695-4438-9

<http://www.fycma.com/greencities.asp#/goEvento/Greencities/>

**SmartCities 2012 (13-15 nov, Barcelona):** “NZEB. OptiSIM in Sustainability (Simulación de la Sostenibilidad en la Construcción)” –

<http://www.smartcityexpo.com/>

## 9.2. PROJECTES REALITZATS

### **Assessorament Ambiental per la REHABILITACIÓ SOSTENIBLE D'UN EDIFICI PÚBLIC – Centre Docent Anglesola** (actualment)

Assessorament ambiental (eficiència energètica, materials i aigua) per el desenvolupament del projecte bàsic i executiu d'un edifici públic amb funcions administratives i de centre docent, situat a les Corts de Barcelona.

Col·laboració amb el despatx d'arquitectura HARquitectes.

### **PROJECTE INTERNACIONAL 'JSEED' Japan-Spain Energy Efficient Development for Ultra-Low Energy Buildings** (actualment)

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.

### **REHABILITACIÓ SOSTENIBLE D'UN EDIFICI UNIFAMILIAR ENTRE MITGERES**

(2012-2013)

Disseny i execució d'un edifici unifamiliar entre mitgeres a Sant Feliu de Llobregat amb criteris sostenibles (anàlisi d'impactes ambientals i econòmics), per tal de reduir la demanda necessària per mantenir en confort l'interior de l'habitatge.

### **PROJECTE CREATIU 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, de l'eficiència energètica d'un prototip, edifici plurifamiliar, per tal de poder trobar les millors solucions energètiques i analitzar a nivell cost econòmic / demanda energètica 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, en 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

**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).

**PROJECTE CERTIFICACIÓ LEED A ROSES, Catalunya**

(2010-2011)

Certificació LEED del projecte 'Centre Cultural de Roses', realitzat durant els mesos Octubre i Novembre del 2011. Identificador del projecte # 1000004538.

**PROJECTE SIEU, Intelligent Energy Europe**

(2009-2010)

Projecte europeu sobre l'Estudi de il·luminació Eficient utilitzant una masia com a model de partida.

Avaluació energètica del model i propostes de millora a nivell d'estalvi energètic i confort lumínic



10. ANNEXOS

10.1. Equipaments i serveis

Segons l'estudi SECH-SPAHOUSEC, els serveis i ús de l'energia en el sector de l'habitatge, en l'àmbit nacional espanyol, es segmenta:

- Calefacció
- ACS (Aigua Calenta Sanitària)
- Cuina
- Refrigeració
- Il·luminació
- Electrodomèstics (nevera, congelador, rentadora, rentaplats, sec adora, forn, televisió, ordinador, standby i la resta d'equipament).

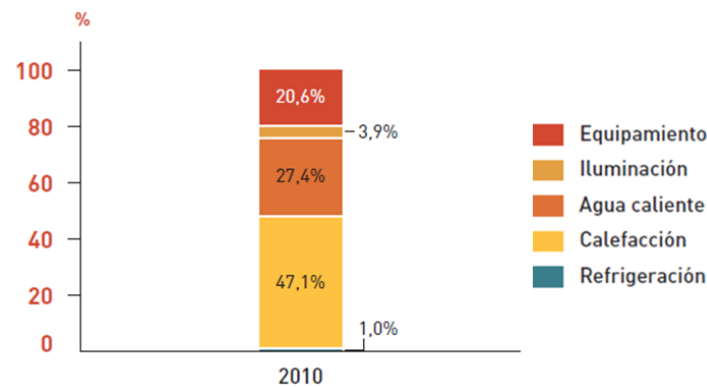


Fig. 89. Distribució del consum energia final sector Edificis domèstics. Font: Plan Ahorro de Energía 2011-20 (IDAE, 2011).

|                         | ZONA ATÁNTICO NORTE |             | ZONA CONTINENTAL |             | ZONA MEDITERRÁNEA |             |
|-------------------------|---------------------|-------------|------------------|-------------|-------------------|-------------|
|                         | Bloque              | Unifamiliar | Bloque           | Unifamiliar | Bloque            | Unifamiliar |
| CALEFACCIÓN             | 93,3%               | 91,5%       | 97,4%            | 89,4%       | 86,3%             | 85,9%       |
| AGUA CALIENTE SANITARIA | 100,0%              | 99,6%       | 99,9%            | 99,3%       | 100,0%            | 99,7%       |
| COCINA                  | 100,0%              | 100,0%      | 100,0%           | 100,0%      | 100,0%            | 100,0%      |
| AIRE ACONDICIONADO      | 1,3%                | 0,3%        | 40,3%            | 36,9%       | 66,2%             | 67,8%       |
| ILUMINACIÓN             | 100,0%              | 100,0%      | 100,0%           | 100,0%      | 100,0%            | 100,0%      |
| ELECTRODOMÉSTICOS       |                     |             |                  |             |                   |             |
| Frigoríficos            | 100,0%              | 99,5%       | 99,7%            | 100,0%      | 99,4%             | 99,4%       |
| Congeladores            | 21,1%               | 56,0%       | 14,2%            | 43,2%       | 15,8%             | 35,6%       |
| Lavadoras               | 90,1%               | 97,0%       | 93,4%            | 95,6%       | 92,2%             | 93,1%       |
| Lavadoras-Secadoras     | 9,9%                | 3,0%        | 6,6%             | 4,4%        | 7,8%              | 6,9%        |
| Lavavajillas            | 41,7%               | 42,3%       | 53,6%            | 61,4%       | 48,8%             | 65,7%       |
| TV                      | 100,0%              | 100,0%      | 100,0%           | 100,0%      | 100,0%            | 100,0%      |
| Secadoras               | 16,0%               | 28,2%       | 16,9%            | 32,7%       | 31,3%             | 42,8%       |
| Horno                   | 79,7%               | 90,4%       | 74,9%            | 76,6%       | 77,2%             | 76,8%       |
| Microondas              | 87,5%               | 88,9%       | 90,6%            | 91,3%       | 89,4%             | 91,1%       |
| Ordenadores Fijos       | 45,9%               | 45,1%       | 50,4%            | 49,2%       | 55,8%             | 54,1%       |
| Ordenadores Portátiles  | 36,8%               | 34,9%       | 40,8%            | 36,0%       | 42,7%             | 42,1%       |
| Otro Equipamiento       | 100,0%              | 100,0%      | 100,0%           | 100,0%      | 100,0%            | 100,0%      |

Fig. 90. Taxa d'equipament en les llars. Font: Projecte SECH-SPAHOUSEC (IDAE, 2011).

Gráfico 9.14. Consumo de energía primaria en calefacción y refrigeración en el sector doméstico según zona climática

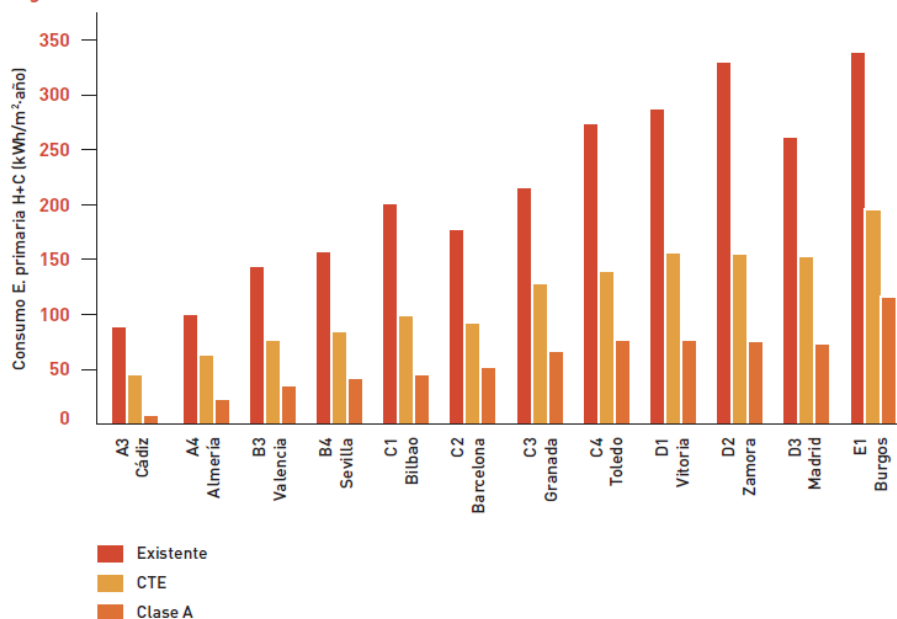


Fig. 91. Consum d'energia primària en calefacció i refrigeració en el sector domèstic segons zona climàtica. Font: Projecte SECH-SPAHOUSEC (IDAE, 2011).

Per tal de calcular el **mix energètic** i l'evolució dels preus de l'energia, es pot utilitzar la següent bibliografia:

- Estudi-informe del 2007 "Sobre una estratègia per dirigir el sector de l'edificació cap a l'eficiència en l'emissió de GEH" (Cuchí & Pagès, 2007, pág. 120)
- Segons la tesi de la Núria Garrido (Garrido, 2010, pág. 99) i el informe de l'institut Cerdà (Garrido N., Casado I., 2006)
- Segons "Una visión-país para el sector de la edificación para España. Hoja de ruta para un nuevo sector de la vivienda" (Cuchí A., Sweatman P., 2011, pág. 44) = l'evolució del preu de l'energia segons l'estudi Boston Consulting Group para IDAE (Boston Consulting Group, 2011).
- Segons el informe del WWF "Retos y oportunidades de financiación para la rehabilitación energética de viviendas en España" (WWF, 2012)
- Factor d'emissió associat al mix elèctric: [www.gencat.cat](http://www.gencat.cat), apartat reduccions d'emissions (Generalitat de Catalunya, 2013).
- Segons la normativa europea RD 2012/27/UE

## CALEFACCIÓ

Quasi la meitat dels habitatges en l'estat espanyol tenen una caldera convencional, amb una mitjana d'edat d'uns 10 anys. Les calderes de condensació tenen una mitjana d'edat de 5,6 anys i les bombes de calor reversibles són de 5,6-6,6 anys.

De les llars amb calefacció, el 82% disposen de sistemes individuals i només el 8% de sistemes centralitzats (en zona Continental arriba al 18%).

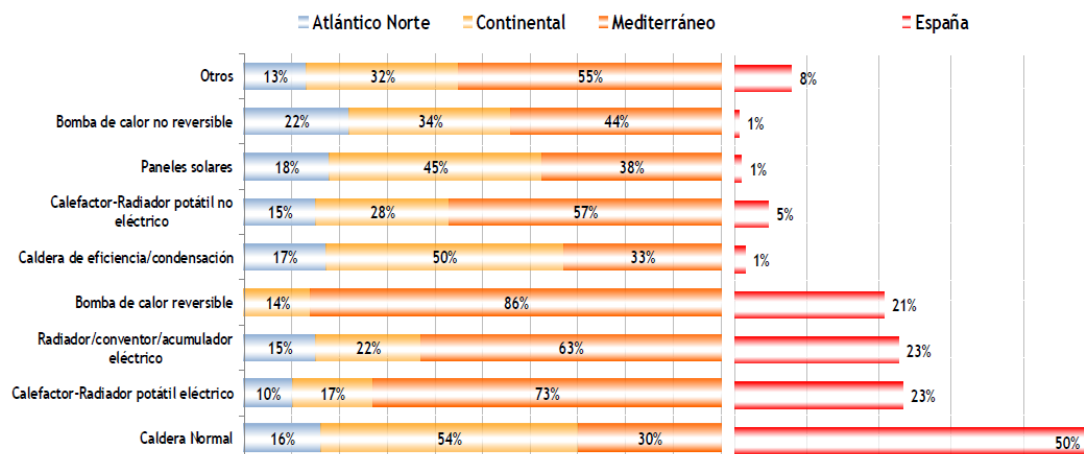


Fig. 92. Sistemes de calefacció per zona climàtica. Font: Projecte SECH-SPAHOUSEC (IDAE, 2011).

## REFRIGERACIÓ / AIRE CONDICIONAT

La zona Mediterrània és la més equipada amb sistema de refrigeració, essent el 67 de les llars, mentre que a la zona atlàntica només arriba fins l'1% de les llars. Per tant, el 49% de les llars espanyoles disposa algun sistema d'aire condicionat, essent el individual el més instal·lat.

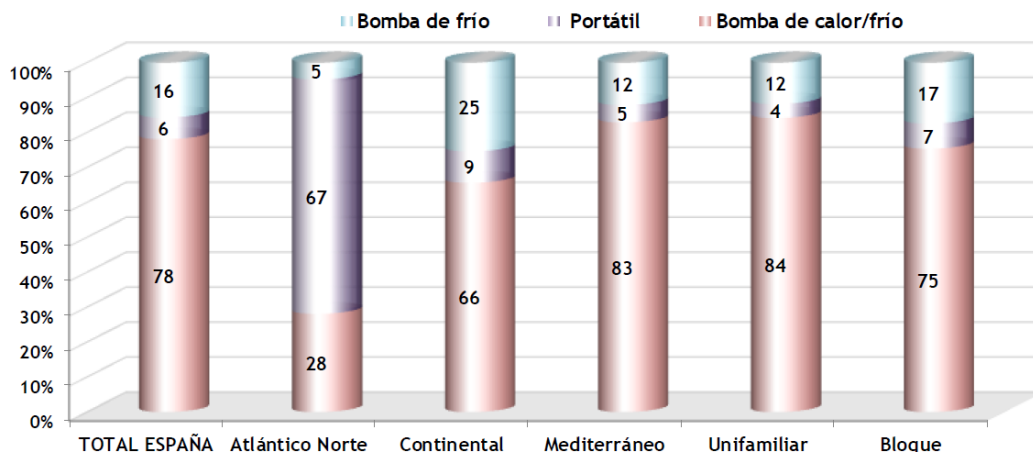


Fig. 93. Sistemes de refrigeració per zona climàtica i tipus d'habitatge. Font: Projecte SECH-SPAHOUSEC (IDAE, 2011).

L'equip dominant és la bomba de calor reversible, amb una penetració a nivell nacional del 78%, elevant-se aquesta xifra al 83% a la zona Mediterrània, i al 84% en els habitatges unifamiliars.

El multi-equipament en aquest tipus de servei és un fet, amb prop de 3 equips per llar (bomba de calor reversible, equips portàtils, etc.), Que s'explica, en general, per una major presència d'equips portàtils.

L'antiguitat mitjana dels sistemes de refrigeració a Espanya és de 6,2 anys. L'electricitat és la font energètica d'aquest tipus de servei en totes les llars analitzats, disposant el 62% de les llars d'algun sistema de regulació de temperatura.

## 10.2. Ús i gestió de l'edifici

Atendre la influència que genera l'ús i gestió de l'edifici és essencial per avaluar correctament les diferents situacions d'estudi: poden haver unes variacions de fins el 40% només atenent la influència de l'ús de la il·luminació en els espais (Bourgeois, Reinhart, & Macdonald, 2006).

Els diferents perfils d'usuari es defineixen tradicionalment en base diària, perfils de diversitat, per a dies laborals, caps de setmana, etc... Es troben definits en les respectives normatives i concretament en el Codi Tècnic de l'Edificació i estàndards energètics com ASHRAE. Determinar la influència que tenen els diferents usuaris és clau per comprovar les divergències possibles existents entre ocupabilitat i consum energètic en un edifici.

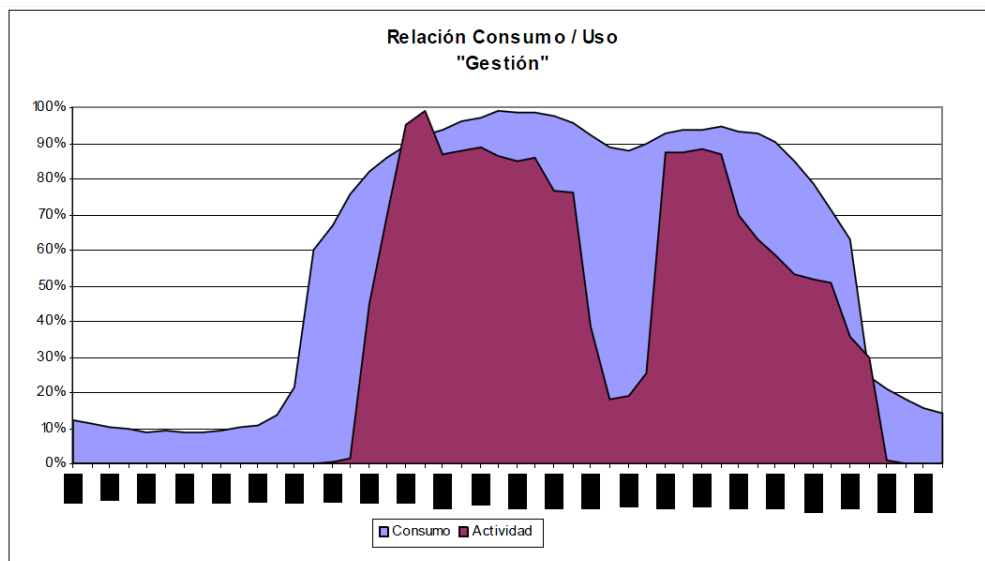


Fig. 94. Relació entre el consum i ús tipus. Font: (López, 2006).

Per altra banda, s'han realitzat estudis concrets on s'analitzen la distribució ocupacional segons les etapes del cicle de vida (fet que té un impacte molt important en l'ús i gestió dels respectius equipaments).

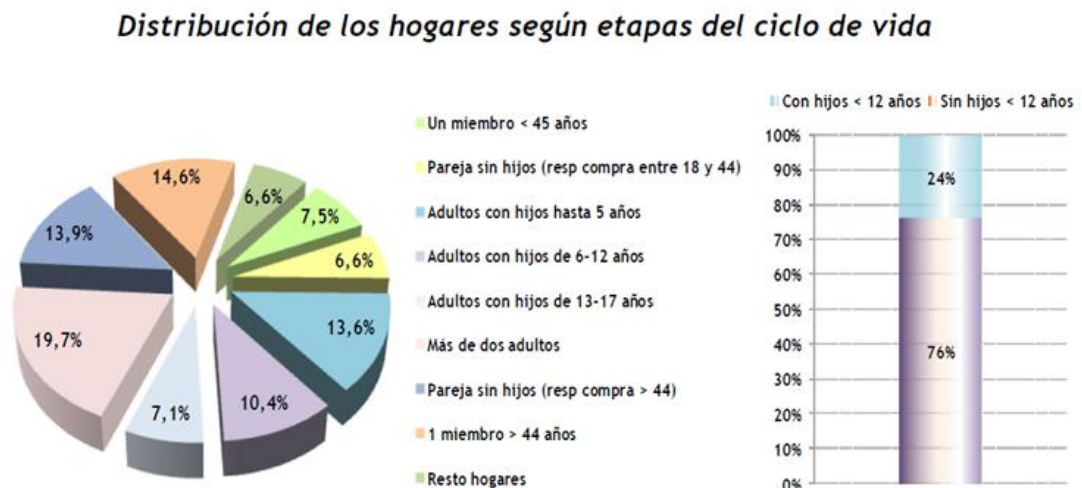


Fig. 95. Distribució de les llars segons etapes del cicle de vida. Font: Projecte SECH-SPAHOUSEC (IDAE, 2011).

### 10.3. Confort tèrmic interior

Aconseguir el confort tèrmic a l'interior dels edificis fent un ús eficient de les energies, és una tasca molt complexa.

El confort tèrmic, seguint el que diu la norma ISO 7730, és una condició mental que expressa satisfacció amb l'ambient tèrmic.

El confort està relacionat amb aspectes fisiològics i psicològics dels ocupants, els fisiològics són mesurables però els psicològics s'avaluen amb estudis estadístics de confort obtenint el percentatge de persones amb major o menor grau de satisfacció. Els sistemes de climatització es dissenyen per satisfer a un 85%-90% dels ocupants, per això, per aconseguir el confort s'han de tenir en compte una sèrie de paràmetres.

#### 1. Variables físiques (Facultad de Arquitectura-UR, 2010).

a. **Temperatura del aire:** ha de ser similar a la temperatura de la pell. Les pèrdues de calor del cos cap a l'exterior es realitza majorment per convecció, ja que la roba que portem ens aïlla de l'exterior si la temperatura de l'aire és molt diferent a la de la pell. El rang de confort es considera que està entre els 18°C i 26°C, segons el RITE, 21°C a 23°C al hivern i de 23°C a 25°C a l'estiu.

b. **Temperatura radiant:** els intercanvis radiatius entre el cos i l'entorn es produeixen amb les superfícies que tenen al voltant. La temperatura d'aquestes superfícies es comptabilitza mitjançant la temperatura radiant mitja, que és el mitjana de les temperatures de cada superfície i l'angle sòlid que percep una persona situada en una determinada posició de l'habitació. L'aire no és molt important en aquest intercanvi.

El rang de confort de la temperatura radiant mitja és de 18°C a 26°C.

c. **Velocitat del aire:** el rang de confort és de 0 a 2 m/s. Vents a grans velocitats o turbulències poden produir desconfort tèrmic.

d. **Vestimenta:** la roba és un important aïllant tèrmic del cos i s'ha de tenir en compte per avaluar les condicions de confort tèrmic, ja que ens aïlla del ambient minimitzant els intercanvis per transmissió.

La unitat de resistència tèrmica de la roba és de  $1 \text{ clo} = 0,155 \text{ m}^2 \text{KW}^{-1}$ .

Dintre dels edificis, per càlculs de confort, s'utilitzen valors de 1 Clo al hivern i 0,5 Clo a l'estiu.

Els valors d'aïllaments de la roba en clo, segons INSHT-NTP74, són: despullat 0 clo, roba lleugera d'estiu 0,5 clo, roba mitja 1 clo, roba pesada 1,5 clo.

e. **Metabolisme:** és l'energia alliberada pels processos d'oxidació que es produeixen en el cos humà i depèn de l'activitat muscular que es du a terme.

Aquesta energia es mesura en MET.

1 MET = 58 W/m<sup>2</sup> de superfície corporal

Superfície corporal mitja = 1,7m<sup>2</sup>

1 MET  $\cong$  100 W

Per calcular el confort atenent les activitats habituals que es fan a un edifici, s'utilitza el valor de 1,2 MET

f. **Humitat relativa:** És el rati entre el contingut d'humitat a una certa temperatura i el màxim possible (sense arribar a la condensació) per aquesta temperatura. Generalment la humitat afecta les pèrdues de calor per evaporació, essent més importants per a temperatures altes o ratis metabòlics elevats [ASHRAE, 2005].

g. **Relació temperatura ext-int.** Es troba definits principalment en el RITE 2007 i en les respectives instruccions.

h. **Característiques cromàtiques del espai.** Relacionat amb els acabats dels espais interiors i amb la il·luminació, són aquelles característiques que atenen les qualitats del color de les zones per tal d'oferir el màxim confort o generar percepcions concretes.

i. **Qualitat del aire.** Les normatives relacionades són: Llei 34/2007, Directiva 2004/107/CE, Directiva 2008/50/CE i el RD 102/2011. S'analitza relacionat amb els impactes ambientals, atenent amb el màxim permès de O<sub>3</sub>, PM<sub>10</sub>, CO, SO<sub>2</sub> i NO<sub>2</sub> - índex català de qualitat de l'aire (Medi Ambient i Sostenibilitat, 2013).

D'aquestes variables deriven uns paràmetres físics que són utilitzats en la definició de les condicions dels ambients. Els més utilitzats són:

La temperatura mitja radiant ( $T_{mr}$ ), és la temperatura uniforme d'un cos negre amb la que l'individu intercanvia la mateixa quantitat de calor que amb el seu entorn actual. El seu valor està en funció de la temperatura del aire ( $t_a$ ), la temperatura seca del aire ( $t_s$ ) i la velocitat de l'aire ( $v_a$ ).

$$T_{mr} = t_a + 0.24 (t_a - t_s) v_a^{1/2}$$

La temperatura radiant coincideix amb la temperatura de l'aire quan la velocitat de l'aire es zero.

La Temperatura Operativa( $t_o$ ), és el factor més utilitzat per treballar sobre el confort en ambients interiors. És la temperatura a la que han d'estar l'aire i les parets d'un recinte per que un individu intercanvi amb ell el mateix calor sensible que en el local d'origen.

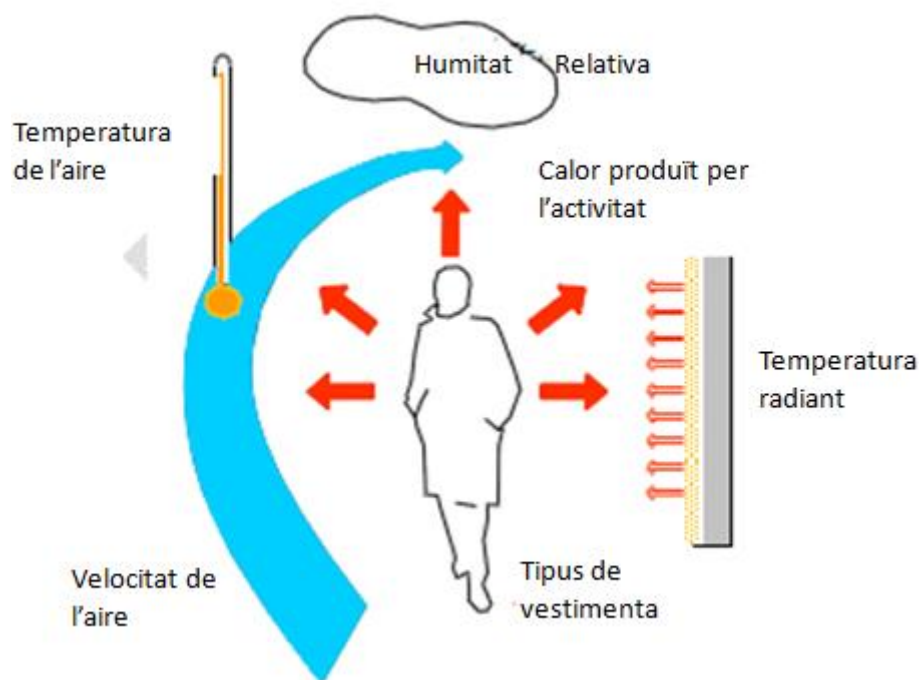
$$t_o = \frac{h_c * t_s + h_r * T_{mr}}{h_c + h_r}$$

On  $h_c$  y  $h_r$  son els coeficients de convecció i de radiació respectivament.

Existeixen dos teories diferents relacionades amb el confort tèrmic: la teoria del balanç tèrmic i la teoria adaptativa.

La **teoria del balanç tèrmic** va ser creada per Povl Ole Fanger i va unida als indicadors PMV/PPD, (Predictive mean vote/predictive percentage dissatisfied). El PMV és el vot mig previst d'un grup de persones exposades a un cert ambient i el PPD és el percentatge previst de persones insatisfetes en cada PMV.

Els models de balanç tèrmic, també anomenats estàtics o constants, mostren que el desconfort per fred està relacionat amb la temperatura mitja de la pell i el desconfort per calor està relacionat amb la humitat de la pell ocasionada per la secreció de la suor.



**Fig. 96. Principals factors i paràmetres que afecten al confort segons els models d'equilibri tèrmic. Modificat de Simancas, 2003. . Font: (Facultad de Arquitectura-UR, 2010).**

Aquestes teories estan basades en experiments realitzats a 1296 joves en càmeres tèrmiques, utilitzant models estàtics de transferència de calor. Els participants havien d'indicar com es sentien en relació al fred o calor fent ús dels set punts de l'escala de sensació tèrmica ASHRAE, des de -3 que és sensació de fred a +3 que és sensació de calor i 0 és la sensació tèrmica neutral. Els joves podien controlar les condicions tèrmiques ambientals i regular-les fins a sentir-se en confort.

El model de Fanger combina las teories de balanç tèrmic amb la fisiologia i termoregulació per determinar un rang de temperatures de confort en les quals, els ocupants dels edificis es senten en confort.

Per predir quan té lloc la neutralitat tèrmica, Fanger va investigar els processos fisiològics del cos i va determinar que els que influeixen en el balanç tèrmic són la taxa de sudoració i la temperatura mitja de la pell. Va obtenir una relació lineal entre el nivell d'activitat i la taxa de sudoració.

Un estudi on participants amb una roba estandarditzada formaven part d'una sèrie de test dintre d'una càmera tèrmica mentre realitzaven quatre nivells d'activitat diferent. Després de substituir aquests valors per les seves respectives regressions lineals en l'equació de balanç tèrmic, Fanger va obtenir la seva equació de confort, la qual prediu les condicions necessàries per que l'ocupant senti la neutralitat tèrmica.

$$PMV = [0,303 \cdot \exp (-0,036 \cdot M)+0,028] \cdot \left\{ \begin{array}{l} (M-W) - 3,05 \cdot 10^{-3} \cdot [5733 - 6,99 \cdot (M-W) - p_a] - 0,42 \cdot [(M-W) - 58,15] \\ - 1,7 \cdot 10^{-5} \cdot M \cdot (5867 - p_a) - 0,0014 \cdot M \cdot (34 - t_a) \\ - 3,96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot [(t_{cl} + 273)^4 - (t_r + 273)^4] - f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_a) \end{array} \right\}$$

\* M és l'activitat metabòlica (W/m<sup>2</sup>)                      \* W treball extern; generalment zero (W/m<sup>2</sup>)  
 \* Pa pressió parcial de vapor d'aigua en Pa                      \* F<sub>cl</sub> factor de superfície de la roba

Fig. 97. Equació de Fanger per la obtenció del PMV. Font: (AENOR, 2006).

El resultat d'aquesta equació mostra el desequilibri entre el flux de calor natural del cos en un ambient tèrmic determinat i el flux de calor que es requereix per obtenir un confort òptim. Aquest resultat és conegut com l'índex de "vot mig previst" (PMV). Aquest índex, també es va relacionar amb l'índex de percentatge previst de insatsfets (PPD). La relació entre els dos índexs ve donada en l'equació:

$$PPD = 100 - 95 \exp ( - (0.03353PMV4 + 0.2179PMV2 ))$$

El càlcul del PMV és molt complexa, per la qual cosa, la Universitat de l'estat de Kansas, sota l'encàrrec de ASHRAE, va obtenir un model d'expressió del PMV més assumible:

$$PMV = aT + bP_v - c$$

Aquest model, va suposar una ruptura en las teories del confort tèrmic i l'avaluació tèrmica d'ambients interiors, encara que es tracta d'un model estacionari i no té en compte les variacions de temperatura al llarg del dia.

La **teoria del confort tèrmic adaptatiu** (Godoy Muñoz, 2012) és el resultat d'estudis de camp el qual té com a propòsit analitzar l'acceptabilitat d'ambients tèrmics, el que depèn estretament del context, el comportament dels ocupants y les seves expectatives.

En aquest model, les persones creen les seves pròpies preferències tèrmiques segons la manera d'interactuar amb l'ambient, modificar el seu comportament o adaptar les seves expectatives en funció de l'ambient tèrmic en el que es trobin.

Es distingeixen tres categories d'adaptació tèrmica:

- Ajustos de comportament: són ajustos d'activitat com posar-se i llevar-se la roba, posar l'aire condicionat ...
- Fisiològics: són canvis en la resposta psicològica davant de l'exposició a factors tèrmics del medi ambient extrems i prolongats. No té gaire influència en edificació.
- Psicològics: percepció alterada i reacció sensorial degut a experiències passades.

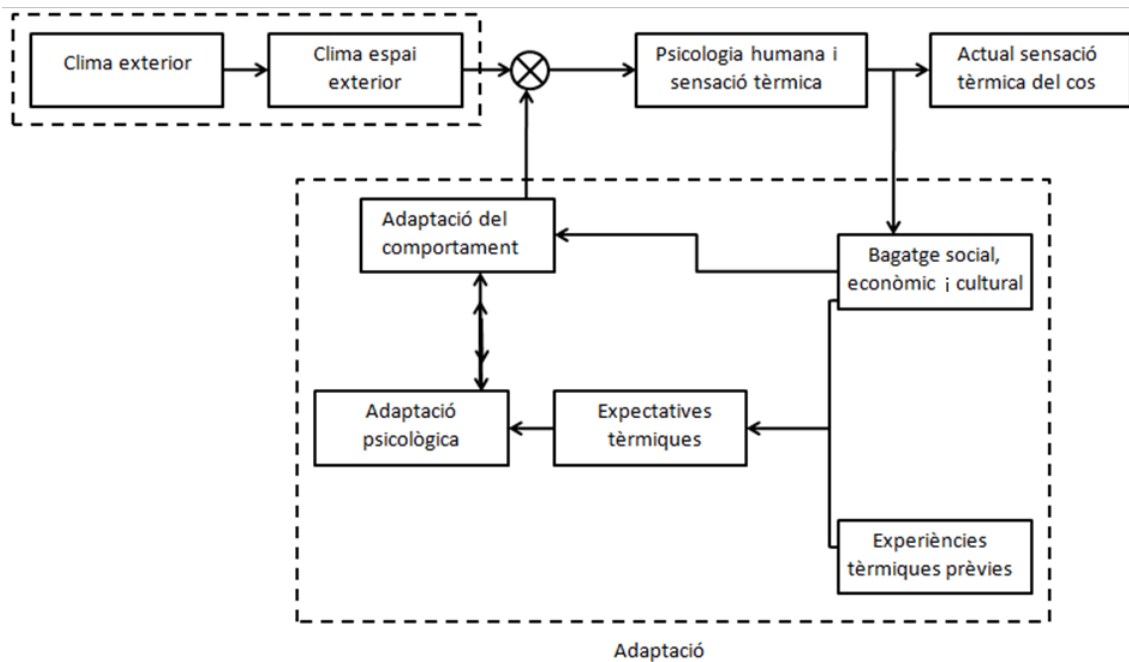


Fig. 98. Esquema del procés d'adaptació en ambients interiors. Font: (Godoy Muñoz, 2012)

Molts són els estudis que s'han centrat en la subjectivitat de l'experiència tèrmica i el flux interpretatiu de les interaccions entre els ocupants i el seu ambient.

Una de les investigacions més importants referents a aquest tema va ser la iniciada per De Dear i Brager al 1995. Aquest projecte amb el nom d'ASHRAE RP-884 va començar a recopilar gran quantitat de dades de milers d'investigacions de camp seguint el protocol d'investigació que l'ASHRAE havia iniciat anys enrere ASHRAE RP-462. La base de dades creada recollia dades internacionals sobre experiències en confort tèrmic, 21000 mostres de 160 edificis d'oficines de 4 continents.

Es va fer distinció entre els edificis que tenien ventilació natural i climatització, ja que els sistemes de climatització variaven les dades ja que en els edificis de ventilació natural, els usuaris tenen control sobre la obertura de les finestres i en els edificis amb sistema de climatització, els usuaris tenen molt poc control sobre l'ambient tèrmic que generen.

Es van fer estudis estadístics que relacionaven diferents factors com la temperatura mitja operativa interior amb nivell de vestimenta, temperatura mitja operativa interior amb velocitat mitja de l'aire interior, temperatura mitja exterior amb nivell de vestimenta,... encara que el creuament de dades més significatiu és el que es

va fer entre la temperatura mitja efectiva exterior i la temperatura de neutralitat tèrmica interior.

Es conclou que hi ha una tendència a que la temperatura de neutralitat tèrmica augmenti a mida que augmenta la temperatura exterior. Augmenta més en edificis amb ventilació natural

### **Paràmetres de confort exigits per les normatives (Vidal, 2010-2011)**

Les condicions interiors de càlcul de temperatura operativa i humitat relativa estan establertes en el RITE.

**Taula 49. Condicions interiors 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                     |

Aquestes condicions han estat establertes per persones amb activitat metabòlica sedentària de 1,2 MET, amb grau de vestimenta de 0,5 clo a l'estiu i 1 clo al hivern.

La norma ISO 7730 proposa unes condicions de confort per un lloc ocupat per una persona amb una activitat sedentària:

- $-0,5 < PMV < +0,5$
- Coeficient de turbulències  $DR < 15\%$  en el coll y en el turmell.
- Diferència Vertical de Temperatura de l'Aire entre el coll y el turmell menor de 3°C.
- Asimetria de Temperatura Radiant per finestres fredes menor de 10°C.
- Asimetria de Temperatura Radiant per sostres calents menor de 5°C.
- Temperatura del terra entre 19°C i 29°C.
- Humitat Relativa entre 30% i 70%.

## 10.4. Certificats ambientals i energètics

Paral·lelament als canvis legislatius i a la necessitat de la societat per donar resposta a una nova manera de construir amb criteris sostenibles, han anat apareixent una sèrie de certificats ambientals i energètics no obligatoris d'aplicació.

Aquests certificats, en general, determinen uns criteris molt més exigents que la normativa estatal obligatòria, per tant, garanteixen una manera d'edificar molt més sostenible; és a dir, si extraïem que, evidentment, un certificat no obligatori es un recurs mediàtic que atorga notorietat a allò aplicat i ajuda a difondre la bona praxis utilitzada, poden ser una eina molt útil, fàcil d'implementar, que, seguint una sèrie de pautes que ja et venen definides, i sense tenir la necessitat de coneixements molt tècnics, li permet al professional tenir un fil argumental vàlid per atendre criteris considerats sostenibles.

Es per això que s'ha cregut interessant un breu anàlisi d'aquestes metodologies ja que aquests poden aportar idees interessants i punts de vista que és possible que la normativa vigent i d'altres propostes encara no contemplin (sobretot a nivell social, ja que és un tema que encara no s'està abordant amb claredat).

*Aquest apartat sorgeix per la col·laboració amb la preparació de material per una assignatura del màster "Energies renovables" de la fundació UPC, sobre certificacions energètiques.*

### CERTIFICATS ENERGÈTICS

Certificats que valoren i quantifiquen la demanda i el consum necessari per a l'edifici que s'està analitzant. Per tant, es realitza l'avaluació de les demandes de l'edificació a partir de l'anàlisi de les característiques formals i físiques de l'edificació i dels consums finals sobre la base de les característiques de les instal·lacions. Com a resultat s'obté un certificat o etiqueta que determina el grau d'eficiència de l'edificació en comparació amb una edificació estàndard. En aquest apartat podem trobar, per exemple, l'estàndard PassivHaus, Minergie, R-2000 Home Canadà, Energy Star Estats Units, etc.

### CERTIFICATS AMBIENTALS

Certificat que, a més de realitzar un estudi energètic i mediambiental, analitza altres àmbits com la qualitat de l'aire o ambiental, qualitat i consum de l'aigua, ubicació del sistema solar, anàlisi del cicle de vida dels materials, residus ... Bons exemples d'aquest cas serien Llegiu, Breeam, Casbee, HQE França, DGNB Alemanya, Green Star Austràlia, Green Globes Canadà, VERD Espanya, entre d'altres.

### METODOLOGIA DE PUNTUACIÓ

En termes generals, podem classificar els certificats segons 3 maneres de puntuar i de valorar l'edificació:

- Certificat on s'aconsegueix una puntuació (a força de **ecopunts**), a partir d'analitzar diferents apartats mitjançant els quals, segons una escala, es cataloga l'edifici amb una categoria determinada. En aquest apartat podem situar el certificat ENVEST.

- Certificat on es valoren uns **criteris** que estan ponderats, segons el pes específic, l'organisme de control que atorga el certificat que considera oportú (es valoren propietats físiques quantificables). Els certificats d'aquest grup són el Leed, Breeam o Casbee.
- Certificats mitjançant els quals, després de valorar i quantificar una sèrie de criteris amb uns indicadors ponderats, s'analitzen els **impactes** que tenen associats. El GBCe Verd seria un bon exemple per a aquest cas.

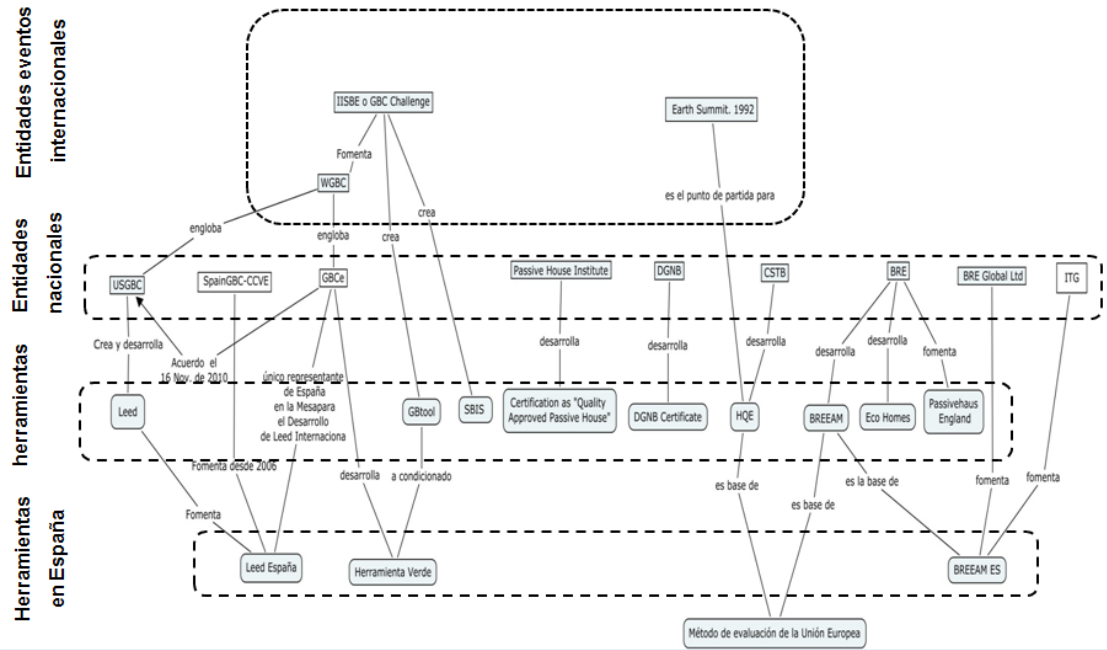


Fig. 99. Mapa general dels diferents mètodes de certificació a nivell general.  
Font: Living Lab UPC LOW3.

Taula 50. Relació de característiques generals de diversos certificats. Font: Elaboració pròpia.

| NOMBRE         | ÁMBITO GEOGRÁFICO                 | INDICADOR / SELLO             | CONTACTO              | ACREDIT |    | ASPECTOS CONSIDERADOS |           | CARÁCTER   |                        |
|----------------|-----------------------------------|-------------------------------|-----------------------|---------|----|-----------------------|-----------|------------|------------------------|
|                |                                   |                               |                       | Si      | No | Energético            | Ambiental | Voluntario | Complimiento normativa |
| Calener VyP    | Español                           | CO <sub>2</sub> / A-F         | IDAE / Mitye / ICAEN  |         | X  | X                     |           |            | X                      |
| Calener GT     | Español                           | CO <sub>2</sub> / A-F         |                       |         | X  | X                     |           |            | X                      |
| LEED           | Internacional (USA, Espanya, ...) | Punts/Pl, Au, Ag..            | SGBC (Madrid) / USGBC |         | X  | X                     | X         | X          |                        |
| BREEAM         | Internacional                     | Crèdits / punts               | BREEAM SPAIN          |         | X  | X                     | X         | X          |                        |
| Passivhaus     | Alemanya / Internacional          | Criteris variis / indicacions | PLATAFORMA - PEP      |         | X  | X                     |           | X          |                        |
| Green Building | Internacional                     |                               |                       |         |    | X                     | X         | X          |                        |
| VERDE          | Espanyol                          | Impactes                      | GBCe                  |         | X  | X                     | X         | X          |                        |
| Ce2            | Espanyol                          | CO <sub>2</sub> / A-F         |                       |         |    | X                     |           |            | X                      |
| CERMA          | Espanyol                          | CO <sub>2</sub> / A-F         |                       |         |    | X                     |           |            | X                      |

**Taula 51. Relació de característiques generals de diversos certificats. Font: Elaboració pròpia.**

| NOMBRE         | ÀMBITO DE APLICACIÓN |             |            |             |           | GRADO DIFICULTAD |       |      | FASE EDIFICIO |         |
|----------------|----------------------|-------------|------------|-------------|-----------|------------------|-------|------|---------------|---------|
|                | Unifamiliar          | Residencial | Pequeño 3i | Gran 3i     | Urbanismo | Bajo             | Medio | Alto | Proyecto      | Acabado |
| Calener VvP    | X                    | X           | X          |             |           | X                |       |      |               |         |
| Calener GT     |                      |             |            | X           |           |                  |       | X    | X             | X       |
| LEED           | X (només per EEUU)   | X           | X          | X           | X         |                  |       | X    | X             | X       |
| BREAM          | X (en desarrollo)    | X           | X          | X           | X         |                  |       |      |               |         |
| Passivhaus     | X                    | X           |            |             |           |                  |       | X    | X             | X       |
| Green Building |                      | X           | X          | X (Hotel *) |           |                  | X     |      | X             |         |
| VERDE          |                      | X           | X          |             |           |                  |       |      |               |         |
| Ce2            |                      | X           |            |             |           |                  |       | X    | X             | X       |
| CERMA          |                      | X           |            |             |           | X                |       |      | X             | X       |

En termes generals, cada certificat d'eficiència energètica, avalua segons un determinat nombre de categories i depenen d'un organisme internacional, i, per obtenir les dades necessàries per a la certificació, cada un ha desenvolupat una eina o utilitza els resultats de programaris existents i oficials dels ministeris.

#### 10.4.1. Certificats energètics. Estàndard PassivHaus

En aquest apartat analitzarem breument l'estàndard PassivHaus, com a certificat amb gran representació i aplicació a la comunitat europea (a l'àmbit nacional té una influència i associació al darrera cada vegada més important).

Aquest estàndard ja es va implantar des de fa més de vint anys.

És un estàndard pensat en un origen per climes molt més freds que el nostre, tot i que ja hi ha noves interpretacions per la nostra zona climàtica.

Bàsicament cal complir els següents requeriments:

**Taula 52. Requeriments que cal complir en el estàndard PassivHaus. Elaboració pròpia. Font: [www.plataforma-pep.org](http://www.plataforma-pep.org).**

| <b>Criteri de la calefacció</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| La demanda energètica útil per calefacció no ha d'excedir 15 kWh per m <sup>2</sup> de superfície habitable i any. Les temperatures superficials interiors de l'envolupant tèrmica durant l'hivern >17 °C. Per a edificis amb calefacció i refrigeració per aire, s'accepta com a alternativa també el aconseguir una càrrega per fred i calor menor de 10 W/m <sup>2</sup> .<br><i>- Per al cas de zones amb clima mediterrani s'aplica aquest paràmetre, també, per a la refrigeració-</i> |
| <b>Criteri de l'energia primària</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| El consum d'energia primària per a tots els serveis d'energia, incloent calefacció, aigua calenta sanitària, electrodomèstics i enllumenat, no ha d'excedir de 120 kWh per m <sup>2</sup> de superfície habitable i any                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| <b>Estanquitat</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| L'envolupant exterior de l'edifici ha de tenir un resultat de la prova de la pressurització segons EN 13829 de no més de 0.6/h-1.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |

| Confort a l'hivern                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| La temperatura operativa de l'ambient interior s'ha de mantenir per sobre de 20 ° C a l'hivern, usant com a límit la quantitat esmentada d'energia. Per aquells llocs amb temperatures ambient de disseny a l'hivern per sobre de 0 ° C, un resultat de la prova de la pressurització de 1.0/h-1 és generalment suficient per assolir el criteri de la calefacció. La temperatura operativa de l'ambient interior s'ha de mantenir en el rang especificat per la norma EN 15251. |
| Confort a l'estiu                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| La temperatura operativa de l'ambient interior s'ha de mantenir en el rang especificat per la norma EN 15251. A més, si es fa servir un sistema actiu de refrigeració, aquesta temperatura pot mantenir-se per sobre de 26 ° C.                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Ponts tèrmics                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| Mantenir les pèrdues dels PT s per sota del 5% del total de pèrdues dels tancaments i reduir la transmitància lineal dels PT s <0,01 W / mk.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |

També cal demostrar mitjançant càlcul la rendibilitat econòmica del projecte (és recomanable realitzar-lo amb ajuda informàtica mitjançant el propi software de càlcul PHPP, basat en el mètode de càlcul DIN EN 832 i per al càlcul de transmitància tèrmica segons EN ISO 6946). Els punts a tenir en compte són:

**Taula 53. Criteris que cal tenir en compte per la realització del càlcul de la rendibilitat econòmica.**  
Elaboració pròpia. Font: [www.plataforma-pep.org](http://www.plataforma-pep.org).

|                                          |                                     |
|------------------------------------------|-------------------------------------|
| Vida hipotètica de l'edifici             | Cost dels materials                 |
| Vida dels materials                      | Costos de manteniment               |
| Costos de l'energia a consumir           | Energia auxiliar                    |
| Pujades de preu de l'energia (hipotètic) | Costos del finançament (interessos) |
| Subvencions                              | Saldo actiu                         |

**Taula 54. Comparativa normativa alemanya i espanyola per hivern.** Font: EnEV 2007/DIN1946-T6.  
Elaboració: elaboració pròpia.

|                                                                                                               | ALEMANYA                                                                                                             | ESPANYA                                                                                                    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Normativa (habitatge)                                                                                         | EnEV 2007/DIN 1946-T6                                                                                                | CTE-HS3                                                                                                    |
| Caudal renovació d'aire (mínim)                                                                               | 30 m <sup>3</sup> /h per persona                                                                                     | 180 m <sup>3</sup> /h per 4 persones, habitatge 100m <sup>2</sup>                                          |
| Renovació d'aire mínim                                                                                        | 0,3/h                                                                                                                | 0,6/h (en funció de dimensió de l'habitatge)                                                               |
| Capacitat tèrmica de l'aire (21°C)                                                                            | 0,33 Wh/m <sup>3</sup> K                                                                                             | 0,33 Wh/m <sup>3</sup> K                                                                                   |
| Límit d'escalfament de l'aire                                                                                 | 50 °C                                                                                                                | 50 °C                                                                                                      |
| Potència (càrrega) de calor en el dia més fred de l'any<br>Alemanya: -10 °C<br>Espanya: segons zona climàtica | 30 (m <sup>3</sup> /hp) x 0,33(Wh/m <sup>3</sup> K) x (50-20)K = (30m <sup>2</sup> /pers.) <b>10 W/m<sup>2</sup></b> | 1'8(m <sup>3</sup> /hm2)x 0,33 (Wh/m <sup>3</sup> K) x (50-20)K = <b>18 W/m<sup>2</sup></b> valor variable |

**Taula 55. Comparativa normativa alemanya i espanyola per estiu. Font: EnEV 2007/DIN1946-T6. Elaboració: elaboració pròpia.**

|                                                                                                                | ALEMANYA                                                                                                                            | ESPANYA                                                                                                        |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Normativa (habitatge)                                                                                          | EnEV 2007/DIN 1946-T6                                                                                                               | CTE-HS3 / RITE (HE-2)                                                                                          |
| Caudal renovació d'aire (mínim)                                                                                | 42,5 m <sup>3</sup> /h per persona                                                                                                  | 180m <sup>3</sup> /h per 4 persones, habitatge 100m <sup>2</sup>                                               |
| Renovació d'aire mínim                                                                                         | 0,5/h                                                                                                                               | 0,6/h (en funció de dimensió de l'habitatge)                                                                   |
| Capacitat tèrmica de l'aire (21°C)                                                                             | 0,33 Wh/m <sup>3</sup> K                                                                                                            | 0,33 Wh/m <sup>3</sup> K                                                                                       |
| Límit de refredament de l'aire (condensacions en la canalització)                                              | 17 °C                                                                                                                               | 17 °C                                                                                                          |
| Potència (càrrega) de fred en el dia més calorós de l'any<br>Alemanya: 33 °C<br>Espanya: segons zona climàtica | 42,5 (m <sup>3</sup> /hp) x 0,33(Wh/m <sup>3</sup> K) x (24-17)K = 98 W/p = (30m <sup>2</sup> /pers.)<br><b>3,3 W/m<sup>2</sup></b> | 1'8(m <sup>3</sup> /hm2)x 0,33 (Wh/m <sup>3</sup> K) x (25-17)K = <b>4,75 W/m<sup>2</sup></b> * valor variable |

\* : segons el Ministeri d'Indústria, Turisme i Comerç: 26 °C a l'estiu; 5,35 en comptes de 4,75 W/m<sup>2</sup>

#### 10.4.2. Certificats ambientals.

En aquest apartat analitzarem dos certificats a mode representatiu, un referent al sistema de puntuació segons criteris, la certificació Leed, la qual es coneguda pel propi autor ja que ha realitzat els cursos relacionats amb la certificació per poder ser certificador oficial; i la certificació GBce-Verde, com a exemple de certificació nacional espanyola que puntua segons impactes.

##### **CERTIFICACIÓ LEED: puntuació segons criteris**

La certificació Leed va ser una de les primeres certificacions i internacionals existents. Amb aquesta certificació, es pot valorar i ponderar els següents usos:

- LEED-H (Homes)
- LEED-ND (Neighborhood Development)
- LEED-NC (New Construction)
- LEED-CI (Commercial Interiors)
- LEED-EB (Existing Buildings)
- LEED-CS (Core and Shell)

És important esmentar, que hi ha un conjunt de crèdits que són prerequisits, és a dir, no aporten puntuació addicional i són obligatoris. En el cas que no es puguin aconseguir, seria impossible certificar l'edifici mitjançant aquest certificat.

A continuació, es pot observar la fitxa amb els diferents criteris que cal tenir en compte en el cas dels "Edificis existents"; no obstant, es proposa, també, per tal de poder atendre a més criteris, la fitxa de "Nova construcció".

Sustainability Measurement  
and Modeling Lab – **SUMMLAB**

Fig. 100. Leed EB – Existing Buildings. *Cheklis*t d'un projecte model. Font: leedonline.usgbc.org.

Fig. 101. **Leed NC – New Construction. Checklist** del Centre Cívic de Roses elaborat pel propi autor.  
Font: [leedonline.usgbc.org](http://leedonline.usgbc.org).

## **CERTIFICACIÓ GBCE-VERDE: puntuació segons impactes**

Aquest certificat és el propi creat a Espanya, pensat per al clima de la península i que utilitza com a eina principal el programari LIDER / CALENER

Els criteris avaluats són els següents:

**Taula 56. Criteris avaluats per la certificació GBCE-VERDE. Elaboració pròpia. Font <http://www.gbce.es>.**

| <b>Parcel·les i emplaçament</b>                                               | <b>Qualitat de l'ambient interior</b>                                                                                     |
|-------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Estratègies per al reciclatge de residus a la comunitat o projecte            | Eliminació, prèvia a l'ocupació de l'edifici, dels contaminants emesos per materials nous d'acabats interiors             |
| Ús de plantes autòctones                                                      | Concentració de CO <sub>2</sub> en l'aire interior                                                                        |
| Contaminació Lumínica                                                         | Limitació a la velocitat d'aire en les zones amb ventilació mecànica                                                      |
| <b>Energia y atmosfera</b>                                                    | Eficiència de la ventilació en les àrees amb ventilació natural                                                           |
| Ús d'energia no renovable en els materials de construcció                     | Confort higrotèrmic en els espais amb ventilació mecànica                                                                 |
| Ús d'energia no renovable per al transport en els materials de construcció    | Confort tèrmic en els espais amb ventilació natural                                                                       |
| Consum d'energia no renovable durant l'ús, demanda i eficiència dels sistemes | Il·luminació natural en els espais d'ocupació primària                                                                    |
| Demanda d'energia elèctrica en la fase d'ús                                   | Enlluernament en les zones d'ocupació no residencial                                                                      |
| Producció d'energia renovable a la parcel·la                                  | Nivell d'il·luminació i qualitat de la llum en els llocs de treball                                                       |
| Emissions de substàncies foto-oxidants                                        | Protecció enfront del soroll a través de l'envoltant i zones d'ocupació primària                                          |
| Emissions de substàncies que redueixen l'ozó estratosfèric                    | Protecció enfront del soroll a través de les sales de màquines a les zones d'ocupació primària                            |
| <b>Recursos naturals</b>                                                      | Protecció enfront del soroll entre àrees d'ocupació primària                                                              |
| Consum d'aigua potable                                                        | <b>Qualitat del servei</b>                                                                                                |
| Recollida d'aigües pluvials per reutilitzar                                   | Eficiència dels espais                                                                                                    |
| Reutilització de aigües grises                                                | Eficiència volumètrica                                                                                                    |
| Impactes dels materials de construcció                                        | Provisió i funcionament d'un sistema de control de les instal·lacions                                                     |
| Estratègies per al desmuntatge, reutilització i reciclatge                    | Capacitat de funcionament parcial de les instal·lacions i sistemes tècnics                                                |
| Impactes generats en el procés de construcció, residus de construcció         | Capacitat de control local del sistema d'il·luminació, en les àrees d'ocupació no residencial                             |
| <b>Aspectes socials i econòmics</b>                                           | Capacitat de control local dels sistemes de calefacció, refrigeració i ventilació, en les àrees d'ocupació no residencial |
| Estratègies per millorar l'accés a persones discapacitades                    | Possibilitat de modificació de les instal·lacions tècniques a l'edifici                                                   |

|                                                                        |                                                                                                 |
|------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Dret al sol: quantitat d'hores solars rebudes                          | Adaptabilitat dels espais. Limitacions imposades per l'estructura                               |
| Accés a espais oberts privats des dels habitatges                      | Adaptabilitat dels espais. Limitacions imposades per l'altura dels pisos                        |
| Protecció a les vistes des de l'exterior de l'interior dels habitatges | Adaptabilitat dels espais. Limitacions imposades per les façanes i les instal·lacions tècniques |
| Accés visual des de les àrees de treball                               | Adaptabilitat a canvis futurs en el tipus de subministrament energètic                          |
| Cost de construcció                                                    | Desenvolupament i implementació d'un pla de gestió de manteniment                               |
| Cost de manteniment                                                    | Monitorització i control de l'edifici durant l'ús                                               |
| Incentiu per la venda o lloguer                                        |                                                                                                 |

Taula 57. Categories d'impacte. Font: [www.gbce.es](http://www.gbce.es).

| IMPACTE                                                            | INDICADOR                              |
|--------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| Canvi Climàtic                                                     | kg de CO <sub>2</sub> eq               |
| Augment de les radiacions UV a nivell del sòl                      | kg de CFC11 eq                         |
| Pèrdua de fertilitat                                               | kg de SO <sub>2</sub> eq               |
| Pèrdua de vida aquàtica                                            | kg de PO <sub>4</sub> eq               |
| Producció de càncer i altres problemes de salut                    | kg de C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq |
| Canvis en la biodiversitat                                         | %                                      |
| Esgotament d'energia no renovable, energia primària                | MJ                                     |
| Esgotament de recursos no renovable diferent de l'energia primària | kg de material                         |
| Esgotament d'aigua potable                                         | m <sup>3</sup>                         |
| Uso del sòl                                                        | m <sup>2</sup>                         |
| Esgotament de sòl per dipòsit de residus no peril·losos            | m <sup>3</sup>                         |
| Perill per la disposició o emmagatzematge de residus peril·losos   | kg                                     |
| Perill per la disposició o emmagatzematge de residus radioactius   | kg                                     |
| Salut, benestar i productivitat per als usuaris                    | %                                      |
| Risc financer o beneficis pels inversors-Cost del Cicle de Vida    | €/m <sup>2</sup>                       |

El pes assignat en aquest moment per les diferents categories d'impacte segueix el que indica el "Informe de la OSE sobre la Sostenibilitat a Espanya 2007 i Informe del MMA sobre el Perfil Ambiental d'Espanya 2007".

## 11. 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)
- eQuest. (2010). Recollit de <http://doe2.com/equest/index.html>
- GenOpt. (2011). Consultat el 01 / 07 / 2012, a Generic Optimization Program: <http://simulationresearch.lbl.gov/GO/index.html>
- The DAKOTA Project. (2011). Consultat el 01 / 07 / 2012, a Large-Scale Engineering Optimization and Uncertainly Analysis: <http://dakota.sandia.gov/>
- Clúster de divulgación científica. (2012). Recollit de <http://cluster-divulgacioncientifica.blogspot.com.es/2011/04/sobre-las-tablas-periodicas.html>
- A. García de la Yedra, A. M.-M. (2011). THERMOMECHANICAL FATIGUE BEHAVIOUR AND LIFE PREDICTION OF C-1023 NICKEL BASED. A *Anales de Mecánica de la Fractura 28, Vol. 1*. San sebastián : University of Navarra.
- A. SANZ, L. L.-.. (1995). INFLUENCIA DE UN REVESTIMIENTO DEL TIPO NiCoCrAlYT<sub>a</sub> EN LA SUPERALEACIÓN AM-3. A *Anales de mecánica de la fractura, vol. 12*. Barcelona: UPC.
- A.M. Ges, O. F. (2003). *Crecimiento de partículas gamma prima en una superaleación CMSX-2*. Buenos Aires: Universida de Buenos Aires.
- ACA. (2012). *REPEX. Estudio dee la pobreza energética de Espanya*. Madrid.
- Academic Press Inc. (2000). *Theory of modeling and simulation, integrating discrete event and continuous complex dynamic systems*. . Pearson.
- AENOR. (2006). *Ergonomía del ambiente térmico. Determinación analítica e interpretación del bienestar térmico mediante el cálculo de los índices PMV y PPD y los criterios de bienestar térmico local (ISO 7730:2005)*. UNE-EN ISO 7730:2006.
- AENOR. (2012). *Reglas Generales del Programa AENOR GlobalEPD*.

AENOR. UNE-EN 15643-1. (2012). *Sostenibilidad en la construcción. Evaluación de la sostenibilidad en los edificios. Marco General*.

AENOR. UNE-EN 15643-2. (2012). *Marco para la evaluación del comportamiento ambiental*. Madrid.

AENOR. UNE-EN 15643-3. (2012). *Marco para la evaluación del comportamiento social*. Madrid.

AENOR. UNE-EN 15643-4. (2012). *Marco para la evaluación del comportamiento económico*. Madrid.

AENOR. UNE-EN 15978. (2012). *Evaluación del comportamiento ambiental de los edificios. Métodos de cálculo*. 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.

Alvarado, C. D. (2006). *Simulación térmica de un edificio con fines de ahorro energético*. Ecuador.

Andreas Sattrup, P. &.-A. (2011). *A methodological study of environmental simulation in architecture and engineering*. Boston.

Andújar, J. M. (2008). *Influencia de la morfología y de la distribución de tamaños de partícula de polvo en la obtención de aleaciones base Cu y Ni mediante la tecnología MIM*. Leganés: Universidad Carlos III de Madrid.

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)

Autodesk Analysis. (2013). *Autodesk Analysis*. Recollit de <http://usa.autodesk.com/ecotect-analysis/>

- B. Sarasola, J. L.-M. (2010). *MICROESTRUCTURA Y RESPUESTA MECÁNICA A ALTAS TEMPERATURAS DE UNIONES DE HAYNES 230*. San Sebastián : Universidad de Navarra.
- Barroso Herrero, S. G. (2010). *Introducción al conocimiento de los materiales y sus aplicaciones*. Madrid: UNED.
- BeOpt. (2012). *BEopt*. Recollit de Building Energy Optimization: <http://beopt.nrel.gov/>
- Berkeley Lab. (2013). *Simulation Research Group*. Recollit de <http://simulationresearch.lbl.gov/>
- Boston Consulting Group. (2011). *Evolución Tecnológica y Prospectiva de Costes de las Energías Renovables: Estudio Técnico PER 2011-2020*.
- Bourgeois, D., Reinhart, C., & Macdonald, I. (2006). Adding advanced behavioural models in whole building energy simulation: a study on the total energy impact of manual and automated lighting control. *Energy and Buildings*.
- 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*.
- BPIE. (2012). *Buildings Performance Institute Europe*. Recollit de <http://www.bpie.eu/>
- Bruno, M. &. (2011). *Multi-Objective Optimization in Urban Design*. Boston.
- 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/>
- Cabanellas., G. (1946). *Manual de economía política*. Buenos Aires.: Atalaya.

- Casals, X. (2004). *Regulación y certificación energética de edificios: asignatura pendiente de España*. Madrid: Universidad Pontificia Comillas.
- CEN. (23 / Gener / 2013). *Comité Europeu de Normalització*. Consultat el 23 / Gener / 2013, a <http://www.cen.eu/cen/Pages/default.aspx>
- 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. (2012). *CIBSE*. Recollit de [www.cibse.org](http://www.cibse.org)
- CIBSE Guide A. (2006). *Environmental design*. London: CIBSE.
- Comisió Europea. (2012). *Estratègia europea EUROPA 2020*. Recollit de [http://ec.europa.eu/europe2020/index\\_es.htm](http://ec.europa.eu/europe2020/index_es.htm)
- Comissió Europea. (2013). *Eurostat*. Recollit de <http://ec.europa.eu/eurostat>
- Comisión Europea. (2010). *Europa 2020. Una estrategia para un crecimiento inteligente, sostenible e integrador*. Brussel·les.
- Comitè Tècnic ISO/TC 79. Subcomitè SC 17. (2008). *ISO 15392. La sostenibilitat en la construcció d'edificis. Principis generals*. Suïssa.
- Comunidad de Madrid. (2008). *Guía de Rehabilitación Energética de Edificios de viviendas*. Madrid: Consejería de Economía y Consumo.
- 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>
- 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/>
- Cook, E. (2010). The flow of energy in an Industrial Society. *Science*, 634.
- Craig , C., Scott , H., Todd, G., Adam , C., & Greg , B. (2005). *BeOpt: Software for Identifying Optimal Building Designs on the Path to Zero Net Energy*. Orlando, Florida: ISES 2005 Solar World Congress.
- Crambridge, U. o. (2012). *Superaelecciones*. Recollit de <http://www.msm.cam.ac.uk/phase-trans/2003/nickel.html>
- Crawley, D. B., Kummert, M., Hand, J., & Griffith, B. (2005). *Contrasting the Capabilities of Building Energy Performance Simulation Programs*.
- CSCAE. (2013). *Consejo Superior de Colegios de Arquitectos de España*. Recollit de <http://www.cscae.com>
- Cuchí A., Sweatman P. (2011). *Una visión-país para el Sector de la Edificación en España. Hoja de Ruta para un Nuevo Sector de la Vivienda*. Madrid.
- 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.
- CYPE Ingenieros S.A. (2013). *CYPE Ingenieros*. Recollit de <http://www.cype.es/>
- 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'ecoeficiència. (2006). *DECRET 21/2006, de 14 de febrer, pel qual es regula l'adopció de criteris Ambientals i d'ecoeficiència 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.

Departament de Medi Ambient i Habitatge . (2010). *Guia de la renovació energètica d'edificis d'habitatges. Envolupant tèrmica i instal·lacions*. Barcelona: Generalitat de Catalunya.

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)

Departamento de Vivienda y Asuntos Sociales. (2011). *Guía de edificación y rehabilitación sostenible para la vivienda. En la comunidad autónoma del País Vasco*. Donostia: Gobierno Vasco.

Department of Communications, Energy and Natural Resources. (2008). *Warmer Homes. A Strategy for Affordable Energy in Ireland*.

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 comissió de 16 Gener 2012*.

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.
- Donella Meadows, J. R. (2006). *Los límites del crecimiento: 30 años después*. Barcelona: Galaxia Gutenberg.
- Drury B. Crawleya, Linda K. Lawrieb, Frederick C. Winkelmann, W.F. Buhlc, Y. Joe Huangc, Curtis O. Pedersend, et al. (2001). *EnergyPlus: creating a new-generation building energy simulation program*. Elsevier.
- Duncan, R. C. (2013). *The Olduvai Theory: Terminal Decline Imminent*. Recollit de [http://www.warsocialism.com/duncan\\_tscq\\_07.pdf](http://www.warsocialism.com/duncan_tscq_07.pdf)
- E. Silveira, G. A. (2007). *ESTUDIO DE LAS CAUSAS DE LA ROTURA PREMATURA DE UN ÁLABE DE TURBINA DE AVIACIÓN*. San Sebastián: Universidad de Navarra.
- Eberhart , R., & Kennedy, J. (1995). A new optimizer using particle swarm theory. *In Sixth International Symposium on Micro Machine and Human Science*, 39–43.
- ECEEE. (2013). *European Council for an Energy Efficient Economy*. Recollit de <http://www.eceee.org/>
- 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/>
- Ehrlich, P. y. (1971). Impact of Population Growth. *Science*.
- Escrivà, E. J. (2010). *Cálculo de sombras en programas de simulación térmica en edificios*. Valencia: UPV.
- 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>

- Europea, C. (2011). *Hoja de ruta 2050*. Recollit de [http://europa.eu/legislation\\_summaries/employment\\_and\\_social\\_policy/eu2020/em0045\\_es.htm](http://europa.eu/legislation_summaries/employment_and_social_policy/eu2020/em0045_es.htm)
- European Climate Foundation. (2012). *European Climate Foundation*. Recollit de <http://www.europeanclimate.org/>
- European Commission. (20 / Febrero / 2013). *European Platform on LCA*. Recollit de <http://lca.jrc.ec.europa.eu/lcainfohub/toolList.vm>
- Facultad de Arquitectura-UR. (2010). *CONFORT TÉRMICO*.
- FENERCOM. (2008). *Guía de Rehabilitación Energética de Edificios de Viviendas*. Madrid: Comunidad de Madrid.
- Fonseca, A., Fonseca, P., & Colls, M. (2012). *NZEB. Optimización mediante co-simulación. Estudio de caso (e)Co, prototipo del concurso Solar Decathlon 2012*. Madrid: CONAMA.
- Fonseca, P. (2008). *SDLPS, a SDL distributed simulator*. Conference WinterSim 2008.
- Fonseca, P. (2012). *SDLPS*. Recollit de <http://www-eio.upc.es/~pau/?q=node/27>
- Fonseca, P., & Fonseca, A. (2012). *BUILDING OPTISIM, OPTIMIZADOR NZEB*. Málaga: GreenCities & Sostenibilidad.
- Fonseca, P., & Fonseca, A. (2012). *NZEB. OptiSIM in Sustainability (Simulación de la Sostenibilidad en la Construcción)*. Barcelona: SmartCities - Barcelona.
- Fritjof, C. (1991). *Nuevo paradigma ecológico*. Integral.
- Fundación La casa que ahorra. (2012). *Presentación de resultados del Programa de Diagnóstico Energético del Hábitat Urbano. PROGRAMA DE DIAGNÓSTICO ENERGÉTICO*. Madrid.
- Fundación La casa que ahorra. (2013). *La casa que ahorra*. Recollit de <http://www.lacasaqueahorra.org/>
- G. Atxaga, E. E. (2001). COMPORTAMIENTO A TEMPERATURA ELEVADA DE UNA ALEACIÓN MOLDEADA RENE 41. A *ANALES DE MECÁNICA DE LA FRACTURA, Vol. 18*. San Sebastián: University of Navarra.

G. P. Rodríguezv, I. G. (1998). *Aleación superficial de superaleaciones base níquel mediante láser*. Madrid: CSIC.

Gapminder Foundation. (2013). *Gapminder Foundation*. Recollit de <http://www.gapminder.org>

Garrido N., Casado I. (2006). *La contribució de l'habitatge de Catalunya a la reducció d'emissions de gasos amb efecte d'hivernacle*. Barcelona: Generalitat de Catalunya.

Garrido, N. (2010). *Eficiència i certifiació energètica d'edificis residencials*. Barcelona: UPC.

Generalitat de Catalunya. (2006). *DECRET 21/2006, de 14 de febrer, pel qual es regula l'adopció de criteris ambientals i d'ecoeficiència en els edificis*. DOGC 4574 – 16.2.2006.

Generalitat de Catalunya. (2013). *Reducció d'emissions de GEH*. Recollit de [http://www20.gencat.cat/portal/site/canviclimatic/menuitem.c4833b494d44967f9b85ea75b0c0e1a0/?vgnnextoid=a6e59d5e6e3ec210VgnVCM2000009b0c1e0aRCRD&vgnnextchannel=a6e59d5e6e3ec210VgnVCM2000009b0c1e0aRCRD&vgnnextfmt=default&newLang=es\\_ES](http://www20.gencat.cat/portal/site/canviclimatic/menuitem.c4833b494d44967f9b85ea75b0c0e1a0/?vgnnextoid=a6e59d5e6e3ec210VgnVCM2000009b0c1e0aRCRD&vgnnextchannel=a6e59d5e6e3ec210VgnVCM2000009b0c1e0aRCRD&vgnnextfmt=default&newLang=es_ES)

Gestwick, M., M., B., Polly, B., Anderson,, R., Horowitz, S., Christensen, C., et al. (2011). *A Method for Determining Optimal Residential Energy Efficiency Retrofit Packages*. National Renewable Energy Laboratory.

Gobierno Vasco. (2011). *Guía de edificación y rehabilitación sostenible para la vivienda*. Donostia: Ihobe.

Godoy Muñoz, A. (2012). *El confort térmico adaptativo. Aplicación en la edificación en España*. Barcelona: UPC.

Gonzalez, S. A. (2006). *Caracterización microestructural y mecánica de barreras térmicas por APS y EB-PVD degradadas por fatiga térmica y por contacto*. Barcelona: UPC.

Govern Vasc. (2012). *Estrategia de Desarrollo Sostenible de Euskadi 2020. Eco Euskadi 2020*. Recollit de <http://www.ecoeuskadi2020.net/es>

- Grup de Termotècnia de Sevilla i el IETCC. (2006-2008). *Proyecto RECONSOST: Investigación sobre el Comportamiento Térmico de Soluciones Constructivas Bioclimáticas. Aplicación de Nuevas Tecnologías para la Rehabilitación Sostenible de Edificios*. Recollit de <http://www.sostenibilidad-es.org/plataformas-de-comunicacion/sostenibilidad-urbana-y-territorial/iniciativas/proyecto-reconsost>
- 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.
- Hirsch, J. J. (2013). *DOE2*. Recollit de <http://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.
- ICAEN. (2012). *La certificació d'eficiència energètica d'edificis*. Núm. 179. . Generalitat de Catalunya.
- ICAEN. (2012). *Pla de l'Energia i Canvi Climàtic de Catalunya 2012-2020*. Barcelona: Generalitat de Catalunya.
- IDAE. (2003). *E4. Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España 2004-2012*. Madrid: Ministerio de Economía.
- IDAE. (2007). *E4. Plan de acción 2008-2012*. Madrid: Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.
- 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). *Plan de Ahorro y Eficiencia Energética 2011-20*. Madrid: IDAE.
- IDAE. (2011). *Plan de Energías Renovables 2011-20*. Madrid: IDAE.
- IDAE. (2011). *PROYECTO SECH-SPAHOUSEC*. Madrid: Ministerio de industria, energía y turismo.
- IDAE. (2011). *PROYECTO SECH-SPAHOUSEC. Análisis del consumo del Sector Residencial en España'*. Madrid.
- IDAE. (2012). *Guia de recomendaciones de eficiencia energética; certificación de edificios existentes CE3*. Madrid: IDAE.
- IDAE. (2013). *CALENER*. Recollit de <http://www.minetur.gob.es/energia/desarrollo/eficienciaenergetica/certificacionenergetica/programacalener/paginas/documentosreconocidos.aspx>
- IDESCAT. (2013). *Instituto de Estadística de Cataluña. Anuario estadístico de Cataluña*. Recollit de <http://www.idescat.cat/>
- Ihobe. (2009). *Anàlisis del ciclo de vida y huella de carbono*. Bilbao: Ihobe, Sociedad Pública de Gestión Ambiental.
- INE. (2013). *Cens de població i habitatge*. Recollit de [http://www.ine.es/censos2011\\_datos/cen11\\_datos\\_resultados.htm](http://www.ine.es/censos2011_datos/cen11_datos_resultados.htm)
- INE. (2013). *Censo de población y vivienda 2001*. Recollit de <http://www.ine.es/censo2001/index.html>
- INE. (2013). *Instituto nacional de Estadística*. Recollit de <http://www.ine.es/jaxi/tabla.do?path=/t20/e245/p04/a2010/l0/&file=00000003.px&type=pcaxis&L=0>
- 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 Cerdà. (2008). *La rehabilitación energética desde una visión energética. Proyecto RehEnergía*. Madrid.

Institut Valencià de l'edificació. (2011). *Catálogo de soluciones constructives de rehabilitación*. València: Generalitat Valencia.

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)

Instituto Valenciano de la Edificación (IVE). (2009). *Libro blanco de la edificación sostenible en la Comunitat valenciana*. València: Generalitat Valenciana.

Intelligent Energy Europe. (2006). *Diagnosis de las causas y de las consecuencias de pobreza energética en Bélgica, Francia, Italia, España y Reino Unido*.

Intelligent Energy Europe. (2013). *Proyecto TABULA*. Recollit de <http://www.building-typology.eu/>

IPCC. (2007). *Cambio climático 2007. Informe*.

ITP. (2012). *Aeronautical engines and turbines manufacturer*. Recollit de <http://www.itp.es>

ITU-T. (1999). *Specification and Description Language (SDL)*. Consultat el Abril / 2008, a Series Z: Languages and general software aspects for telecommunication systems.: <http://www.itu.int/ITU-T/studygroups/com17/languages/index.html>

James J. Hirsch & Associates. (2012). *DOE2*. Recollit de <http://doe2.com/>

Jorge Stella, A. S. (2008). *Morfologías de oxidación a altas temperaturas de una superaleación sintetizada Ni-Al-Cr*. Caracas: Universidad Simón Bolívar.

Kuehl, R. O. (2000). *Disseny d'experiments. Principis estadístics de disseny i anàlisi de recerca. Segona edició*. Arizona: University of Arizona.

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)

LBNL. (2013). *Simergy*. Recollit de <http://energy.lbl.gov/bt/simergy/key.html>;  
<http://simulationresearch.lbl.gov/projects/gui>; <http://simergy-beta.lbl.gov/index.html>

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.

Ltd, D. S. (2012). *DesignBuilder v3.0*. Recollit de <http://www.designbuilder.es/>

M. San-Sebastian, A. P.-J. (2002). *CONFORMABILIDAD EN CALIENTE DE SUPERALEACIONES BASE NIQUEL*. Gandia: Centro de Estudios e Investigaciones Técnicas y Universidad de Navarra.

M.J.Morán, & H.N. Shapiro. (2006). *Fundamentos de termodinámica técnica*. Barcelona: Reverté.

MAGRAMA. (2012). *Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente*. Recollit de <http://www.magrama.gob.es/es/>

MAGRAMA. (2013). *Fundació Biodiversidad*. Recollit de <http://www.fundacion-biodiversidad.es/>

Mann, S. (2010). *Computing for Sustainability*. Recollit de <http://computingforsustainability.com/plan-a/>

MathWorks. (2013). *Matlab*. Recollit de <http://www.mathworks.es/>

MathWorks. (2013). *Simulink*. Recollit de <http://www.mathworks.es/products/simulink/>

Mazria, E. (1984). *Energía solar pasiva*. Mexico: Gustavo Gili.

Meadows, D. (1972). *The Limits to Growth*.

MED. (2012). *Porjecte MARIE*. Recollit de <http://www.marie-medstrategic.eu/>,  
<http://www.programmemed.eu>

Medi Ambient i Sostenibilitat. (2013). *Índex Català de Qualitat de l'aire*. Recollit de <http://www20.gencat.cat/portal/site/mediambient/menuitem.64be942b6641a>

1214e9cac3bb0c0e1a0/?vgnextoid=2a2cd5029e927210VgnVCM1000008d0c1e0aRCRD&vgnnextchannel=2a2cd5029e927210VgnVCM1000008d0c1e0aRCRD&vgnnextfmt=default

Michael Braungart, W. M. (2010). *Cradle to cradle*. Madrid: McGrawHill.

Michael F.Ashby, D. R. (2008). *Materiales para ingeniería 1*. Reverté.

Ministeri de Foment. (2013). *RD 233/2013. Plan Estatal de fomento del alquiler de viviendas, la rehabilitación edificatoria, y la regeneración y renovación urbanas, 2013-2016*. Madrid: BOE.

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/Procedimientos simplificados para edificio existentes.aspx>

Ministerio de Vivienda. (2008). *RD 2066/2008. Plan Estatal de Vivienda y Rehabilitación, 2009-2012*.

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/>

Moya, C. M. (2007). *Nuevos materiales del siglo XXI*. Madrid: CSIC. Cyan.

Nacions Unides. (1987). *Our Common Future. Report of the World Commission on Environment and Development*.

Nacions Unides. (2007). *Programa de les Nacions Unides per el Mediambient. Prefaci GEO4*. Randers.

Nacions Unides. (2012). *Informe del PIB mundial*.

Nacions Unides. (2013). *United Nations Framework Convention on Climate Change*.

Recollit de <http://unfccc.int/2860.php>

Nemry, F. (2009). *Potenciales de mejora medioambiental de los edificios residenciales (ImproBuilding)*. Luxemburg: Oficina para la Publicaciones Oficiales de las Comunidades Europeas.

Nigusse, B. (2007). *Improvements to the radiant time series method cooling load calculation procedure*. Oklahoma: School of Mechanical and Aerospace Engineering.

NREL, C. (. (2012). BLAST 3.0. EE.UU.

ODS Engineering. . (2013). *Open Design Solutions*. Recollit de <http://www.ods-engineering.com/en/tools/ods-studio/>

OECD/IEA. (2013). *International Energy Agency*. Recollit de <http://www.iea.org/>

OSE. (2012). *Sostenibilidad en España 2012*. Madrid: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

Oukrid, H. (2012). *Estudio y caracterización del comportamiento en caliente del Inconel 718*. Barcelona: UPC.

Peuportier, B., Budavari, Z., Szalay, Z., Brown, N., Malmqvist, T., Zabalza, I., et al. (2011). *Indicators and weighting systems, including normalisation of environmental profiles*. LoRe-LCA-WP5-D5.1.

PNUD. Nacions Unides. (2013). *Programa de les Nacions Unides pel Desenvolupament*. Recollit de <http://www.undp.org/content/undp/es/home.html>

PNUMA. (2012). *GEO5. Global Environment Outlook*. Malta: Nacions Unides.

Quick-R. (2012). *Quick R-Statiscitics*. Recollit de <http://www.statmethods.net/>

Rangel, L. Z. (2006). *LA INFLUENCIA DEL TRATAMIENTO TERMICO EN LAS PROPIEDADES MECANICAS DE UNA SUPERALEACION NIMONIC 80 A MODIFICADA CON CIRCONIO*. Habana: INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES NUCLEARES.

- 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.
- Romeva, C. R. (2011). *Recursos energètics i crisis. La fi de 200 anys irrepitibles*. Publicacions Acadèmiques UPC.
- Salom, J. (2012). Els edificis de consum d'energia quasi zero. *Cultura Energètica. La certificació d'eficiència energètica d'edificis*, Número 179, pàgines 14-17.
- Satterthwaite, D. (2008). *Climate change and urbanization: effects and implications for urban governance*. New York: Departament d'Economia i afers socials. Nacions unides.
- Sayed Ahmed, A. &. (2010). *Integrating Building Information Modeling & Cell-DEVS Simulation*.
- SENDECO2. (2013). *SENDECO2*. Recollit de Sistema electrónico de negociación de derechos de emisión de dióxido de carbono: <http://www.sendeco2.com/>
- Servando Álvarez Domínguez, c. (2010). *Proyecto Reconsost*. Plan Nacional de Investigación (AICIA y IETCC).
- 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.

Smith, A. (1776). *An Inquiry into the Nature and Causes of the Wealth of London*. London.

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.

Solé Bonet, J., & Igualador, F. (sense data). *Las características ambientales de los productos aislantes para los edificios: Caso particular de las Lanás Minerales*.

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)

solutions, W. t. (2012). *Lenntech B.V.* Recollit de <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/ni.htm>

Stern, S. N. (2006). Stern Review on the Economics of Climate Change.

Stockport. (2010). *Stockport Metroppolitan 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

SUDOE. (2012). *EnerBuiLCA*. Consultat el 22 / Gener / 2012, a <http://www.enerbuilca-sudoe.eu/resultados.html>

superales, A. p. (2012). Luis Zamora Rangel. México: Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares.

SustainAbility Limited. (1993). *The LCA Sourcebook: A European Business Guide to Life-cycle Assessment*. SustainAbility, 1993.

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>

- Tirado, S., López, J., & Martín, P. (20012). *Pobreza Energética en España. Potencial de Generación de empleo derivado de la rehabilitación energética de viviendas*.
- Tomick, J. J. (1995). *Simplex Algorithm of Nelder and Mead with the Extension of O'Neil*. Pennsylvania.
- Torroja, I. E. (2010). *Catálogo materiales de la construccion*. CSIC.
- Transition Network. (2012). *Transition Towns*. Recollit de <http://www.transitionnetwork.org/>
- U.S. Department of Energy - NREL. (2012). *OpenStudio*. Recollit de <http://openstudio.nrel.gov/>
- U.S. Department of Energy. (2013). *Eficiencia energética 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). *EnrgyPlus*. Recollit de <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>
- U.S. Department of Energy. (2013). *U.S. Departament of Energy*. Recollit de <http://energy.gov/>
- UN. (1993). *Agenda 21: Earth Summit - The United nations Programme of Action*.
- 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 imapcto ambiental de Iso edificios en su ciclo de vida en términos cunatificables, 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). *Cátedra UNESCO de Ciclo de Vida y Cambio Climático*. Recollit de Sofias - Software de funciones integradas para una arquitectura sostenible: <http://unescochair.esci.es/es/proyectos-internacionales/sofias>

UNESCO. (2012). *Cátedra UNESCO de Ciclo de Vida y Cambio Climático*. Recollit de Sofias - Software de funciones integradas para una arquitectura sostenible: <http://unescochair.esci.es/es/proyectos-internacionales/sofias>

UNESCO. (2012). *Cátedra Unesco Del Ciclo De Vida y Cambio Climático*. Recollit de EnerBuilca\_Energía Eficiente en Edificación: <http://unescochair.esci.es/es/proyectos-internacionales/enerbuilca>

UNESCO. (2012). *Cátedra Unesco Del Ciclo De Vida y Cambio Climático*. Recollit de EnerBuilca\_Energía Eficiente en Edificación: <http://unescochair.esci.es/es/proyectos-internacionales/enerbuilca>

UNESCO. (2012). *Dimensions de sostenibilitat*.

UNESCO. (2012). *UNESCO*. Recollit de <http://www.unesco.org/new/es/unesco/>

United Nations . (2012). *United Nations Framework Convention on Climate Change*. Recollit de <http://unfccc.int>

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.

UPC, Inlab -. (2012). *NZEB. Opti-Sim in Sustainability*. Recollit de <http://inlab.fib.upc.edu/ca/nzeb-opti-sim-sustainability>

USA, D. d. (2012). *EnergyPlus 7.2*. Recollit de <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>

Vidal, J. y. (2010-2011). *Sistemas Eficientes de Climatización*. Barcelona.

Viviendas municipales de Bilbao. (2009). *Proyecto REhabitat*. Recollit de <https://www.bilbao.net/viviendas/>

- 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 inddustrializada: cerrando el ciclo de los materiales*. Informes de la construcción. Instituto Eduardo Torroja-CSIC.
- Wetter, M., & Polak, E. (2003). *A convergent optimization method using pattern search algorithms with adaptive precision simulation*. Eindhoven: IBPSA Conference.
- Williams, P. (2008). *Leadership for Sustainability*. Recollit de University of Wellington: [http://www.futuresteps.co.nz/PhD\\_University\\_Leadership\\_for\\_Sustainability.pdf](http://www.futuresteps.co.nz/PhD_University_Leadership_for_Sustainability.pdf)
- Winkelmann, F., Birdsall, B., Buhl, W., Ellington, K., Erdem, A., Hirsch, J., et al. (1993). *DOE-2 Supplement, Version 2.1E, LBL-34947*. Virginia: Springfield.
- World Bank. (2012). *The turn down Heat*. . Washington.
- World Watch Institute. (2012). *World Watch Institute*. Recollit de <http://www.worldwatch.org/>
- WWF. (2010). *Potencial de Ahorro Energético y de Reducción de CO2 del parque residencial existente en España 2020*. Madrid: WWF.
- WWF. (2012). *Retos y oportunidades de financiación para la rehabilitación energética de viviendas de España*. Madrid: Amaya Asiain.
- 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>

