



TESIS DOCTORAL

La evaluación del impacto ambiental de la envolvente del edificio como herramienta de apoyo en la fase de diseño, aplicada a viviendas.

Proyectos de Innovación tecnológica en la Ingeniería del Producto y del Proceso

Realizada por:
Patricia Huedo Dordá

Dirigida por:
Dra. Dña. Belinda López Mesa
Dra. Dña. Elena Mulet Escrig

Castellón, junio de 2014

“No sobreviven los más fuertes, solo aquellos que son capaces de adaptarse al cambio”

Charles Darwin

A mi padre

AGRADECIMIENTOS

Desearía expresar mi agradecimiento a todas las personas que me han ayudado a llegar hasta aquí.

En primer lugar, a mis directoras de Tesis Belinda Lopez Mesa y Elena Mulet Escrig por haber confiado en mí, también por su inestimable ayuda, por sus consejos, por su infinita paciencia y sobre todo porque sé que les he robado tiempo de los momentos más intensos de sus vidas.

A Emilio, mi marido, y a mis hijos Miquel y Jaime, por su apoyo incondicional y por haberme alentado hasta el último minuto.

A mis padres y hermanos, en especial a mi madre, por su fortaleza y a mi padre por haber sido siempre mi punto de referencia.

Agradezco la ayuda de todos y cada uno de mis compañeros del Área de Construcciones Arquitectónicas, sobre todo por haberme dado su apoyo en los momentos más duros.

También quiero expresar mi agradecimiento a todos mis amigos por sus palabras de ánimo y en especial a Jesús Fajarnés por haberme enseñado tantas y tantas cosas a lo largo de mi vida profesional.

Por último quiero agradecer a Arantza y a Ana, el haberme ayudado con los cálculos y a los alumnos que diariamente me demuestran que merece la pena seguir adelante.

RESUMEN

Esta tesis se plantea, como objetivo principal, definir un modelo de evaluación de los impactos ambientales vinculados a la envolvente de los edificios, para poder asignarles una valoración mediante indicadores de sostenibilidad reconocidos. Estos indicadores podrían incrementar la información que los catálogos aportan al diseñador en la selección de soluciones constructivas. Así mismo, con este modelo de evaluación, se pretende contribuir al desarrollo de una herramienta, de aplicación en España, que apoye al diseñador, para que éste pueda valorar el comportamiento medioambiental de las diferentes alternativas en la fase inicial del diseño.

El diseñador dispone mediante el análisis de ciclo de vida (ACV) de una metodología que le permite evaluar los impactos ambientales del edificio en las primeras etapas del diseño, pero su aplicación requiere mucho tiempo y una cualificación que normalmente resulta incompatible con sus condiciones de trabajo. Además, para poder valorar las diferentes opciones, el diseñador no solo precisa conocer todos los impactos considerados en función de las múltiples variables; sino que necesita poder comparar los diferentes valores entre sí. Y para ello, lo ideal es disponer de esta información antes de seleccionar una opción u otra, es decir, antes de realizar su proyecto.

La metodología planteada en esta tesis se basa en la aplicación de un ACV simplificado a un caso de estudio considerando diferentes combinaciones de la envolvente, diferentes orientaciones del edificio y distintas zonas climáticas para calcular los indicadores ambientales, previamente seleccionados, en todas las fases del ciclo de vida del edificio. Para proceder a la selección de los indicadores, ha resultado necesario establecer claramente los objetivos de sostenibilidad y determinar cuáles son los criterios de selección a utilizar.

La información obtenida al evaluar múltiples opciones de la envolvente es cuantificable y ha permitido disponer de suficientes datos estadísticos para la construcción de los indicadores ambientales basándose en un sistema de regresión múltiple. A partir del valor asignado a cada uno de los indicadores en las diferentes fases del ciclo de vida del edificio, el proyectista puede disponer de información medioambiental en tiempo real de cada solución constructiva en la fase inicial del diseño. Los impactos se han calculado en función de la proporción geométrica de los elementos que integran cada solución constructiva, lo que permite al diseñador adaptar los datos para la obtención de resultados según su proyecto.

El modelo definido ha permitido asignar valores a los indicadores desarrollados: emisiones de CO₂, consumo de energía, consumo de agua potable, residuos generados peligrosos y no peligrosos y costes de inversión, mantenimiento y uso. Estos resultados, una vez ponderados se han plasmado en una matriz de Excel. La herramienta permite modificar los parámetros implicados a fin de efectuar estudios de sostenibilidad y extraer conclusiones.

Palabras clave: sostenibilidad de la edificación; indicadores de sostenibilidad, soluciones constructivas de la envolvente.

ABSTRACT

The aim of this thesis is to define an evaluation model of environmental impacts of building envelopes, which allows to estimate scientifically recognized sustainability indicators for different assemblies. These indicators will increase the information that existing catalogues show to support designers in the selection of constructive assemblies. Additionally, this evaluation model is aimed to be useful for the development of a future tool which allows designers to evaluate the environmental behavior of different alternatives from the initial phases of design.

Life Cycle Analysis (LCA) represents a means to evaluate the environmental impacts of buildings in the early stages of design, but its use requires much time and a qualification that normally turns out to be incompatible with designers' work conditions. In addition, to be able to evaluate the different alternatives, designers not only need to investigate all the possible impacts depending on the multiple variables; but it is also necessary to compare the different results between them. This implies that this information should ideally be at disposal of designers before they embark upon the development of their projects.

The methodology developed in this thesis is based on a simplified LCA which is applied to a case of study considering different envelope assemblies, building orientations and climatic zones. Environmental indicators are calculated for the envelope assemblies, considering all the phases of the building life cycle. A previous selection of environmental indicators was made for which it was necessary to clearly establish the aims of sustainability and determine a set of selection criteria.

The evaluation of the different envelope assemblies produced enough numerical data for statistical treatment, and the environmental indicators model was built based on a system of multiple regressions. From the value assigned to each of the indicators in the different phases of the building life cycle, designers dispose of environmental real time information of every constructive assembly from the initial phases of design. Impacts are calculated depending on the geometry of the different elements that constitute each constructive assembly; what allows designers to obtain project-related results by simply providing geometric information for the different materials involved.

The defined model allowed to determine values for the developed indicators: CO₂ emissions; energy consumption; consumption of drinking water; hazardous and non-hazardous waste; and investment, maintenance and use costs. These results, once weighted, were plot in an Excel matrix. The tool allows the modification of parameters in order to conduct studies and draw conclusions.

Keywords: Buildings sustainability. Sustainability indicators. Building envelope assemblies.

ÍNDICE

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN.....	25
1.1 Antecedentes y justificación	25
1.2 Objetivos generales de la tesis	29
1.3 Preguntas de investigación.....	29
1.4 Hipótesis y metodología.....	30
Capítulo 2. ESTUDIO CRÍTICO DE MODELOS EXISTENTES.....	33
2.0 Introducción	33
2.1 Descripción de la investigación realizada	33
2.2 Resultados	34
2.2.1 Selección de herramientas	34
2.2.2 Fase 1 de análisis: clasificación de las herramientas	35
2.2.3 Fase 2 de análisis: estudio de las herramientas específicas para el ACV en edificación	36
2.2.4 Valoración del funcionamiento de las herramientas seleccionadas	41
2.2.5 Consideraciones acerca de las herramientas específicas para el ACV en edificación	42
2.3 Estudio crítico de los modelos seleccionados	44
2.3.1 Valoración del funcionamiento de las herramientas seleccionadas	44
2.3.2 Funcionalidades de mayor interés de las herramientas.....	45
2.3.3 Valoración de las herramientas como apoyo al proyectista.....	46
2.3.4 Limitaciones de las herramientas.....	46
2.4 Conclusiones	48
Capítulo 3. LOS INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD, SISTEMAS DE EVALUACIÓN AMBIENTAL.....	49
3.1 Conceptos generales.....	50
3.2 Estado del arte de los indicadores de sostenibilidad	52
3.2.1 Modelos de presentación o marcos de referencia de los sistemas de Indicadores Ambientales.....	52
3.3 Evolución y desarrollo de los sistemas de indicadores	58
3.3.1 Sistemas de Indicadores Ambientales de primera generación	58
3.3.2 Sistemas de Indicadores Ambientales de segunda generación	63
3.3.3 Sistemas de Indicadores Ambientales de tercera generación.....	63
3.4 Definición de los criterios para la selección de los indicadores de sostenibilidad.....	67
3.5 Los indicadores de sostenibilidad en el análisis de ciclo de vida (ACV).....	69
3.5.1 Normativa específica en materia de sostenibilidad referente a los aspectos técnicos del ACV.....	69
3.5.2 Introducción al ACV.....	70

3.5.3 Categorías de Impacto a considerar en un ACV	72
3.6 Análisis de los principales métodos de evaluación de impactos ambientales..	73
3.7 Descripción de los indicadores medioambientales en términos de carga o impacto.....	86
3.7.1 Potencial de Calentamiento Global (GWP) o cambio climático, kg eq.CO ₂	86
3.7.2 Potencial agotamiento capa de ozono, kg eq. CFC.....	88
3.7.3 Potencial de Acidificación kg eq. SO ₂	89
3.7.4 Potencial de Eutrofización kg eq. PO ₄	90
3.7.5 Ecotoxicidad o toxicidad terrestre	91
3.7.6 Consumo de recursos abióticos kg, m ³ o MJ	92
3.7.7 El consumo de energía primaria	93
3.7.8 El consumo de agua	94
3.7.9 Smog foto-químico. Formación de oxidantes foto- químicos	95
3.7.10 Efectos sobre la salud humana.....	95
3.7.11 Las consecuencias tóxicas de los metales pesados	97
3.8 Conclusiones	100
Capítulo 4. IDENTIFICACIÓN Y SELECCIÓN DE LOS INDICADORES ADECUADOS PARA EVALUAR LA SOSTENIBILIDAD DE LOS EDIFICIOS	101
4.1 Selección del marco metodológico	102
4.2 Análisis de la normativa específica en materia de sostenibilidad de los edificios	104
4.3 Establecimiento de objetivos y criterios para la selección de indicadores.....	106
4.4 Identificación y clasificación de los indicadores para evaluar la sostenibilidad de los edificios	107
4.4.1 Estudio de los indicadores de sostenibilidad de los edificios considerados por expertos.....	109
4.4.2 Estudio de los indicadores de sostenibilidad de los edificios considerados por la Normativa específica.	110
4.4.3 Estudio de los impactos considerados por las herramientas de evaluación ambiental de tercer nivel	113
4.5 Selección y justificación de los indicadores a utilizar para valorar la sostenibilidad de las soluciones constructivas de la envolvente	127
4.6 Conclusiones	128
Capítulo 5. DEFINICIÓN DE LA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE LA ENVOLVENTE BASADA EN EL ACV	131
5.1 Antecedentes de estudios del impacto de los edificios basados en ACV.....	132
5.2 Definición de los aspectos que caracterizan la metodología de ACV para edificios.....	145
5.2.1 Definición de los objetivos y alcance del ACV	145
5.2.2 Análisis de inventario o inventario de ciclo de vida (ICV).....	146

5.2.3 Evaluación del Impacto	147
5.2.4 Interpretación de resultados	148
5.3 Justificación de la aplicación de una metodología simplificada de ACV para edificios.....	149
5.3.1 Simplificaciones posibles a realizar en la aplicación de la metodología de ACV en edificios.....	149
5.4 Descripción de Metodología de ACV simplificado utilizada en esta tesis	151
5.4.1 Definición del objetivo general.....	152
5.4.2 Selección, justificación y descripción del funcionamiento de las herramientas de evaluación.....	152
5.4.3 Selección, justificación y descripción del caso de estudio.....	155
5.4.4 Aplicación de la metodología simplificada de ACV al caso de estudio.....	159
Capítulo 6. COMPARATIVA DE LOS IMPACTOS DE LA FASE DE FABRICACIÓN CON LOS IMPACTOS DE LA FASE DE MANTENIMIENTO Y USO.....	218
6.1 Obtención de impactos de la fase de fabricación y puesta en obra	218
6.2 Obtención de impactos de la fase de mantenimiento	222
6.3 Obtención de impactos de la fase de uso	225
6.4 Obtención de resultados relativos a los costes	229
6.4.1 Resultados de los costes en la fase de fabricación y puesta en obra...	230
6.4.2 Resultados de los costes en la fase de mantenimiento de las soluciones constructivas de la envolvente	230
6.4.3 Resultados de los costes en la fase uso de las soluciones constructivas de la envolvente	233
6.5 Interpretación de los Resultados	236
6.6 Análisis de la influencia de la envolvente en otras tipologías.....	250
6.7 Conclusiones acerca de las soluciones constructivas evaluadas	257
Capítulo 7 PROPUESTA DE UN MODELO DE EVALUACIÓN DEL IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DE LA ENVOLVENTE DEL EDIFICIO, A PARTIR DE INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD, EN LA FASE INICIAL DEL DISEÑO	261
7.1 Aproximaciones metodológicas a la construcción de indicadores.....	261
7.2 Desarrollo de la metodología para la construcción de indicadores de sostenibilidad para evaluar la envolvente de los edificios	263
7.2.1 Técnicas para la construcción de indicadores para evaluar la sostenibilidad de la envolvente de los edificios.....	263
7.2.2 Listado definitivo de los indicadores a desarrollar	264
7.2.3 Presentación y contenido de la información	264
7.2.4 Desarrollo de la metodología adoptada para la obtención de los indicadores seleccionados.....	265

7.2.5 Obtención de las fórmulas para el cálculo de los impactos de la fase de fabricación y puesta en obra	267
7.2.6 Obtención de las fórmulas para el cálculo de los impactos de la fase de mantenimiento	270
7.2.7 Obtención de las fórmulas para el cálculo de los impactos de la fase de uso.....	272
7.3 Comprobación de la validez del modelo	279
7.4 Construcción de los indicadores seleccionados	281
7.4.1 Emisiones de CO ₂ vinculadas a las soluciones constructivas de la envolvente de los edificios.....	282
7.4.2 Consumo de energía primaria vinculado a las soluciones constructivas de la envolvente de los edificios	295
7.4.3 Consumo de agua vinculado a las soluciones constructivas de la envolvente de los edificios.....	307
7.4.4 Generación de residuos peligrosos y no peligrosos vinculados a las soluciones constructivas de la envolvente de los edificios.....	313
7.4.5 Coste de inversión de las soluciones constructivas de la envolvente de los edificios.....	320
7.5 Cálculo y valoración de los indicadores de sostenibilidad. Desarrollo de una matriz de decisión	334
7.5.1 Matriz de decisión.....	334
7.5.2 Obtención de resultados.....	334
7.5.3 Normalización de los indicadores.....	339
7.5.4 Ponderación de los impactos.....	343
7.5.5 Adjudicación de los valores a cada impacto: Matriz de decisión	343
7.6 Comprobación de resultados en otras tipologías.....	345
7.7 Aplicación del modelo	352
Capítulo 8. CONCLUSIONES	353
8.1 Conclusiones acerca de las herramientas de asistencia al diseñador.....	353
8.2 Conclusiones acerca de la selección de indicadores para evaluar la sostenibilidad de los edificios	355
8.3 Conclusiones acerca del ACV para evaluar la sostenibilidad en edificación..	356
8.4 Conclusiones acerca de la definición de una metodología basada en el ACV para evaluar el comportamiento medioambiental de los edificios mediante el uso de indicadores de sostenibilidad	357
8.5 Conclusiones acerca de las fases a considerar en la evaluación ambiental de la envolvente	358
8.6 Conclusiones acerca del modelo desarrollado para evaluar la sostenibilidad de la envolvente basado en el uso de indicadores.....	359
8.7 Futuras líneas de investigación	363

BIBLIOGRAFÍA

367

ANEXO 1. FUNCIONAMIENTO DEL SOFTWARE TCQ2000, LIDER Y CALENER VYP.....	382
ANEXO 2 TABLAS DEL CÁLCULO DE LOS INDICADORES	391

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Primer Nivel, herramientas genéricas de ACV: Aist-LCA, eVerDEE, Gabi 4, JEMAI-L-LCA, Lcapix, SimaPro7, TeamTM , Umberto 5.5.....	37
Tabla 2.2 Tercer Nivel, herramientas de evaluación ambiental de materiales y soluciones constructivas: Athena Estimator, Beat 2002, BeCost, Bees, EcoBat, EcoCalculator, EcoEfect, EcoQuantum, EcoSoft WBF, EnerBuiLCA, Envest, EQUER, LCAid, LEGEP 1.2, LISA, TCQ2000 y OFEN.....	39
Tabla 2.3 Cuarto Nivel: herramientas de certificación de sostenibilidad global del edificio: Breeam, CASBEE, Enlace, GBTool, Green Globes Tmb, LEED, Verde.40	
Tabla 2.4 Estudio de las herramientas específicas para el ACV en edificación.	47
Tabla 3.1 Los 48 indicadores estructurados bajo el marco PER. Publicados en “OCDE Core Set of Environmental Indicators” en 1993.....	60
Tabla 3.2 de los 48 indicadores del Banco Público de Indicadores Ambientales (BPIA).....	66
Tabla 3.3 Categorías de impacto a considerar en un ACV según el SETAC (SETAC 1993) (elaboración propia).....	73
Tabla 3.4 Resumen de las categorías de impacto consideradas por los métodos de evaluación de impactos analizados (elaboración propia).....	85
Tabla 4.1 Indicadores recomendados por la Norma UNE EN 15643-1	111
Tabla 4.2 Indicadores recomendados por la Norma a Norma UNE-EN 15978	111
Tabla 4.3 Impactos ambientales considerados por las DAP	112
Tabla 4.4 Impactos ambientales considerados por las EPBD	113
Tabla 4.5 Impactos ambientales considerados por Athena Impact Estimator.....	114
Tabla 4.6 Impactos ambientales considerados por BEAT 2000	114
Tabla 4.7 Impactos ambientales considerados por BECOST	115
Tabla 4.8 Impactos ambientales considerados por BEES	116
Tabla 4.9 Impactos ambientales considerados por ECO-BAT	117
Tabla 4.10 Impactos ambientales considerados por ECOCALCULATOR.....	117
Tabla 4.11 Impactos ambientales considerados por ECOEFFECT	118
Tabla 4.12 Impactos ambientales considerados por ECO-QUANTUM	119
Tabla 4.13 Impactos ambientales considerados ECOSOFT	119
Tabla 4.14 Impactos ambientales considerados EnerBuiLCA.....	120
Tabla 4.15 Impactos ambientales considerados Envest2	121
Tabla 4.16 Impactos ambientales considerados EQUER.....	122

Tabla 4.17 Impactos ambientales considerados por LCAid.....	123
Tabla 4.18 Impactos ambientales considerados por LEGEP	123
Tabla 4.19 Impactos ambientales considerados por Lisa.....	124
Tabla 4.20 Impactos ambientales considerados por TCQ2000 y TCQGMA.....	125
Tabla 4.21 Análisis cuantificado de los impactos considerados por las herramientas de Tercer Nivel.....	126
Tabla 4.22 Listado de los indicadores pre-seleccionados	128
Tabla 4.23 Listado definitivo seleccionados para el estudio.....	130
Tabla 5.1 Resumen de los proyectos de investigación estudiados y de los impactos considerados por los mismos.	144
Tabla 5.2 Visados de dirección de obra. D. G. de Programación Económica y Presupuestos. M.º de Fomento. Subdirección General de Estadísticas.	155
Tabla 5.3 Datos de la vivienda caso de estudio.....	157
Tabla 5.4 Combinaciones constructivas analizadas de cubiertas, fachadas y carpinterías con su codificación.	180
Tabla 5.5 Variables explicativas	183
Tabla 5.6 Variables utilizadas para el cálculo.....	183
Tabla 5.7 Valores de comparación de las transmitancias límites y del factor solar modificado en cada una de las zonas climáticas consideradas	186
Tabla 5.8 Valores de $fR_{si,min}$ en cada una de las zonas climáticas consideradas	188
Tabla 5.9 Cálculo por del caudal de ventilación de la vivienda.....	189
Tabla 5.10 Cálculo del volumen de la vivienda.....	190
Tabla 5.11 Variables que afectan a los elementos utilizados como hipótesis de cálculo	195
Tabla 5.12 Información de de las características de los elementos constructivos recogida para el inventario.	198
Tabla 5.13 Resultados del programa TCQGMA relativos a los consumos energéticos y a las emisiones de CO ₂ por m ² del elemento constructivo en la fase de fabricación y puesta en obra.....	198
Tabla 5.14 Resultados del programa TCQGMA relativos a los residuos generados peligrosos y no peligrosos por m ² del elemento constructivo en la fase de fabricación y puesta en obra.....	199
Tabla 5.16 Cálculo de cargas térmicas de la vivienda en la zona B3.....	204
Tabla 5.17 Cálculo de cargas térmicas de la vivienda en la zona E1.....	204
Tabla 5.18 Obtención de resultados medioambientales de la cubierta C1 fase de fabricación.....	207

Tabla 5.19 Obtención del factor de superficie.	208
Tabla 5.20 Materiales integrantes de la Cubierta C1 y su factor de reacondicionamiento.	208
Tabla 5.21 Resultados obtenidos con el programa CALENER para diferentes combinaciones de la envolvente en la zona climática B3	210
Tabla 5.22 Coste de fabricación y puesta en obra de 1m ² de cubierta planta caliente continua convencional C1	213
Tabla 5.23 Listado de los impactos ambientales escogidos para la evaluación, unidades de cada indicador y fases del ciclo de vida consideradas	217
Tabla 6.1. Impactos debidos a los elementos constructivos en fase de fabricación y puesta en obra.....	218
Tabla 6.2 Impactos ambientales de la fase de fabricación	223
Tabla 6.3 Impactos ambientales de la fase de mantenimiento	224
Tabla 6.4 Obtención de los impactos en la fase uso.....	226
Tabla 6.5 Costes de la energía consumida y costes de inversión de los elementos constructivos	230
Tabla 6.6 Costes de inversión y costes de los consumos energéticos en la fase de mantenimiento.....	233
Tabla 6.7 Costes de los consumos energéticos en la fase de uso	234
Tabla 6.8 Costes de inversión y costes del consumo en las fases de fabricación, mantenimiento y uso.	236
Tabla 6.9 Consumo de agua de las diferentes soluciones constructivas	238
Tabla 6.10 Residuos generados por las diferentes soluciones constructivas	239
Tabla 6.11 Consumos del parque de viviendas en España por zonas climáticas .	242
Tabla 6.12 Porcentajes de los costes globales.....	249
Tabla 6.13 Comparativa de los costes de diferentes combinaciones en las diferentes fases del ciclo de vida.....	250
Tabla 6.14 Valores de cálculo de cada una de las tipologías.	254
Tabla 6.15 Impactos ambientales en la fase de fabricación y mantenimiento.	255
Tabla 6.16 Impactos ambientales en la fase de uso.....	255
Tabla 7.1 Impactos derivados de los elementos constructivos fase de fabricación y puesta en obra.....	267
Tabla 7.2 Obtención de los factores de los impactos de las fase de fabricación y puesta en obra.....	268
Tabla 7.3 Impactos derivados de los elementos constructivos fase de mantenimiento.....	270

Tabla 7.4 Obtención de los factores de los impactos de las fase de mantenimiento	271
Tabla 7.5 Matriz Excel de regresión lineal múltiple para la obtención de la fórmula de cada uno de los indicadores en la fase uso del edificio	274
Tabla 7.6 Valores de r2 en las regresiones realizadas	275
Tabla 7.7 Valor de la distribución de la F para cada uno de los modelos de regresión	276
Tabla 7.8 Obtención del factor corrector según el tipo de vivienda y según el tipo de impacto	278
Tabla 7.9 Normalización del indicador emisiones equivalentes de CO ₂ en cada fase del ciclo de vida	341
Tabla A.2.1 Cálculo del indicador Emisiones eq. de CO ₂ en la fase de fabricación de diferentes combinaciones de la envolvente y comprobación de los errores relativos y absolutos cometidos.	391
Tabla A.2.2 Cálculo del indicador Emisiones eq. de CO ₂ en la fase de mantenimiento de diferentes combinaciones de la envolvente y comprobación de los errores relativos y absolutos cometidos.	392
Tabla A.2.3 Cálculo del indicador Emisiones eq. de CO ₂ producidas por las instalaciones de refrigeración en la fase uso y comprobación de los errores relativos y absolutos cometidos.	393
Tabla A.2.4 Cálculo del indicador Emisiones eq. de CO ₂ producidas por las instalaciones de refrigeración en la fase uso y comprobación de los errores relativos y absolutos cometidos.	394
Tabla A.2.5 Cálculo del indicador Consumo de energía primaria en la fase de fabricación de diferentes combinaciones de la envolvente y comprobación de los errores	395
Tabla A.2.6 Cálculo del indicador Consumo de energía primaria en la fase de mantenimiento de diferentes combinaciones de la envolvente y comprobación de los errores relativos y absolutos cometidos.	396
Tabla A.2.7 Cálculo del indicador Consumo de energía primaria debido a las instalaciones de calefacción en la fase uso y comprobación de los errores relativos y absolutos cometidos.	397
Tabla A.2.8 Cálculo del indicador Consumo de energía primaria debido a las instalaciones de refrigeración en la fase uso y comprobación de los errores relativos y absolutos cometidos.	398
Tabla A.2.9 Cálculo del indicador Consumo de agua en la fase de fabricación de diferentes combinaciones de la envolvente y comprobación de los errores relativos y absolutos cometidos.	399
Tabla A.2.10 Cálculo del indicador Residuos peligrosos en la fase de fabricación de diferentes combinaciones de la envolvente y comprobación de los errores relativos y absolutos cometidos.	400

Tabla A.2.11 Cálculo del indicador Residuos no peligrosos en la fase de fabricación de diferentes combinaciones de la envolvente y comprobación de los errores relativos y absolutos cometidos.	401
Tabla A.2.12 Cálculo del indicador Coste de inversión en la fase de fabricación de diferentes combinaciones de la envolvente y comprobación de los errores relativos y absolutos cometidos.	402
Tabla A.2.13 Cálculo del indicador Coste de inversión en la fase de mantenimiento de diferentes combinaciones de la envolvente y comprobación de los errores relativos y absolutos cometidos.	403
Tabla A.2.14 Cálculo del indicador Coste del consumo de energía primaria en la fase de fabricación de diferentes combinaciones de la envolvente y comprobación de los errores relativos y absolutos cometidos.	404
Tabla A.2.15 Cálculo del indicador Coste del consumo de energía primaria en la fase de mantenimiento de diferentes combinaciones de la envolvente y comprobación de los errores relativos y absolutos cometidos.	405
Tabla A.2.16 Cálculo del indicador Coste del consumo de energía primaria en la fase de uso debido a las instalaciones de calefacción y comprobación de los errores relativos y absolutos cometidos.	406
Tabla A.2.17 Cálculo del indicador Coste del consumo de energía primaria en la fase de uso debido a las instalaciones de calefacción y comprobación de los errores relativos y absolutos cometidos.	407

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Pasos seguidos en la investigación.	34
Figura 3.1 Esquema del modelo PER a partir de esquema desarrollado por la OCDE (elaboración propia).	55
Figura 3.2 Esquema de las relaciones entre intervenciones ambientales, impactos de efectos intermedios “midpoints”, impactos de efectos finales “endpoints” y áreas de protección (Udo de Haes et al., 1999).	75
Figura 3.3 Categorías de impactos mayoritariamente consideradas por los métodos de evaluación.	86
Figura 5.1 Aplicación de ACV a un caso de estudio	151
Figura 5.2 Porcentajes de tipologías de edificios entre 2003 y 2010	156
Figura 5.3 Plano de emplazamiento.	156
Figura 5.4 Sección de la vivienda utilizada como caso de estudio.	157
Figura 5.5 Cubierta de la vivienda utilizada como caso de estudio.	158
Figura 5.6 Plantas de la vivienda utilizada como caso de estudio.	158
Figura 5.7 Sección constructiva de la cubierta plana, caliente.	161
Figura 5.8 Sección constructiva de la cubierta plana ventilada, transitable.	162
Figura 5.9 Sección constructiva de la cubierta plana, invertida, no transitable. ..	163
Figura 5.10 Sección tipo de fachada cara vista, cámara de aire no ventilada, aislamiento por el interior.	165
Figura 5.11 Fachadas de ladrillo caravista.	165
Figura 5.12 Sección constructiva de una fachada de ladrillo caravista y cubierta ventilada.	166
Figura 5.13 Fachadas de fábrica para revestir, con cámara de aire, enfoscada.	168
Figura 5.14 Sección tipo de fachada de fábrica para revestir, cámara de aire no ventilada.	169
Figura 5.15 Sección constructiva, fachadas de ladrillo hueco acabado enfoscado y cubierta caliente continua transitable.	170
Figura 5.16 Fachadas ventiladas.	172
Figura 5.17 Sección tipo fachada ventilada.	172
Figura 5.18 Sección constructiva, fachada ventilada y cubierta invertida no transitable.	173
Figura 5.19 Fachada ligera.	175
Figura 5.20 Sección tipo fachada ligera.	175
Figura 5.21 Sección constructiva, fachada ligera y cubierta invertida.	176

Figura 5.22 Carpintería metálica o de PVC	177
Figura 5.23 Carpintería de madera.....	179
Figura 5.24 Orientaciones de las fachadas (Fuente CTE DB-HE1).....	186
Figura 5.25 Cálculo del comportamiento de la fachada ventilada en el programa LIDER.....	192
.Figura 5.26 Esquema del análisis de inventario.....	194
Figura 5.27 Modelización de la vivienda en el programa LIDER	203
Figura 5.28 Materiales constitutivos que la integran la cubierta C1	206
Figura 5.29 Obtención del consumo de agua.....	207
Figura 5.30 Evolución de la Tarifa de electricidad sin discriminación horaria (Fuente IDAE, 2013).....	215
Figura 6.1 Comparativa del impacto generado por el consumo de agua de las diferentes soluciones constructivas	237
Figura 6.2 Comparativa del impacto debido a los residuos generados por las diferentes soluciones constructivas	239
Figura 6.3 Comparativa del porcentaje de las emisiones de CO2 y de los consumos energéticos en las diferentes fases del ciclo de vida.	241
Figura 6.4 Comparativa de las Emisiones de CO2 generadas por las diferentes soluciones constructivas en la zona B3 orientación NE, periodo 1 año.....	243
Figura 6.5 Comparativa de las Emisiones de CO2 generados por las diferentes soluciones constructivas en la zona B3 orientación NE periodo 50 años	243
Figura 6.6 Comparativa de los consumos energéticos en kWh/m2 vinculados a las diferentes soluciones constructivas en la zona B3 orientación NE. Periodo 1 año.....	244
Figura 6.7 Comparativa de los consumos energéticos en kWh/m2 vinculados a las diferentes soluciones constructivas en la zona B3 orientación NE. Periodo 50 años.....	245
Figura 6.8 Comparativa de las emisiones de CO2 vinculadas a las diferentes soluciones constructivas en la zona E1. Orientación NE. Periodo 1 año.....	246
Figura 6.9 Comparativa de las emisiones de CO2 vinculadas a las diferentes soluciones constructivas en la zona E1. Orientación NE. Periodo 50 años	246
Figura 6.10 Comparativa de los consumos energéticos vinculados a las diferentes soluciones constructivas de la envolvente en la zona E1. Orientación NE. Periodo 1 año.....	248
Figura 6.11 Comparativa de los consumos energéticos vinculados a las diferentes soluciones constructivas de la envolvente en la zona E1. Orientación NE. Periodo 50 años	248
Figura 6.12 Comparativa de los costes de dos combinaciones en las diferentes fases del ciclo de vida	249
Figura 6.13. Bloque de viviendas. Sección AA	251

Figura 6.14. Bloque de viviendas. Planta de cubiertas.....	252
Figura 6.15. Bloque de viviendas. Planta tipo	252
Figura 6.16. Vivienda unifamiliar. Sección AA	253
Figura 6.17. Vivienda unifamiliar. Planta de cubiertas.....	253
Figura 6.18. Vivienda unifamiliar. Planta tipo.....	254
Figura 6.19 Emisiones equivalentes de CO ₂ /m ² comparando exclusivamente combinaciones con aislamiento entre 5 y 10 cm de espesor en la zona E1. Orientación SE.	258
Figura 6.20 Emisiones eq. de CO ₂ /m ² comparando combinaciones de fachada y cubierta con diferentes tipos de carpintería.....	259
Figura 7.1 Comparación de los impactos reales respecto de los valores de referencia.....	277
Figura 7.2 Matriz de cálculo	337
Figura 7.3 Matriz de cálculo: Resultado de los valores estimados de cada impacto en las diferentes fases del ciclo de vida	338
Tabla 7.9 Normalización del indicador emisiones equivalentes de CO ₂ en cada fase del ciclo de vida	341
Figura 7.4 Matriz de normalización: Valores normalizados de cada impacto en las diferentes fases del ciclo de vida.....	342
Figura 7.5 Matriz de decisión. Valores ponderados de los impactos	343
Figura 7.6 Comparación mediante gráficos del comportamiento ambiental de dos soluciones constructivas, orientación NE zona B3	344
Figura 7.7 Matriz de cálculo: Valores estimados de cada impacto en las diferentes fases del ciclo de vida.	347
Figura 7.8 Matriz de normalización: Los indicadores adquieren valores adimensionales, en las diferentes fases del ciclo de vida.....	348
Figura 7.9 Matriz de decisión. Valor global ponderado de de los indicadores. .	349
Figura 7.10 Comparación del comportamiento ambiental de la combinación C2F1H1 y de la combinación C3F3H2 en la zona climática B3 orientación NE de la vivienda adosada	350
Figura 7.11 Comparación del comportamiento ambiental de la combinación C2F1H1 y de la combinación C3F3H2 en la zona climática B3 orientación NE del bloque de viviendas.....	350
Figura 7.12 Comparación del comportamiento ambiental de la combinación C2F1H1 y de la combinación C3F3H2 en la zona climática B3 orientación NE de la vivienda aislada.....	351

Figura 7.13 Comparación del valor ponderado de los indicadores de dos soluciones constructivas de la envolvente en diferentes tipologías de uso residencial	351
Figura A.1.1 Apertura de un nuevo archivo y selección del banco de datos	382
Figura A.1.2 Selección de la base de datos.....	383
Figura A.1.3 Selección de productos y de materiales constitutivos.....	383
Figura A.1.4 Selección y adaptación del elemento constructivo a la base de datos con información medioambiental.....	384
Figura A.1.5 Obtención de resultados medioambientales.....	385
Figuras A.1.6 Selección de la opción presupuestos y hoja de resultados	385
Figura A.1.7 Introducción de datos del edificio en el programa LIDER.	386
Figura A.1.8 Definición geométrica del edificio.	386
Figura A.1.9 Definición de los huecos.....	387
Figura A.1.10 de cada solución constructiva a los elementos del programa.....	387
Figura A.1.11 Resultados del programa LIDER, cumplimiento de las exigencias frente a la demanda de climatización.....	387
Figura A.1.12 Asignación de los equipos de climatización	388
Figura A.1.13 Resultados obtenidos con el programa CALENER.....	389

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes y justificación

La construcción, en el sentido más amplio, es uno de los sectores más importantes dentro de la producción industrial para la economía de cualquier país, pero también una de las causas de mayor impacto en el entorno.

La construcción es responsable de la utilización indiscriminada de recursos no renovables y de una importante fuente de residuos y contaminación para el aire, el suelo y el agua. Según datos de la UNEP (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente) y OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos) (Oteiza y Alonso, 2008), el entorno edificado, representa un consumo de energía del 25 al 40%, una carga de residuos sólidos del 30 al 40% y una carga de emisión de gases de efecto invernadero del 30 al 40% del total generados a nivel mundial. Es imprescindible que la construcción sea sostenible y para ello ha de estar basada no sólo en la correcta gestión de residuos y conservación de la energía, ya reconocidos en la normativa española¹, sino también en el uso sostenible de los recursos naturales, siguiendo la estrategia contemplada desde la Unión Europea, (COM, 2005), que engloba entre otras cosas la utilización de materiales y soluciones constructivas respetuosas con el medio ambiente. Sería necesario incorporar mecanismos de cuantificación, de evaluación y de prevención de los impactos producidos por el empleo de diferentes soluciones constructivas teniendo en cuenta todo el ciclo de vida. Así, González (2004) recuerda las palabras de Philip Steadman en 1975: “Si se concibe el edificio como un sistema completo que utiliza energía y materiales a lo largo de su ciclo vital, el análisis debería empezar con la extracción de materias primas empleadas en la construcción, incluir su transporte y colocación, y luego, al final de la vida del edificio, cuando se derribe, debería tenerse en cuenta cómo se dispersan los materiales y se vuelven a utilizar”. Así, evaluar la dimensión medioambiental de un producto de construcción es intentar calificar y cuantificar el peso de los impactos que se le asocian al conjunto de su ciclo de vida, desde la extracción de las materias primas hasta el final de su vida (Moch, 1996).

Es importante destacar la importancia del estudio de los impactos ambientales producidos por el empleo de determinados materiales de construcción, pero también es importante destacar el impacto que representa la combinación entre sí de estos materiales al ser utilizados en un determinado sistema constructivo (Casado, 1996). A su vez es necesario poder relacionar estos impactos con los que se producen a lo

¹ Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.

Real Decreto 47/2007, de 19 de enero, por el que se aprueba el Procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios de nueva construcción.

Real Decreto 105/2008, de 1 de febrero, por el que se regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición.

Real Decreto 235/2013 por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios.

largo de la vida útil del edificio, tanto por los propios materiales utilizados como por los consumos energéticos vinculados a las soluciones constructivas adoptadas en la envolvente. De hecho, es este último apartado uno de los más complejos de abordar, porque para saber si una solución constructiva es mejor que otra, no sólo se debería considerar sus impactos debidos a la fabricación de los productos, su puesta en obra y su retirada final, sino también su contribución a la eficiencia energética del edificio, y esto último depende del edificio en cuestión, de su tipología, de la zona climática en que se sitúa, de su orientación, etc. (Ruá et al., 2012).

Se puede decir, por lo tanto, que son muchos los factores que influyen y muchos los responsables de este impacto: proyectistas, fabricantes de materiales, directores de ejecución, usuarios, etc. y sería necesario que cada uno de los responsables se implicase para llegar a reducir el impacto generado por la edificación, ya que cualquier acción que pueda reducir el impacto energético de un proyecto de edificación supondrá un aumento en la calidad del mismo.

Uno de los aspectos clave en todo proceso constructivo es el diseño del edificio, ya que durante esta fase se deben tomar múltiples decisiones que afectan al resultado final. En las primeras etapas del proceso constructivo los proyectistas pueden tomar decisiones para mejorar los resultados medioambientales (Castro-Lacouture y Sefair, 2009). El diseño es una fase singularmente crucial para la incorporación de medidas que fomenten la sostenibilidad, ya que determina y condiciona las actividades que se desarrollarán posteriormente (Ferrer, 2007). El diseñador como vertebrador del eje para el posterior desarrollo o fabricación del edificio debe ser capaz de controlar adecuadamente la elección de los materiales y de las soluciones constructivas empleadas en su proyecto (López-Mesa et al., 2007). Para ello ha de considerar una serie de variables que le obligan a tomar decisiones en la fase de diseño que afectarán a la viabilidad del producto y al resultado final. Aunque el diseñador sea un experto, sería de gran ayuda disponer de las herramientas adecuadas que le sirvan de apoyo en la fase de proyecto para poder tomar decisiones relativas al comportamiento medioambiental de los materiales de construcción y de las soluciones constructivas, cuantificar los impactos ambientales asociados al ciclo de vida de las soluciones adoptadas, y que a la vez garanticen que el resultado obtenido responderá a los criterios de sostenibilidad requeridos. Las decisiones proyectuales tienen gran impacto sobre el contexto energético-ambiental, por lo que, estas decisiones deben tener a su disposición no sólo alternativas tecnológicas válidas, sino información adecuada y objetiva sobre las mismas e instrumentos que permitan evaluarlas de forma integral (Alías y Jacobo, 2007).

Sería de gran ayuda poder identificar y evaluar los impactos ambientales antes de que se produzcan, por ejemplo, disponiendo de bases de datos de materiales y de soluciones constructivas catalogadas y valoradas según criterios de sostenibilidad reconocidos. Estas bases de datos deberían permanecer abiertas para poder ser actualizadas y ampliadas permanentemente. Para comenzar, en España, se desarrollaron bases de datos de materiales de construcción sostenibles (ICARO, 2003). Estos valores se obtienen calculando la media de los puntos obtenidos por el material respecto a unos criterios identificados. Ahora bien, la forma en que se obtiene la puntuación medioambiental en estas bases de datos no está basada en ningún método científico ampliamente aceptado, y los materiales son estudiados

como elementos individuales, y no como elementos que trabajan conjuntamente para realizar una cierta función en una solución constructiva, lo que podría conducir a una decisión errónea al utilizar un material que por sí solo tiene un buen comportamiento ambiental, pero que requiere la utilización de otros materiales más perjudiciales para formar parte de una solución constructiva (López-Mesa et al., 2007). Además el impacto medioambiental de una solución constructiva no sólo depende de los materiales de que se compone, sino también del proceso de construcción, de los requerimientos de mantenimiento, de la longevidad de la solución y de sus componentes, de la distancia de los suministradores a la obra, etc. Es decir, que la evaluación medioambiental de soluciones constructivas requiere de una metodología con rigor científico. Esto significa que la selección de soluciones constructivas requiere el rigor del Análisis de Ciclo de Vida (ACV), como ha sido señalado en la literatura (Cole et al., 2005; López-Mesa et al., 2007). Entre las metodologías aceptadas por la comunidad científica para evaluar el impacto medioambiental, el ACV resulta ser la más idónea por tratarse de un procedimiento analítico centrado en la evaluación del ciclo de vida completo de un proceso o producto, que trata los aspectos ambientales e impactos ambientales potenciales (por ejemplo, el uso de recursos y las consecuencias ambientales de las emisiones) a lo largo de todo el ciclo de vida desde la adquisición de la materia prima, pasando por la producción, uso, tratamiento final, reciclado, hasta su disposición final (Cebrián-Tarrasón et al., 2009). Además el ACV está regulado por las Normas UNE EN ISO 14040 y 14004 y es un sistema complejo que permite realizar estudios rigurosos y catalogar los resultados de forma objetiva, siempre que su aplicación sea llevada a cabo por personal cualificado. El análisis del ciclo de vida de la construcción puede ayudar en la identificación de sistemas de corrección y el establecimiento de estrategias tendentes a disminuir el impacto ambiental de la construcción, contribuir a mejorar el medio ambiente y, en definitiva, evolucionar hacia un hábitat sostenible y una mejor calidad de vida. Una de estas estrategias para reducir la contaminación es, por supuesto, la reducción o eliminación de las emisiones en su origen, diseñando procesos que disminuyan la energía incorporada en los materiales (Acosta y Cilento, 2005).

Ya desde la etapa de proyecto se debe, y se puede, prever la magnitud de la producción de desechos contaminantes, se deben identificar y cuantificar las emisiones y los productos de todo tipo que se generan, evaluar la trascendencia de su impacto, y determinar qué medidas se deben y pueden tomar para mitigarlo en todo el ciclo de vida de los materiales y de los sistemas o edificación en estudio (Yeang, 1999).

Pero por otra parte será necesario mejorar la eficiencia energética de los edificios, es decir contemplar la reducción en el consumo de energía y emisiones de CO₂ de los edificios a través de la mejora en los sistemas constructivos que componen la envolvente. Esta envolvente no sólo tiene un importante peso en los flujos de materia y energía incorporados en los materiales, sino que también tiene la capacidad de garantizar la calidad ambiental interior, ya que es a través de ella donde se produce el intercambio entre el ambiente interior y el exterior, y donde la iluminación, ventilación o flujo de calor funcionan como parámetros fundamentales de diseño (Oteiza et al., 2010).

Por lo tanto, parece lógico considerar la necesidad de contar con programas informáticos o bases de datos informatizadas que faciliten la aplicación del ACV a materiales de construcción y a soluciones constructivas concretas, como en Mercader

(2010), de manera que los proyectistas puedan tomar decisiones acertadas en lo referente al impacto ambiental de las soluciones constructivas desde la fase de diseño, disponiendo de datos relativos al comportamiento energético del edificio en fase uso. A nivel internacional se ha desarrollado una gran variedad de herramientas para evaluar los componentes del edificio y los edificios completos que cubren todas las fases del ciclo de vida de los edificios y tienen en cuenta aspectos diferentes, además de ser aplicables a diferentes ámbitos, global, nacional o local (Haapio y Viitaniemi, 2008; Huedo y López-Mesa, 2011).

Ahora bien, uno de los fallos generalizados del diseño de las edificaciones, es la adopción de soluciones comerciales internacionales de otras latitudes para la envolvente externa, menospreciando consideraciones fundamentales acerca del comportamiento ambiental de los cerramientos (Acosta y Cilento, 2005). La construcción, para ser sostenible, debe intentar obtener una alta eficiencia energética a través de un cuidadoso diseño de la envolvente del edificio que le permita limitar el uso de sistemas de climatización durante su vida útil.

Los impactos ambientales debidos a los consumos energéticos del edificio, achacables a la solución constructiva de la envolvente son una de las principales causas de impacto de los sistemas constructivos de la envolvente (Rua et al., 2010). Esto es lógico, dado que los impactos medioambientales en edificios son fundamentalmente debidos a la fase de uso de energía durante la ocupación del mismo (Cole et al., 2005).

Para poder evaluar los impactos ambientales de las soluciones constructivas de la envolvente térmica del edificio en la fase inicial de diseño, y saber si una solución de fachada, o de cubierta, es mejor que otra, no sólo se debería considerar los impactos debidos a la fabricación de los productos, su puesta en obra y su retirada final, sino también su contribución a la eficiencia energética del edificio durante toda la vida útil de este; de hecho, este apartado es uno de los más complejos de abordar, y al mismo tiempo más importante para las soluciones constructivas de la envolvente térmica del edificio.

El diseño de un edificio debe considerar su contexto, ya que el intercambio térmico con el ambiente exterior depende de las condiciones climáticas externas, tales como temperatura, humedad del aire, presión atmosférica, radiación solar, precipitaciones y vientos (Pulselli et al., 2009). Esto último dependerá del edificio en cuestión que estemos estudiando, de su tipología, de la zona climática en que se sitúa, de su orientación, etc., por esto, los cerramientos exteriores deben ser compatibilizados con las condiciones geoambientales locales, a fin de reducir el consumo de energía y garantizar confort a los usuarios (Alonso et al., 2011).

Existen numerosas herramientas de simulación energética que aportan datos relativos a los consumos y a las emisiones de gases efecto invernadero, así por ejemplo en España la certificación energética de un proyecto pasa por la simulación del edificio y sus instalaciones con las herramientas LIDER y CALENER (Zabalza et al., 2009; Estress Consultores, 2010; Rúa et al., 2010; Alonso et al., 2011). Las herramientas de simulación de energía se podrían utilizar para evaluar diferentes alternativas durante la fase de concepción del proyecto tanto a nivel de consumos energéticos, como a nivel de emisiones e incluso a nivel de cálculo de costes medioambientales, considerando la posibilidad de que pueda haber un intercambio de datos entre diferentes herramientas de manera que el usuario no tenga que repetir la entrada de datos del edificio varias veces para un mismo proyecto.

Como resultado de la incorporación de la Directiva 2002/91/CE en la legislación española, con el propósito de mejorar la eficiencia energética de los edificios, la certificación energética de los edificios se tiene que realizar en fase de proyecto y una vez el edificio se ha terminado. Así pues, sería de gran interés contar con una herramienta que no sólo evaluase los impactos ambientales de los componentes del edificio, sino que además calculase los impactos ambientales relacionados con el consumo de energía durante la fase de uso del edificio, para obtener una evaluación más global del mismo, que aportase datos utilizables en las fases iniciales del diseño

1.2 Objetivos generales de la tesis

Como objetivo principal, esta tesis se plantea definir un modelo de evaluación de los impactos ambientales producidos por diferentes soluciones constructivas de la envolvente de los edificios, para poder asignarles una valoración mediante indicadores de sostenibilidad reconocidos. Algunos de estos indicadores han sido ampliamente desarrollados a nivel internacional, al tiempo que otros serán más novedosos como el de la eficiencia energética; de manera que todos estos indicadores deberán nutrirse de información relativa a todas las fases de la edificación, desde la fabricación de las materias primas, transporte, ejecución, uso y mantenimiento; todas ellas consideradas en las herramientas actuales.

Con este modelo de evaluación, se pretende contribuir al desarrollo de una herramienta, de aplicación en España, de apoyo al diseñador para que éste pueda seleccionar en la fase inicial del diseño las soluciones constructivas que contribuyan a mejorar el comportamiento medioambiental de los edificios, conociendo de una parte la valoración y repercusión de los impactos ambientales basados en el ACV y de otra parte, los impactos que se producirán durante la fase uso debidos a los consumos energéticos vinculados a las soluciones constructivas seleccionadas.

Finalmente se pretende evaluar la operatividad del modelo de evaluación desarrollado mediante la aplicación del mismo a un caso real.

El modelo de evaluación se convertiría en sí mismo en herramienta válida de apoyo en fase de diseño.

1.3 Preguntas de investigación

- ¿Existen herramientas basadas en la metodología del ACV, aplicables al sector de la edificación, que sirvan de apoyo a los diseñadores en la selección de soluciones constructivas que permitan reducir el impacto medioambiental de los edificios?
- ¿Qué funcionalidades debe tener una herramienta de asistencia en la selección de soluciones constructivas en España para una edificación sostenible?
- ¿Cuáles deben ser los indicadores adecuados para evaluar la sostenibilidad de los edificios?
- ¿Es aplicable el ACV como metodología de evaluación medioambiental en edificios?

- ¿Se puede establecer una metodología basada en el ACV, para evaluar el comportamiento medioambiental de los edificios apoyándose en el uso de indicadores de sostenibilidad?
- ¿Qué fases del ciclo de vida deben tenerse en cuenta para la obtención de los impactos derivados de la envolvente de los edificios?
- ¿Se puede desarrollar un modelo basado en el uso de indicadores para evaluar la sostenibilidad de las soluciones constructivas de la envolvente de los edificios?
- ¿Es de utilidad este modelo para contribuir al desarrollo de una herramienta de apoyo al diseñador en la selección de soluciones constructivas en la fase inicial del diseño que garanticen un buen comportamiento medioambiental?

1.4 Hipótesis y metodología

HIPÓTESIS

Partimos de la hipótesis de que, es posible aplicar una metodología simplificada de ACV a diferentes opciones de diseño de la envolvente de un edificio con resultados sobre los impactos ambientales en todas las fases del ciclo de vida. La información obtenida es cuantificable y puede permitir la construcción de indicadores ambientales basándose en un sistema de regresión lineal para poder desarrollar un modelo de evaluación medioambiental de diferentes soluciones constructivas de la envolvente en la fase inicial del diseño.

METODOLOGÍA

Blessing y Chakrabarti (2009) desarrollaron la Metodología de Investigación en Diseño (*Design Research Methodology, DRM*), cuya versión preliminar se dio a conocer a principios de los 90 (Blessing et al., 1992). DRM es una metodología genérica que proporciona un marco de trabajo sistemático en el campo de la investigación en el diseño. La metodología DRM consta de cuatro fases:

Clarificación de la Investigación: para entender la contribución de un proyecto de investigación, dentro del campo del diseño, en este caso el diseño de edificios, se deben considerar los criterios que conducen al éxito en investigación sobre diseño. Blessing y Chakrabarti recomendaron clarificar criterios medibles que pudieran estar basados en la literatura existente.

Estudio Descriptivo I: el objetivo de esta fase es comprender el proceso de diseño o el fenómeno que se investiga y explorar los factores que posiblemente afecten los criterios de éxito. En esta fase, leer la literatura que trate el tema en cuestión es necesario.

Estudio Prescriptivo: en esta fase se proponen mejoras a los procesos actuales de diseño, el resultado del estudio prescriptivo se desarrolla en forma de directrices, métodos o herramientas, que conducen a un nuevo *status quo* de diseño deseado.

Estudio Descriptivo II: el objetivo de esta fase es realizar un estudio descriptivo de la aplicación de las directrices, métodos o herramientas. Los resultados de este estudio

descriptivo se comparan con los criterios medibles, y se realizan sugerencias para la mejora de las directrices, métodos o herramientas.

Blessing y Chakrabarti (2002) añadieron que no se podía esperar que cada proyecto de investigación siguiese los cuatro pasos con el mismo nivel de intensidad. Esto depende en gran medida del estado de la cuestión.

Esta tesis se ha desarrollado adaptándose al marco de trabajo sistemático de la metodología DRM propuesta por Blessing y Chakrabarti.

A continuación se detalla el desarrollo que se ha seguido para conseguir los objetivos propuestos, adaptado a cada una de las fases explicadas anteriormente:

En el capítulo 2, se ha completado la fase de **Clarificación** que se había iniciado con el trabajo investigación titulado ‘Directrices para el desarrollo de una herramienta de asistencia en la selección de soluciones constructivas para una edificación sostenible’ (Huedo, 2009), que ha servido como punto de partida para el desarrollo posterior de esta Tesis. Para ello, se ha llevado a cabo una revisión de la bibliografía sobre herramientas de ayuda al diseñador con el rigor del ACV, que se ha completado para este trabajo de tesis ampliando y matizando los criterios de clasificación y selección.

Posteriormente se ha realizado un estudio crítico de los modelos analizados, basado en los siguientes aspectos:

- Análisis del funcionamiento de las herramientas preseleccionadas.
- Medición de resultados.
- Las conclusiones de esta parte han permitido redefinir con mayor precisión cuáles deben ser las directrices de una herramienta de apoyo al diseñador.

En el capítulo 3, se ha iniciado **el Estudio Descriptivo** realizando un estudio de los sistemas de indicadores de sostenibilidad para la evaluación de la sostenibilidad en la edificación. En este capítulo se han desarrollado los siguientes apartados:

- Definición de los conceptos fundamentales relacionados con los indicadores de sostenibilidad.
- Estudio del estado del arte de los indicadores de sostenibilidad existentes.
- Análisis de los criterios para la selección de los indicadores de sostenibilidad.
- Implicación de los indicadores en el Análisis de Ciclo de vida.
- Estudio sobre los principales métodos de evaluación de impactos.
- Análisis de los indicadores ambientales en términos de carga o impacto.
- Obtención de conclusiones.

En el capítulo 4 se ha iniciado **el Estudio Prescriptivo**, estableciendo una metodología para identificar, seleccionar, priorizar y desarrollar los indicadores de sostenibilidad que permitan valorar las soluciones constructivas de la envolvente de los edificios para apoyar al diseñador en la selección de las opciones que garanticen, a priori, la reducción de los impactos ambientales de los edificios al final de su ciclo de vida. Para ello se han desarrollado los siguientes apartados:

- Selección del marco metodológico para la presentación de los indicadores.

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

- Análisis de la Normativa específica en materia de sostenibilidad de los edificios.
- Establecimiento de los objetivos y criterios para la selección de los indicadores adecuados.
- Identificación y clasificación de los indicadores de mayor interés.
- Obtención como conclusión del listado de indicadores a desarrollar.

El **Estudio Prescriptivo** se aborda intensamente en los Capítulos 5, 6 y 7.

En el capítulo 5, definiendo una metodología simplificada de ACV para el cálculo de los impactos ambientales de la envolvente de los edificios producidos durante la fase de fabricación y puesta en obra, fase de mantenimiento y fase uso. Para ello se han desarrollado los siguientes apartados:

- Análisis del estado del arte de las investigaciones basadas en la aplicación del ACV a edificios.
- Definición de la metodología de evaluación.
- Aplicación de la metodología descrita al caso de estudio.

En el capítulo 6, se completa el análisis de inventario con todos los datos obtenidos mediante la evaluación de los impactos de acuerdo con la metodología descrita en el capítulo 5 e interpretación de los resultados. Para ello se han desarrollado los siguientes apartados:

- Obtención de resultados.
- Comparación y conclusiones sobre los resultados obtenidos

En el capítulo 7, diseñando los indicadores previamente seleccionados y definiendo, mediante regresión lineal, las fórmulas de estos indicadores a partir de los resultados obtenidos en función de las múltiples opciones de diseño sometidas a evaluación. El modelo de evaluación constituye el objeto de nuestro estudio. Se comprobará la eficacia del modelo mediante la aplicación sobre un caso real. Para ello se han desarrollado los siguientes apartados:

- Desarrollo de la metodología para construcción de indicadores de sostenibilidad para evaluar la envolvente de los edificios
- Construcción de los indicadores seleccionados
- Cálculo y valoración de los indicadores de sostenibilidad
- Desarrollo de una matriz de decisión

El **Estudio Descriptivo II**, se aborda en el Capítulo 7, en el apartado 6.6, donde se lleva a cabo la comprobación del modelo.

Finalmente en el capítulo 8 se extraerán conclusiones.

Capítulo 2. ESTUDIO CRÍTICO DE MODELOS EXISTENTES

2.0 Introducción

Existe una gran variedad de herramientas para evaluar los componentes del edificio y los edificios completos. Las herramientas cubren diferentes fases del ciclo de vida de los edificios y tienen en cuenta aspectos diferentes, además de ser aplicables a diferentes ámbitos, global, nacional, o local (Haapio y Viitaniemi, 2008).

En este capítulo se ha llevado a cabo una revisión bibliográfica de las herramientas existentes a nivel internacional de apoyo al diseñador para la selección de materiales y soluciones constructivas en la fase de diseño, de manera que, por un lado se puedan identificar, evaluar y prevenir los impactos ambientales antes de que se produzcan, con la intención de dar un enfoque preventivo al proceso productivo, y por otro, realizar una evaluación de tales herramientas para concluir en una serie de directrices para una futura herramienta española (Huedo y López-Mesa, 2011).

La revisión bibliográfica se ha centrado en los siguientes aspectos:

- Cuestiones generales de funcionalidad.
- Definición de los criterios de selección.
- Cuestiones específicas de los impactos considerados y formas de obtención de dichos impactos.
- Cuestiones relativas a los impactos derivados de los consumos producidos durante la fase uso vinculados a las soluciones constructivas de la envolvente.

El esquema metodológico empleado en esta parte de la investigación consiste, en primer lugar, en describir la investigación realizada, a continuación se valoran las herramientas seleccionadas, seguidamente se realiza el estudio crítico de los modelos utilizados y finalmente se obtienen conclusiones.

2.1 Descripción de la investigación realizada

A nivel internacional, se han desarrollado y se continúan desarrollando y perfeccionando numerosas herramientas de evaluación ambiental de materiales y de soluciones constructivas. Existen muchos estudios y trabajos de investigación publicados con información detallada de las herramientas existentes que recogen múltiples aspectos relativos a estas herramientas y que utilizan distintos criterios de selección y clasificación (Eldridge, 2002 IEA, 2004; Seo, 2005; Yuan, 2005; Fowler, 2006; etc.); así mismo se han publicado numerosos artículos científicos (Lippiatt y Boyles, 2001; Forsberg, 2004; Kohler, 2004; Elmawgoud, 2007; Haapio, 2008; etc.). Ante la variedad de herramientas que proponen los diferentes organismos, países, centros de investigación etc., los estudios y trabajos de investigación publicados con información detallada de las herramientas y los numerosos artículos científicos, se ha llevado a cabo una selección de herramientas y un posterior análisis en dos fases de la

bibliografía y herramientas existentes, siguiendo los pasos que se indican en el esquema de la Figura 2.1

Pasos seguidos en la investigación.

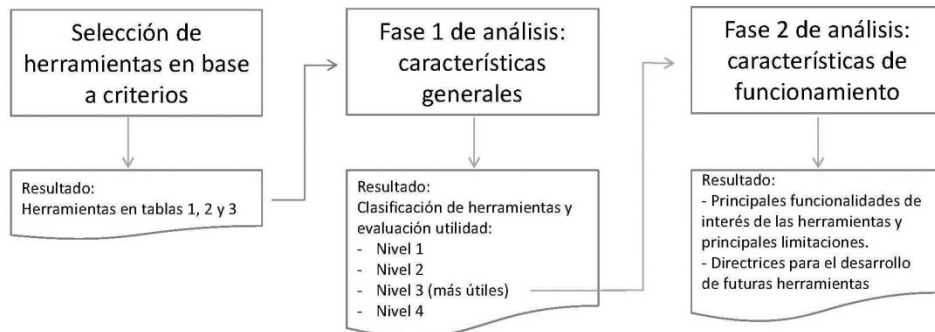


Figura 2.1 Pasos seguidos en la investigación.

En primer lugar se seleccionan las herramientas de ACV de aplicación susceptibles de ser utilizadas para la evaluación medioambiental de los edificios. Seguidamente se procede a clasificarlas y finalmente se estudian sus ventajas y desventajas.

2.2 Resultados

2.2.1 Selección de herramientas

Las tablas 1, 2 y 3 recogen las herramientas seleccionadas, que han sido estudiadas.

En esta fase, se consideraron todas las herramientas de ACV que podían servir de apoyo al proyectista de las que había suficiente información accesible a través de publicaciones científicas y páginas web de diciembre de 2009 a junio de 2010².

Los criterios de selección de herramientas son los siguientes:

- Únicamente se han seleccionado herramientas de evaluación, basadas en el análisis de ciclo de vida (ACV).
- Que puedan servir de apoyo para proyectistas del ámbito de la edificación, en las que el objeto de evaluación sean materiales, soluciones constructivas o edificios completos.
- Se han tenido en cuenta las herramientas en las que los límites incluyan los procesos de la cuna a la tumba; las fases sugeridas por el Athena Institute para los productos de la edificación son extracción de recursos, fabricación de productos, puesta en obra, ocupación/mantenimiento, demolición/deconstrucción, reciclado/reutilización/retirada.

² A pesar de que el estudio sobre el estado del arte de las herramientas existentes abarcaba la información desde diciembre 2009 a junio 2010; se ha considerado de interés incorporar la herramienta EnerBuiLCA presentada en Barcelona el 04 de diciembre de 2012 por ser una herramienta desarrollada en España y de gran interés para esta investigación.

2.2.2 Fase 1 de análisis: clasificación de las herramientas

De cada herramienta se ha realizado una breve descripción y se han tenido en cuenta los siguientes criterios de análisis:

- Los métodos de evaluación de los impactos.
- Las bases de datos que utiliza.
- La forma de mostrar los resultados.
- Los idiomas en los que está disponible.

Aspectos positivos de la herramienta para el apoyo al diseñador, tales como:

- Que cuente con datos específicos para edificación o construcción.
- Que sea exclusiva para edificación.
- Que esté desarrollada expresamente para la fase de diseño.
- Que utilice una base de datos modificable o ampliable.
- Que sea fácil de usar por un proyectista.

Estos criterios de análisis han sido utilizados para clasificar, asimismo, las herramientas en cuatro niveles:

- Un primer nivel estará formado por herramientas genéricas de ACV, que se caracterizan por ser difíciles de usar por un proyectista por el tiempo y conocimientos requeridos, y por no ser exclusivas para edificación.
- Un segundo nivel estará formado por bases de datos de ACV de productos de construcción, desarrolladas expresamente para su uso en la fase inicial del diseño, pero que resultan difícil de utilizar por un proyectista.
- Un tercer nivel estará formado por herramientas de ACV exclusivas para la edificación, desarrolladas expresamente para su uso en la fase inicial del diseño.
- Un cuarto nivel formado por herramientas de certificación global de edificios, que no han sido desarrolladas para la fase inicial de diseño, sino que son de aplicación en fases avanzadas de diseño o cuando el proyecto ya está finalizado.

Las herramientas del primer nivel, herramientas genéricas de ACV, consideradas son: Aist-LCA, eVerDEE, Gabi 4, JEMAI-L-LCA, Lcapix, SimaPro 7, TeamTM y Umberto 5.5 (tabla 2.1).

Las herramientas de segundo nivel (bases de datos de ACV de productos de construcción) son:

-*Inventory of Carbon and Energy (ICE)* de la Universidad de Bath, en Reino Unido (<http://www.bath.ac.uk/mech-eng/ser/embodied/>). Es una hoja de cálculo, en inglés, que incluye más de 400 valores de energía embebida/carbono embebido de aproximadamente 170 tipos de materiales diferentes de edificación.

-*Fiches de Déclaration Environnementale et Sanitaire (FDES) des Produits de construction*, de Francia (<http://www.inies.fr/>). Es una base de datos online, en francés, que incluye más de 5000 fichas de declaración ambiental y características sanitarias de productos de construcción en el mercado francés.

-Ecoetiquetado de productos de la construcción (DAPc), de diversos países. Es una ecoetiqueta tipo III denominada declaración ambiental de producto (DAP o

Environmental Product Declaration, EPD) sobre los productos de la construcción por lo que sus siglas son DAPc. Dichas etiquetas están basadas en estudios de ACV verificados de forma independiente y realizada bajo unas directrices consensuadas, permitiendo una comparación equitativa entre distintos productos porque sigue unas reglas específicas para cada categoría de producto, denominadas Reglas de Categoría de Producto (RCP). En España, el proyecto del sistema DAPc se inició en febrero del año 2008. Por el momento, sólo hay 22 productos de la construcción con certificación DAPc.

Las herramientas de tercer y cuarto nivel quedan recogidas en las tablas 2 y 3, respectivamente.

La clasificación propuesta nos permite identificar la validez de las herramientas en lo referente al apoyo al diseñador en la selección de sistemas constructivos. Aunque todas las herramientas descritas podrían ser utilizadas para la evaluación medioambiental de sistemas constructivos, y en este sentido pueden considerarse herramientas de apoyo al diseñador para la toma de decisiones, las herramientas más útiles para el proyectista en las fases iniciales de diseño son las que permiten clasificar las herramientas como de **tercer nivel** (herramientas específicas para el ACV en edificación), es decir, aquellas que son exclusivas para edificación, son fáciles de usar por un proyectista por facilitar el uso de las mismas a nivel de sistema constructivo o edificio y se han desarrollado expresamente para la fase de diseño. Como conclusión del análisis de las herramientas de primer nivel, observamos que estas herramientas ayudan a realizar un ACV completo para determinar el impacto medioambiental de cualquier material o producto.

La tabla 2.2 recoge las herramientas estudiadas de tercer nivel, herramientas específicas para el ACV en edificación, en las que se incluyen: ATHENA® Estimator, BEAT 2002, BeCost, BEES, EcoBat, EcoCalculator, EcoEffect, EcoQuantum, EcoSoft WBF, EnerBuiLCA, Envest2, EQUER, LCAid, LEGEP, LISA, OFEN y TCQ2000.

Las herramientas de certificación sostenible de edificios, de cuarto nivel, consideradas son: Breeam, Casbee, Enlace, GBTool, Green Globes TMB, Leed, Verde (tabla 2.3).

2.2.3 Fase 2 de análisis: estudio de las herramientas específicas para el ACV en edificación

Una vez identificados los tipos de herramientas, en esta segunda fase se estudian las consideradas más apropiadas para apoyo al proyectista. No se intentan analizar los modelos de cálculo interno sino destacar los aspectos más relevantes en cuanto a las funcionalidades de mayor interés para el proyectista, teniendo en consideración los siguientes aspectos:

- Alcance de la herramienta.
- Impactos ambientales considerados.
- Bases de datos.
- Funcionamiento de la herramienta.
- Obtención de resultados.
- Valoración de la herramienta como apoyo al proyectista.

Limitaciones en la aplicabilidad de la herramienta

NOMBRE	DATOS GENERALES (ENLACE, DESARROLLADORES, IDIOMAS)	EVALUACIÓN DE IMPACTOS	BASE DE DATOS	A FAVOR
Aist-lca V.4	http://www.aist-riss.jp/main/modules/product/software/nire.htm National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), Japón. Japonés, inglés.	El principal método utilizado: CAL. Otros métodos: Eco-indicador 95, Ecopuntos y los métodos de EPS. Permite a los usuarios definir sus propios métodos de evaluación.	Más de 400 productos. Contiene procesos modificables como son el consumo de recursos, las emisiones y el consumo de electricidad.	Cuenta con una base de datos ampliable.
eVerDEE	http://www.ecosmes.net/everdee/login2 ENEA - Agenzia nazionale per le nuove tecnologie, l'energia e lo sviluppo economico sostenibile, Italia. Inglés, alemán, italiano, español.	Método utilizado: LMC-IA.	Permite importar datos de DIM, de materiales y productos semi-acabados, componentes, procesos de fabricación, embalaje, energía, transporte, emisiones al aire y emisiones al agua.	Cuenta con una base de datos con datos específicos para edificación o construcción.
Gabi 4	http://www.gabi-software.com PE International GmbH, Dinamarca. Danés, chino, inglés, alemán, italiano, japonés, portugués, español, tailandés.	Métodos utilizados: MC 96, CML 2002 (actualización 2007), Ecoindicador 95, Ecoindicador 99, EDIP 97, EDIP 2003, Impacto 2002+, Traci. Permite a los usuarios definir sus propios métodos de evaluación.	Base de datos de Gabi 2006, de ELCD, de Ecoinvent, de materiales de construcción: aditivos, adhesivos, hormigón, mortero, yeso, pinturas, ladrillo, hormigón celular, cal, arena, madera, aislantes, metales y plásticos.	Cuenta con una base de datos con datos específicos para edificación o construcción.
JEMAI-LCA	http://www.jemai.or.jp/english/lca/ National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST) & Japan Environmental Management Association For Industry (JEMAI), Japón. Inglés, japonés.	El método principal utilizado es el LIME. También incluye otros métodos: Eco-indicador 95, Ecopoints y EPS. Permite a los usuarios definir sus propios métodos de evaluación.	La base de datos contiene procesos modificables. Se pueden registrar las emisiones, consumo de electricidad y agregar nuevos datos a través de la hoja de entrada y salida de cada proceso.	Permite el acceso a otras bases de datos.
Lcapix	http://www.kmlmtd.com/index.htm KM Limited, EE.UU. Inglés.	Utiliza la metodología EPS.	La base de datos contiene información de los procesos en un formato almacenable, intercambiable. Acceso a las bases de datos generales: Boustead, Tellus, TME, EPS.	Permite el acceso a otras bases de datos.
SimaPro 7	http://www.pre.nl/simapro/ PRé Consultants, Holanda. Japonés, español, danés, griego, francés, italiano, alemán, holandés, inglés.	Los métodos que utiliza: Eco-indicador 99, Eco-indicador 95, CML 92, CML 2 (2000), EDIP / UMIP, EPS 2000, Ecopuntos 97, Impacto 2002+ y TRACI	Base de datos Ecoinvent con cerca de 4000 procesos.	Cuenta con un módulo específico para edificación.
TEAM™	https://www.ecobilan.com/fr_team.php Ecobilan – Pricewaterhouse Coopers, France. Francés, inglés.	Los métodos que utiliza: EPS2000, Ecopoints 97, EcoIndicador95, EcoIndicador 99.	Permite al usuario crear y gestionar grandes bases de datos de las distintas operaciones relativas a los productos, procesos y actividades de una empresa.	Cuenta con un módulo específico para edificios.
Umberto 5.5	https://www.umberto.de Ifeu Instituto para la energía y el medio ambiente en Heidelberg GmbH. Inglés.	Los métodos que utiliza: Ecoindicador 99, CML 2001, el método suizo Ecopoints, el método alemán EPA.	Dispone de una biblioteca con unos 600 conjuntos de datos de procesos. Tiene la posibilidad de utilizar el sistema EcoSpold para obtener los datos de Ecoinvent.	Cuenta con una base de datos modificable.

Tabla 2.1 Primer Nivel, herramientas genéricas de ACV: Aist-LCA, eVerDEE, Gabi 4, JEMAI-L-LCA, Lcapix, SimaPro7, TeamTM, Umberto 5.5.

NOMBRE	DATOS GENERALES (ENLACES, DESARROLLADORES, IDIOMAS)	EVALUACIÓN DE IMPACTOS	BASE DE DATOS	EN CONTRA
ATHENA® Estimator	http://www.athenasmi.org/tools/impactEstimator/ Athena Institute, EE.UU. Inglés	Conforme a métodos desarrollados por la US Environmental Protection Agency (EPA).	Desarrolla su propia base de datos de materiales y de soluciones constructivas comparables.	Aplicable únicamente en Estados Unidos y Canadá.
BEAT 2002	http://www.sbi.dk/miljo-og-energi/miljovurdering/edb-verktoj-beat/generelt-om-beat . SBI (Building Research Institute), Dinamarca Danés, inglés, francés, español y alemán	El método de evaluación de impacto ambiental que utiliza es EDIP.	Contiene datos de fuentes de energía, transporte, materiales de construcción, edificios. El usuario puede desarrollar su base de datos.	Exclusivamente utiliza datos propios de la construcción danesa.
BeCost	http://pim.vtt.fi/becost/html/index.htm VTT (Technical Research Centre of Finland), Finlandia. Finlandés	Utiliza su propio método para evaluar los impactos.	El programa utiliza una base de datos GDL, que pueden ser utilizados para su aplicación en CAD.	Disponible exclusivamente en finlandés
BEES	www.bfrl.nist.gov/oe/software/bees.html NIST Building and Fire Research Laboratory, EE.UU. Inglés	Utiliza el método de evaluación del impacto ambiental Eco-Indicador 99.	Transforma datos basados en el ACV de más de 500 materiales y flujos de energía, y los entrega en un formato gráfico visualmente intuitivo.	Exclusivamente utiliza datos propios de EEUU y Canadá
EcoBat	http://www.eco-bat.ch Haute Ecole d'Ingénierie et de Gestion du Canton de Vaud, Suiza Francés, italiano, inglés	Utiliza el método de evaluación del impacto ambiental Eco-Indicador 99.	Base de datos propia con más de 100 materiales genéricos (hormigón, productos de madera, metales, recubrimientos, etc.).	La gama de materiales de la base de datos es limitada.
EcoCalculator	http://www.athenasmi.ca/tools/ecoCalculator/index.html Athena Institute & University of Minnesota, EE.UU. Inglés	Base de datos basada en evaluaciones detalladas completadas con ATHENA® Impact Estimator.	Utiliza su propia base de datos de Inventario del Ciclo de Vida	Aplicable únicamente en Estados Unidos y Canadá.
EcoEffect	http://www.ecoeffect.se Royal Institute of Technology in Stockholm & University of Gävle Sueco, inglés	Dispone de un sistema propio de evaluación de impactos.	Contiene su propia base de datos con información ambiental para los distintos tipos de energía, materiales seleccionado.	No tiene en cuenta residuos generados, flujo de agua y aguas residuales, uso del terreno, ubicación.
Eco-Quantum	http://www.ivam.uva.nl University of Amsterdam, Holanda Holandés	Dispone de un sistema propio de evaluación de impactos.	El programa tiene su propia base de datos sobre los impactos medioambientales de materiales, consumo de energía y agua.	Únicamente está disponible en holandés. No compara diferentes alternativas de diseño. Gestión de base de datos poco transparente.
EcoSoft WBF	http://www.ibo.at/en/ecosoft.htm Institute for Healthy and Ecological Building de Austria Alemán, holandés, inglés	Indicador Eco-OI3, CML2 2001.	Base de datos de materiales constructivos gestionada por IBO con más de 500 materiales.	Únicamente es aplicable en Salzburgo, Vorarlberg y Baja Austria.
EnerBuiLCA	www.enerbui-lca-sudoe.eu . Desarrollada por SUDOE Interreg IV B. Coordinada por CIRCE: Cataluña, Aragón, Andalucía, País Vasco Región Norte, Región Centro y Aquitania. Español, francés, portugués	Método de cálculo descrito en las Normas EN15643-1, 15643-2, 15804 y 15978 desarrolladas por el CEN/TC 350	Específicamente creada de la recopilación de información ambiental disponible de Declaraciones Ambientales de Producto (DAP) de productos de la construcción como el DAPc, Deklaration Umwelt.	Únicamente considera dos impactos (calentamiento global y consumo de energía). Los datos sobre la fase uso se han de calcular con otra herramienta
Invest2	http://invest2.bre.co.uk/ BRE Group, Reino Unido.	Estimación del impacto ambiental del edificio basada en la evaluación de ciclo	La base de datos dispone de perfiles ambientales de materiales de construcción y	Las comparaciones entre los perfiles ambientales son siempre informativas.

	Inglés	de vida de 13 indicadores.	componentes usuales en el Reino Unido.	Trabaja exclusivamente con datos del Reino Unido.
EQUER	http://www.izuba.fr/references Ecole des Mines de Paris, Francia. Francés	Calcula 12 indicadores medioambientales.	Incorpora información de: Ecoinvent 2007; la base de datos Oekoinventare Suiza; otros datos recogidos en el proyecto d 15978e regeneración Europea.	La asistencia al diseñador no se produce en las fases previas, sino en fase avanzada del proyecto.
LCAid	http://projectweb.gov.au/dataweb/lcaid NSW Department of Public Works and Services, & University of Western, Australia. Inglés	LCAid™ utiliza las categorías de impacto del Eco- indicador 95 y del eco- indicador 99.	Puede importar los materiales de bases de datos de Boustead o Sima-Pro.	La base de datos de los materiales y soluciones constructivas ha sido creada para productos utilizados habitualmente en Australia.
LEGEP	www.legep.de LEGEP Software GmbH. Alemania. Alemán e italiano	Dispone de un sistema propio de evaluación de impactos.	Descripción de sistemas constructivos según DIN 276, costes de ciclo de vida según DIN 18960 e informe final de UE-TG4 LCC.	Datos sobre materiales y soluciones constructivas, e información sobre costes y consumos de Alemania.
LISA	http://www.lisa.au.com/ BlueScope Steel, BHP Billiton Technology & University of Newcastle, Australia. Inglés	Basado en una serie de casos en los que se han determinado los impactos medioambientales.	Los datos se mantienen en EMMA (Eco-Material y modelo para la evaluación de Manufactura), BHP sistema de datos de ACV	No tiene en cuenta las emisiones de vertidos ni la energía de las operaciones. Datos de la construcción en Australia.
TCQ2000	http://www.itec.es/soporte/news/castellano/# Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya (ITeC), España. Catalán, castellano.	Calcula los siguientes datos del edificio: peso de materiales, cantidad de residuos, cantidad de embalaje, coste energético de materiales y de maquinaria usada en la ejecución, emisiones de CO ₂ de materiales y maquinaria.	Base de datos BEDEC, creación propia, integra datos de precios, medioambientales, pliegos de condiciones técnicas y productos comerciales. Los datos ambientales basados en el análisis de diferentes bases de datos europeas.	Datos medioambientales no calculados mediante la metodología ACV, resultado del análisis de otras bases de datos. La base de datos sólo incluye dos indicadores: coste energético y emisiones de CO ₂ .
OFEN	http://www.bauteilkatalog.ch/ch/de/Bauteilkatalog.as Office fédéral de l'énergie (OFEN) y asociación Eco-bau, Suiza. Alemán ,francés	Utiliza el método de evaluación del impacto ambiental Eco-Indicador 99.	Incorpora información de la base de datos Ecoinvent v 2.2	La base de datos de los materiales y soluciones constructivas ha sido creada para productos utilizados habitualmente en Suiza.

Tabla 2.2 Tercer Nivel, herramientas de evaluación ambiental de materiales y soluciones constructivas: Athena Estimator, Beat 2002, BeCost, Bees, EcoBat, EcoCalculator, EcoEfect, EcoQuantum, EcoSoft WBF, EnerBuiLCA, Envest, EQUER, LCAid, LEGEP 1.2, LISA, TCQ2000 y OFEN.

	DATOS GENERALES (ENLACE, DESARROLLADORES, IDIOMAS)	EVALUACIÓN DE IMPACTOS	BASE DE DATOS	A FAVOR
Breem 2002	http://www.breem.org www.thegreenguide.org.uk BRE Group, Reino Unido. Inglés, francés, alemán, italiano, ruso, español.	Evalúa impactos de diez áreas: Gestión, Salud y Bienestar, Energía, Transporte, Agua, Materiales, Residuos, Uso ecológico del suelo, Contaminación, Innovación.	La ponderación de los impactos se realiza respecto de un edificio de referencia en base a la reducción de impacto ambiental del edificio en estudio.	- Herramienta líder en el mundo en certificación de la sostenibilidad de edificios.
CASBEE	http://www.ibec.or.jp/CASBEE/english/index.htm Housing Bureau, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism (MLIT), Japan Green Building Council (JaGBC) & Japan Sustainable Building Consortium (JSBC), Japón. Japonés, inglés.	Cubre las siguientes cuatro áreas de evaluación: (1) La eficiencia energética (2) Aprovechamiento de los recursos (3) Medio ambiente local (4) Medio ambiente interior.	Compara con edificios estándar previamente evaluados.	- Puede evaluar grupos de edificios.
GB Tool 2005	http://www.iisbe.org/iisbe/gbc2k5/gbc2k5-start.htm Equipo de expertos internacionales bajo la dirección del Comité Internacional de SB05 de Tokio. Inglés, portugués, chino, alemán, italiano, japonés, francés, español.	Marco de evaluación adaptado a las condiciones de cada país y región. Tiene en cuenta temas como la energía y las prioridades ambientales regionales, la rentabilidad y las cuestiones de planificación urbana.	Compara con edificios estándar previamente evaluados.	- Aplicable tanto a edificios de nueva planta como a rehabilitaciones. - Permite la incorporación de datos de otros programas.
Green Calc	http://www.greencalc.com DGBC (Dutch Green Building Council) & Stichting Sureac, Holanda. Holandés.	Utiliza los métodos CML-2, Eco-indicator 99, TWIN-model, EPC.	Base de datos nacional de Medio Ambiente, como fruto de la armonización de diversas bases de datos incluyendo la suya propia.	- Da información al usuario en fase de diseño.
Green Globes TM	http://www.thegbi.org/green-globes/ Green Building Initiative (GBI), EE.UU. Inglés.	Evalúa impactos de siete áreas: Energía, Ambiente interior, Sitio, Agua, Recursos, Emisiones, Proyecto / Gestión ambiental	Herramienta en línea, basada en el Building Research Establishment's Environmental Assessment Method (BREEAM)	- Después de su aplicación, la herramienta da un feedback de los principales cambios recomendables. - No penaliza diseños en los temas ambientales.
LEED V.3	http://www.usgbc.org/http://www.spaingbc.org/leed/leed.html Green Building Council USGBC, EE.UU. Inglés.	Mide el impacto en siete áreas: Parcelas sostenibles, Ahorro de agua, Eficiencia energética, Materiales, Calidad del aire interior, Proceso de innovación, Prioridades regionales.	Dentro de cada área se incluye una serie de requisitos de cumplimiento obligatorio (Prerequisites) y créditos de cumplimiento voluntario (credits). La justificación del cumplimiento de parámetros otorga puntos, para obtener la certificación (LEED Certificate Plata, Oro, Platino).	- Herramienta de certificación ampliamente utilizada, fundamentalmente en EE.UU.
Verde	http://www.gbce.es/herramientas GBC España. Inglés, español.	Evalúa impactos de varias áreas: Selección del Sitio, Proyecto de Emplazamiento y planificación; Energía y atmósfera; Recursos naturales; Calidad de Servicio.	La ponderación de los impactos se realiza respecto de un edificio de referencia en base a la reducción de impacto ambiental del edificio en estudio.	- Utiliza bases de datos desarrolladas en España.

Tabla 2.3 Cuarto Nivel: herramientas de certificación de sostenibilidad global del edificio: Breem, CASBEE, Enlace, GBTool, Green Globes TM, LEED, Verde.

2.2.4 Valoración del funcionamiento de las herramientas seleccionadas

Las herramientas catalogadas dentro del **primer nivel** no son muy operativas para ser utilizadas en la fase de diseño por un proyectista debido a su complejidad. El proyectista tendría que abordar un amplísimo rango de cuestiones, tomando conciencia de muchas consideraciones no sólo en los aspectos relativos a la sostenibilidad. Además, cabe decir que estas herramientas contienen pocos datos de materiales de construcción. Es verdad que se podrían generar estos datos con su uso, y a su vez, generar información de los sistemas constructivos a partir de los materiales, su puesta en obra, mantenimiento, etc. Sin embargo, esta forma de trabajar es impensable para los proyectistas, que no tienen ni los conocimientos ni el tiempo para abordar un proyecto de diseño de un edificio aplicando el Análisis de Ciclo de Vida desde los materiales o las materias primas.

Las herramientas catalogadas dentro del **segundo nivel** son útiles a nivel de producto de la construcción, y por tanto, para las empresas fabricantes, pero su uso a nivel de sistema constructivo es más complicado porque requiere la recopilación adicional de información relativa a las fases de ejecución, uso y mantenimiento de la solución constructiva en la que se aplican los productos con declaración ambiental.

Las herramientas de **tercer nivel** son herramientas de selección de materiales y soluciones constructivas que parten de bases de datos y catálogos de elementos constructivos, con las especificaciones técnicas y funcionales requeridas, previamente evaluadas y catalogadas según criterios ambientales y económicos. Estas herramientas en menor o mayor medida permiten combinar diferentes soluciones de diseño para la comparación de resultados. Estas herramientas están expresamente desarrolladas para asistir al proyectista en la toma de decisiones en fases tempranas del diseño.

Las herramientas catalogadas dentro del **cuarto nivel** son programas/esquemas de certificación de edificios que ya están siendo ampliamente utilizados en los mercados más exigentes. Estos introducen una aproximación al ACV para la evaluación y certificación de edificios completos, que sirven para fomentar el diseño sostenible a largo plazo y permiten el establecimiento de parámetros que mejoran la calidad. Ahora bien, estos programas no son útiles en las fases iniciales del diseño, porque para poder utilizarlos, el edificio ha de estar definido prácticamente en su totalidad, más bien, son de aplicación en fases avanzadas de diseño o cuando el proyecto ya está finalizado; por lo que un mal resultado implica a veces una modificación del planteamiento inicial.

Conclusiones de la fase 1 de análisis.

- La primera pregunta de investigación era: ¿Existen herramientas basadas en la metodología del ACV, aplicables al sector de la edificación, que sirvan de apoyo a los diseñadores en la selección de soluciones constructivas que permitan reducir el impacto medioambiental de los edificios?

A esta pregunta se puede contestar que aunque todas las herramientas descritas podrían ser utilizadas para la evaluación medioambiental de cualquier producto y en particular para la evaluación medioambiental de materiales o productos de construcción, y en este sentido pueden considerarse herramientas de apoyo al diseñador para la toma de decisiones, las herramientas más útiles para el proyectista son las que permiten clasificar las herramientas como de **tercer nivel**, es decir:

- Exclusiva para edificación.
- Son fáciles de usar por un proyectista.
- Se han desarrollado expresamente para la fase de diseño.

2.2.5 Consideraciones acerca de las herramientas específicas para el ACV en edificación

A partir de la labor de búsqueda y catalogación de las herramientas, se ha comprobado que existen herramientas genéricas de ACV como Aist-LCA, eVerDEE, Gabi 4, JEMAI-L-LCA, Lcapix modle, SimaPro7, TeamTM, Umberto 5.5, que permiten evaluar materiales de construcción, productos, soluciones constructivas e incluso edificios. Estos programas utilizan diferentes bases de datos como Ecoinvent, BUWAL 250, ETH-ESU 96, IVAM, Franklin, etc., disponibles a escala europea o incluso mundial, lo que induce en ocasiones a error al aplicar tecnología europea en España (Cebrian-Tarrasón, 2009). Se está realizando un esfuerzo en los últimos años por construir y estandarizar bases de datos para la realización de inventarios de ACV ya que la accesibilidad a estas bases continúa siendo un grave problema.

El ACV requiere la dedicación de mucho tiempo y de grupos de trabajo cualificados, tanto para la recopilación de los datos, como para su aplicación. Además hay que reconocer que todavía no se dispone de una base científica para reducir los resultados obtenidos a una puntuación medioambiental global.

Además, a la hora de catalogar no solo materiales, sino también soluciones constructivas, en base a su carga ambiental, es imprescindible que los indicadores de sostenibilidad utilizados en el análisis, sean previamente aceptados por la comunidad científica. Para ello se considera necesario acordar y desarrollar unos indicadores de sostenibilidad universalmente reconocidos que permitan transformar los resultados obtenidos a partir de los ACV en una puntuación unívoca.

Estos resultados se podrían ir incorporando a los catálogos de soluciones constructivas existentes o ser utilizados por otras herramientas que sirvan de apoyo al diseñador en su toma de decisiones.

Aun así, la complejidad en la aplicación de estos programas, hace que no sean un instrumento adecuado como herramientas de apoyo al proyectista en fase de diseño.

Como se ha visto, existen programas/esquemas de certificación de edificios, como Breeam, CASBEE, GBTool, Green Globes^{TMb}, LEED, Verde; que introducen una aproximación al ACV para la evaluación y certificación de edificios que son de aplicación en fases avanzadas de diseño o cuando el proyecto ya está finalizado; por lo que un mal resultado implica una modificación del planteamiento inicial. Es evidente que los proyectistas necesitan más ayuda en relación a la selección de productos y soluciones constructivas en las fases iniciales del diseño para garantizar el resultado final y posicionarse en un mercado cada vez más exigente en materia de sostenibilidad.

En este contexto se requiere tomar en consideración las herramientas catalogadas en el tercer nivel. Las herramientas seleccionadas son:

Athena Impact Estimator, Beat 2002, BeCost, BEES, Ecobat, Ecocalculator, EcoEffect, EcoQuantum, EcoSoft, EnerBuiLCA, Envest2, EQUER, LCAid, LEGEP, LISA y TCQ2000 y OFEN, desarrolladas por diferentes países; ya que integran en este nivel intermedio los requisitos técnicos-funcionales de sostenibilidad en la edificación, facilitando al proyectista la elección de las soluciones constructivas, la

Capítulo 2. ESTUDIO CRÍTICO DE LOS MODELOS EXISTENTES

caracterización, comparación y selección de alternativas en un nivel intermedio entre el edificio y los materiales o productos de la construcción, teniendo en cuenta los requisitos integrados.

2.3 Estudio crítico de los modelos seleccionados

La tabla 2.4 muestra los resultados del análisis, que a continuación comentamos, organizados en los siguientes aspectos:

- Funcionalidades de mayor interés de las herramientas.
- Valoración de las herramientas como apoyo al proyectista.
- Limitaciones de las herramientas.

2.3.1 Valoración del funcionamiento de las herramientas seleccionadas

Tal y como se ha visto, estas herramientas pueden resultar más o menos aptas para su utilización en fase de diseño. A continuación se relacionan características interesantes en cuanto al apoyo a las decisiones, orientado a diseñadores, constructores y fabricantes y se identifican las herramientas que las consideran:

-En cuanto a la posibilidad de ayudar al diseñador en la selección de materiales y de sistemas constructivos, la organización de la base de datos de cada herramienta es fundamental, así por ejemplo LEGEP dispone de un sistema muy útil de organización de su base de datos en cuatro bloques que facilita notablemente la tarea del diseñador a la hora de seleccionar los materiales, productos, componentes y soluciones constructivas para la realización del edificio. Además cada bloque contiene los datos necesarios para el cálculo del coste, la energía, el flujo de materiales y la evaluación de impacto (Kholer et al., 2005).

-Asimismo, es interesante la capacidad de todas estas herramientas de facilitar información sobre los impactos ambientales producidos por distintos materiales y soluciones constructivas, permitiendo la comparación de diferentes opciones en fases muy tempranas del diseño, ofreciendo los resultados en tiempo real y permitiendo combinar diferentes materiales que formen parte de un sistema constructivo. Por ejemplo, para definir la envolvente del edificio, es posible escoger entre componentes de la fábrica, distintos tipos de aislante, conjuntamente con otros elementos, o seleccionar diferentes soluciones constructivas.

-Algunas herramientas establecen un sistema de valoración de resultados mediante puntuaciones que se pueden cuantificar sobre la base de unidad funcional, de modo que los productos comparados pueden ser sustituidos unos por otros, como ejemplo Bees. Un sistema constructivo puede tener un componente de alto impacto, pero si su contribución es en una proporción pequeña puede estar compensado por otros componentes relativamente benignos (Lippiart, 2001).

-Otra faceta a destacar de algunas herramientas como LCAid™ es que permiten al proyectista seleccionar de forma manual los materiales de la base de datos o importar directamente las mediciones a partir de modelos arquitectónicos en 3D CAD (DXF).

-En cuanto a la contribución de una determinada solución constructiva a la eficiencia energética del edificio: EQUER tiene muy en cuenta este aspecto ya que puede aprovechar la información obtenida por las herramientas de simulación de energía Pléyades y CONFIE para obtener una evaluación más global; Ecco-Bat calcula los impactos ambientales relacionados con el consumo de energía durante la fase de uso del edificio (calefacción, agua caliente sanitaria, refrigeración, iluminación, ventilación y equipo eléctrico). De hecho, este apartado es uno de los más complejos

de abordar, y al mismo tiempo más importante para las soluciones constructivas de la envolvente térmica del edificio, porque para saber si una solución de fachada, por ejemplo, es mejor que otra no sólo se debería considerar sus impactos debidos a la fabricación de los productos, su puesta en obra y su retirada final, sino también su contribución a la eficiencia energética del edificio. Y esto último depende del edificio en cuestión que estemos estudiando, de su tipología, de la zona climática en que se sitúa, de su orientación, etc.

-Otra característica a destacar es la posibilidad de valorar económicamente el coste del edificio durante el ciclo de vida: Ecoeffect tiene en cuenta la suma de las inversiones en servicios (electricidad, calefacción, agua y aguas residuales, limpieza) y los costes de mantenimiento para 50 años u otro período determinado y se utiliza como un indicador de los costos ambientales. Becost calcula los efectos del cuidado, mantenimiento, reparación y establece, costos y gastos de mantenimiento de materiales, de construcción. BEES tiene en cuenta el impacto económico, de inversión inicial, renovación, operación, mantenimiento y reparación, y la eliminación.

-Es importante la capacidad de considerar los consumos de agua, tal y como hacen Bees, EcoCalculator, Envest2, EQUER, LCAid y Lisa.

-Algunas herramientas tienen en cuenta los impactos ambientales a lo largo del ciclo de vida del edificio, considerando el mantenimiento, reparación, sustitución demolición y transporte a vertedero, como Athena Impact Estimator.

-Algunas consideran la ubicación geográfica del proyecto, los medios de transporte y los consumos durante el transporte: Athena Impact Estimator, BeCost, EcoCalculator. Después de haber hecho las comparaciones entre los diferentes edificios y las especificaciones correspondientes, el proyectista puede utilizar algunas de estas herramientas para demostrar las garantías ambientales de su diseño como es el caso de Envest2.

2.3.2 Funcionalidades de mayor interés de las herramientas

Las funcionalidades de mayor interés observadas en estas herramientas son:

-La integración de los requisitos técnicos-funcionales de sostenibilidad en la edificación para ayudar a los proyectistas en la selección de materiales y de soluciones constructivas, teniendo en cuenta los requisitos integrados.

-La posibilidad de evaluar en la fase inicial del diseño, los impactos medioambientales mayoritariamente aceptados, para saber qué materiales o qué soluciones constructivas son responsables de un mal comportamiento medio ambiental y poder sustituir un material por otro o de seleccionar una solución óptima sin tener que modificar el diseño una vez realizado.

-La consideración de los impactos derivados de los consumos vinculados a las soluciones constructivas de la envolvente.

-La integración de la información obtenida en las bases de datos de la construcción y catálogos de elementos constructivos incluyendo criterios económico-ambientales.

-La obtención de puntuaciones que se puedan cuantificar sobre una base de unidad funcional, mediante indicadores, que permitan comparar resultados o acreditar el cumplimiento de requisitos medioambientales de cara a la obtención de licencias, subvenciones etc.

2.3.3 Valoración de las herramientas como apoyo al proyectista

En el estudio de cómo pueden ayudar estas herramientas al proyectista en la toma de decisiones, se ha llegado a las siguientes conclusiones:

- Estas herramientas incorporan bases de datos de materiales y/o soluciones constructivas que incluyen datos de impactos ambientales, lo que permite al proyectista conocer los resultados reales del impacto ambiental de las soluciones constructivas adoptadas en fase de diseño para poder adoptar soluciones preventivas.
- Facilitan la labor del proyectista mediante la caracterización, comparación y selección de alternativas no sólo a nivel de materiales, sino también a un nivel intermedio entre el material y el edificio, combinando diferentes materiales que formen parte de una solución constructiva. Se ha de tener en cuenta que un sistema constructivo puede tener un componente de alto impacto, pero si su contribución es en una proporción pequeña puede estar compensado por otros componentes relativamente benignos.
- Algunas de estas herramientas permiten la exportación de datos, el proyectista puede definir soluciones constructivas y luego utilizarlos en otro proyecto.
- Pueden servir para verificar el cumplimiento de los objetivos medioambientales que se planteen.
- Permiten comprobar los efectos del cuidado, mantenimiento y reparación de las acciones sobre el medio ambiente.
- Algunas de estas herramientas permiten realizar una valoración económica de los costos medioambientales.

2.3.4 Limitaciones de las herramientas

Todas estas herramientas presentan limitaciones:

- Difícilmente son aplicables a la construcción española, se podría decir que prácticamente cada una de estas herramientas es únicamente aplicable en el país en que ha sido desarrollada, ya que el nivel de impacto ambiental causado por los materiales y soluciones constructivas puede variar en función del territorio, debido a la ubicación geográfica de la obtención de las materias primas y de los centros de transformación con relación a la situación del edificio que se ha de construir.
- Sólo unas pocas consideran los consumos de agua (tan importantes en un país como el nuestro con estrés hídrico).
- Pocas contienen información por defecto de la fase de mantenimiento, ni información por defecto de la fase uso y mantenimiento, lo cual es considerado un inconveniente por la comunidad científica (Malin, 2005).

	Características	Athena Impact Estimator	Beat 2002	BeCost	BES	Eco-Bat	EcoCalculator	EcoEffect	Eco-Quantum	EcoSoft	EnerbuiLCA	ENVEST	EQUER	LCAid	LEGEP	LISA	TCQ2000	OFEN
Alcance	Considera las fases de materia prima y manufactura	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Considera las fases de puesta en obra, demolición y residuos	x	x	x	x	x	x	x		x	x		x	x	x	x		x
	Considera consumos energéticos de la fase uso achacables a la envolvente	x				x		x	x		x	x	x	x	x			
	Tiene en cuenta los consumos de agua					x	x		x				x	x	x	x		
	Obtención de costes ambientales durante el mantenimiento			x	x	x		x		x		x		x	x			
Métodos de evaluación de impactos	Utiliza algún método de evaluación de impactos científicamente reconocido (Eco-indicator 99, TRACI, EDIP, EKA, CML2, Baseline 2001, etc.)	x	x	x	x					x	x		x					x
	Permite analizar impactos no incluidos en los métodos de evaluación de impactos anteriores	x				x		x		x			x	x	x	x		x
Bases de datos ampliable	De energía y/o combustibles	x	x	x	x	x	x	x	x					x	x			x
	De materiales y productos de construcción	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x
	De soluciones constructivas	x	x	x	x		x							x	x		x	x
	De edificios completos		x											x	x			
	Compatibles con el formato SPOLD	x			x	x	x							x			x	
Funcionamiento del programa	Permite seleccionar datos relativos a: la ubicación geográfica, transporte, etc.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
	Permite seleccionar datos relativos a la tipología, geometría y uso del edificio	x	x	x		x	x	x	x		x	x	x	x	x	x		
	Permite especificar los impactos a evaluar	x	x	x	x	x	x							x	x			x
	Permite ponderar los impactos				x													
	Permite importar datos de CAD													x				
Obtención de resultados	Evaluación de cada impacto por separado	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Ofrece resultados en forma numérica (tablas) o en forma de diagrama	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Ofrece resultados sobre unidad funcional	x	x	x	x	x					x							x
	Puntuación de resultados (Ej: Ecopuntos)		x		x	x						x						x
	Valora los impactos utilizando indicadores medioambientales	x	x			x				x		x	x		x			x
Apoyo en la toma de decisiones	Es fácil de usar por una proyectista	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Permite seleccionar el objeto de evaluación: materiales, productos, soluciones constructivas o edificios completos	x	x	x	x	x	x			x	x	x	x	x	x	x	x	x
Límites de la herramienta	Incompatibilidad no es aplicable a la construcción de otros países	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x		
	No considera los consumos de agua	x	x	x	x			x		x	x	x						x
	No contiene datos por defecto de la fase de ejecución					x		x	x	x	x	x	x			x		x
	No contiene datos por defecto de la fase de uso y mantenimiento				x		x		x	x	x	x				x		

Tabla 2.4 Estudio de las herramientas específicas para el ACV en edificación.

2.4 Conclusiones

De entre las herramientas encontradas, que se han clasificado en herramientas genéricas de ACV, bases de datos de productos de la construcción, herramientas específicas para el ACV en edificación, y herramientas para la certificación de la sostenibilidad de edificios, son las específicas para el ACV en edificación las que más pueden servir de ayuda a los proyectistas.

Sin embargo, todas las herramientas analizadas presentan limitaciones. Un importante hándicap es que ninguna de estas herramientas es de aplicación en otro país que en el generado, ya que el nivel de impacto ambiental causado por los materiales y soluciones constructivas puede variar en función del territorio, debido a la ubicación geográfica de la obtención de las materias primas y de los centros de transformación con relación a la situación del edificio que se ha de construir.

Uno de los aspectos claves, en todo proceso constructivo, es el diseño del edificio ya que durante esta fase, se deben tomar múltiples decisiones que afectan al resultado final.

Para evaluar los efectos ambientales de una edificación, parece lógico considerar la necesidad de contar con programas informáticos o bases de datos informatizadas que faciliten la aplicación del ACV a materiales de construcción y a soluciones constructivas concretas, de manera que los proyectistas puedan acceder con facilidad a esta información para tomar decisiones acertadas en lo referente al impacto ambiental de las soluciones constructivas desde la fase de diseño.

Para disponer en España de una herramienta rigurosa que permita catalogar o baremar las diferentes soluciones constructivas a partir de los análisis de ciclo de vida sería necesario, en primer lugar, llegar a un acuerdo sobre una metodología con rigor científico que permita unívocamente aplicar la metodología de análisis de ciclo de vida a los sistemas constructivos (como ya se ha hecho para los productos de construcción a través del sistema de DAP), utilizando indicadores de sostenibilidad reconocidos, para ponderar los resultados y poder generar bases de datos de materiales y de soluciones constructivas con una valoración rigurosa. La obtención de puntuaciones mediante indicadores, permitiría comparar resultados sobre una base de unidad funcional o acreditar el cumplimiento de requisitos medioambientales de cara a la obtención de licencias, subvenciones, etc. También pueden servir para verificar el cumplimiento de los objetivos medioambientales que se planteen.

Capítulo 3. LOS INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD, SISTEMAS DE EVALUACIÓN AMBIENTAL

Según Alvarez Ude (2006) los Sistemas de Evaluación Ambiental persiguen el desarrollo integrado de métodos para evaluar y presentar el potencial impacto medioambiental producido por una determinada actuación o proyecto con anterioridad a que los efectos medioambientales derivados de aquellos impactos lleguen a producirse, y con el fin último de facilitar la toma de decisiones durante el proceso de planificación y/o diseño. Como se ha dicho al inicio de esta tesis, la construcción es responsable en gran medida de los impactos ambientales generados por la industria. Dichos efectos integran todas las fases del ciclo de vida de los edificios, es decir, los efectos producidos a causa de la fabricación de los materiales, los derivados de la ejecución de la obra, los producidos como consecuencia de los consumos durante toda la vida útil del edificio, y finalmente, los debidos a la demolición o a la posible reutilización de parte de los materiales.

A partir de la Cumbre de la Tierra de 1992 en Río de Janeiro, donde aparece la Agenda 21, se propone el uso de indicadores para la evaluación, control y vigilancia de las tres dimensiones del desarrollo sostenible (Río de Janeiro, 1992): medioambiental, económico y social.

En 1994 apareció por primera vez el concepto de “construcción sostenible” aplicado fundamentalmente al sector de la edificación. Surge, entonces, la necesidad de incluir el comportamiento ambiental del edificio dentro de las especificaciones técnicas exigibles a los edificios en la fase inicial del diseño, hasta su construcción, explotación y mantenimiento considerando su posible, rehabilitación o demolición, pasada su vida útil; más allá de considerarlas como una mera restricción (Fernandez-Sanchez y Rodriguez-Sanchez, 2011).

Hasta la fecha son varias las propuestas existentes para establecer una evaluación de la sostenibilidad de los edificios y para ello se han desarrollado una gran variedad de herramientas analizadas en esta tesis; ahora bien, la construcción es una industria muy particular en la que cada edificio se diseña y construye de manera diferente a todos los demás, por ello es necesario desarrollar un sistema de indicadores válido para ayudar a tomar decisiones ante un análisis de alternativas.

A continuación se describe el esquema del proceso desarrollado en el presente capítulo: En primer lugar se han definido los conceptos fundamentales relacionados con los indicadores de sostenibilidad teniendo en cuenta cuestiones específicas de los impactos considerados y formas de obtención de dichos impactos. En segundo lugar se ha realizado un estudio del estado del arte de los indicadores de sostenibilidad existentes. Seguidamente se han analizado los criterios para la selección de los indicadores de sostenibilidad y se ha comprobado la implicación de los indicadores en el Análisis de Ciclo de vida. Posteriormente se han estudiado los principales métodos de evaluación de impactos y finalmente se han analizado los indicadores ambientales en términos de carga o impacto y se han obtenido conclusiones.

3.1 Conceptos generales

¿Qué es un indicador de sostenibilidad?

Gallopín (1997) destaca la multiplicidad de conceptualizaciones y usos conferidos a los indicadores, definiendo un indicador como un parámetro o el valor resultante de un conjunto de parámetros que ofrece información significativa sobre un fenómeno.

Los indicadores de sostenibilidad constituyen el sistema necesario para medir el desarrollo y control de la sostenibilidad. Las medidas e indicadores de sostenibilidad combinan información social, económica y medioambiental.

¿Qué es un indicador medioambiental?

Según (Donas et al, 2009), un indicador ambiental es una variable que ha sido socialmente dotada de un significado añadido al derivado de su propia configuración científica, con el fin de reflejar de forma sintética una preocupación social con respecto al medio ambiente e insertarla coherentemente en el proceso de toma de decisiones. Así por ejemplo un indicador ambiental sería las emisiones de CO₂, que prevé una información agregada, sintética, sobre un fenómeno que en este caso sería, el cambio climático.

Por lo tanto, los indicadores son herramientas que proporcionan información sintética sobre una realidad compleja que permitirá su descripción y análisis.

Según la Norma ISO 21929 se define como indicador medioambiental de un edificio aquel que señala un aspecto medioambiental en términos de carga o impacto (ISO, 2009). Se entienden como cargas ambientales el uso de recursos y la producción de residuos, olores, ruidos y emisiones nocivas para el suelo, agua y aire. Estas cargas ambientales están relacionadas con los impactos ambientales, que pueden expresarse como categorías de impacto (García, A., 2009).

Características de los indicadores

Un indicador es útil si es de interés fundamental en la toma de decisiones, simplifica o resume propiedades importantes, visualiza los fenómenos de interés y cuantifica, mide y comunica información relevante (Gallopín, 1997). Los primeros indicadores sociales y ambientales fueron propuestos y presentados por la OCDE³ (Verbruggen y Kuik, 1991), (OCDE, 1998).

Los indicadores tradicionales de la economía se han modificado para incluir aspectos ambientales y los indicadores sociales se han relacionado con los aspectos ambientales o económicos. Un indicador es la información acerca de un tema de especial preocupación. Si los indicadores son difíciles de entender se desprende que pueden ser difíciles de usar. Cuando se elaboran indicadores, es preciso plantearse varias cuestiones:

³ OCDE Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos. Es una organización internacional intergubernamental que reúne a los países más industrializados de economía de mercado. En la OCDE, los representantes de los 30 países miembros se reúnen para intercambiar información y armonizar políticas con el objetivo de maximizar su crecimiento económico y coadyuvar a su desarrollo y al de los países no miembros.

Capítulo 3. LOS INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD, SISTEMAS DE EVALUACIÓN MEDIOAMBIENTAL

- A qué usuarios van dirigidos (políticos, decisores, público, organizaciones no gubernamentales, etc.)
- Para qué utilidad se están proponiendo (información o decisión, fundamentalmente).
- A qué nivel de actividad.

La elección y el diseño de los indicadores de sostenibilidad deben tener como objetivo la utilización de la información y la comprensión de necesidades de información de los distintos grupos destinatarios. Braat (1991) distingue tres tipos de grupos, profesionales, responsables políticos y el público en general, los diferentes tipos de indicadores de sostenibilidad pueden ser adaptados para los diferentes grupos. Así los científicos están más interesados en los datos en bruto que pueden ser analizados estadísticamente. Los responsables políticos prefieren los datos que están relacionados con los objetivos y valores de referencia, mientras que el público en general prefiere índices simples de información.

En cuanto a la utilidad, para cada propósito, la presentación debe reflejar un significado para cada grupo objetivo en particular.

En cuanto al nivel de actividad, se distinguen tres tipos de indicadores de sostenibilidad de acuerdo a los pilares del desarrollo sostenible (Fernandez, G., 2010):

- **Indicadores medioambientales**, que se refieren a las cargas o impactos ambientales como el consumo de recursos, residuos, olores, ruidos, emisiones al agua, al aire o al suelo, etc.
- **Indicadores económicos**, que miden flujos económicos como la inversión, el diseño, construcción, elaboración de productos, uso, consumo energético, consumo de agua, residuos, mantenimiento, deconstrucción, desarrollo del valor económico del proyecto ingresos generados, el valor potencial del proyecto. Además se debe incluir el balance entre los aspectos económicos a corto y a largo plazo.
- **Indicadores sociales**, son aquellos relacionados con el nivel social de la comunidad y con el nivel del proyecto; se busca la valoración de la cooperación con los usuarios, estudio de necesidades, consideraciones culturales etc.

La evaluación de la sostenibilidad debe realizarse de acuerdo con alguna o varias de las tres dimensiones del desarrollo sostenible: los indicadores pueden enfocarse directamente hacia impactos medioambientales, sociales y económicos o hacia cuestiones que tengan consecuencias directas en estos impactos.

Los indicadores sintéticos o índices de sostenibilidad

Se puede distinguir entre indicadores simples e indicadores complejos o sintéticos o índices. Los primeros hacen referencia a los valores obtenidos directamente de la realidad y los indicadores sintéticos o índices resultan de combinar varios indicadores simples, mediante un sistema de ponderación. Si varios indicadores se combinan, entonces eso es un índice, (Bakkes et al, 1994). Algunos ejemplos de índices útiles son el Índice de Desarrollo Humano, el Índice de Contaminación del Aire, el Índice de Peligro de Radiación Ultravioleta y el Índice de Calidad del Agua. En general, los

indicadores cuantifican la información mediante la agregación de distintos datos, ofreciendo ésta de forma sintetizada.

A su vez se distingue entre indicadores objetivos que son los que se pueden cuantificar de forma exacta e indicadores subjetivos, que son los que hacen referencia a información basada en percepciones subjetivas de la realidad. Si el indicador se refiere a un criterio, un objetivo o una meta, puede ser contemplado como un indicador de rendimiento.

El análisis de un conjunto de indicadores simples se realiza por separado comparando su valor con un valor umbral. Los procesos de interacción y los factores que determinan los niveles de “umbral” se denominan “criterios”. Así por ejemplo para un indicador que mida la cantidad de residuos generados, el valor umbral sería el porcentaje máximo de residuos permitidos por m².

¿Qué es un sistema de indicadores medioambientales?

Según Gallopín (1997), un sistema de indicadores ambientales es un conjunto de indicadores relacionados. El sistema de indicadores es jerarquizado, de tal forma que cualquier área se constituye como agregación de categorías y criterios del siguiente nivel, así sucesivamente hasta los niveles básicos (último nivel) cuya valoración se realizará según los datos disponibles. Este sistema de indicadores define un perfil de calidad ambiental (Ott, 1978) y tiene por objeto agrupar la información de cada una de sus partes para aportar una información mayor y distinta. Deberá estar formado por los siguientes elementos:

- Los objetivos de la información ambiental definidos por el proceso de toma de decisión.
- El conjunto de indicadores ambientales que transmiten información de utilidad en el proceso de toma de decisiones
- Un modelo o marco de organización analítica y una estructuración de los indicadores en función de la utilidad de estos en la toma de decisiones.
- Unos criterios de selección de indicadores
- Un protocolo de interacción entre un método científico y las instituciones para validar científicamente y sociopolíticamente el procedimiento elegido (Castro, 2009).

3.2 Estado del arte de los indicadores de sostenibilidad

3.2.1 Modelos de presentación o marcos de referencia de los sistemas de Indicadores Ambientales

Los modelos de presentación de los sistemas de indicadores ambientales surgieron en la década de los noventa a raíz de los trabajos de PNUMA⁴ (1995), con la pretensión de desarrollar un marco teórico en el que poder organizar los indicadores, establecer la interrelación existente entre ellos, y llevar a cabo la evaluación de la sostenibilidad de

4 El PNUMA (UNEP) Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. Proporciona el liderazgo ambiental en temas de cambio climático para el resto del sistema de las Naciones Unidas, organizaciones internacionales, gobiernos nacionales, la sociedad civil y el sector privado. Proporciona orientación y asesoramiento a los gobiernos en la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero.

una actividad. En ellos se incluyen las etapas de selección, diseño e interpretación de indicadores, así como la organización de datos y la comunicación de resultados (Bell y Morse, 2008). Estos modelos permiten guiar el proceso de toma de datos y estructurar la información para que pueda ser utilizada fácilmente por los usuarios. Por tanto, se hace necesario establecer un contenido mínimo indispensable para presentar los indicadores, tanto para el desarrollo de procesos de selección de los propios indicadores como para el análisis y validación de la información que contienen.

Existe gran variedad de posibles formatos de presentación de los indicadores, modificándose su contenido en función de la información que se pretende ofrecer. A su vez, distintos organismos tienen establecidos distintos formatos y contenidos distintos basados en las características y tipos de informes que desarrollan.

Los marcos metodológicos que se han desarrollado hasta ahora siguen los Principios de Bellagio (Hardi y Zdan, 1997) en donde se establece una base conceptual acerca de las condiciones a tener en cuenta en el diseño de indicadores de sostenibilidad. Se podría considerar un marco como la estructura que permite clasificar los sistemas de indicadores en función de criterios o descriptores espaciales y temporales.

A continuación se describen las principales clasificaciones de los modelos o marcos metodológicos de evaluación de la sostenibilidad mediante indicadores encontrados en la literatura:

1. Modelos para la elaboración y aplicación de estrategias y acciones que definen la relación entre la información ambiental y los valores sociales y/o objetivos y metas políticos (EPA⁵,1994).
2. Modelos para la supervisión de los procesos ambientales y las interacciones sociedad-medio ambiente que tratan de clasificar los problemas ambientales en términos de causa efecto (Gaviño, 2001).

Siguiendo los principios establecidos por Kammerbauer (2001), los modelos de referencia de los sistemas de indicadores pueden agruparse en tres categorías:

1. Modelos analíticos basados en modelos causales. El paradigma que rige esta interacción es el uso racional de los recursos naturales. En términos de contaminación y residuos, los parámetros que pueden servir de guía son los impactos ambientales que sirven de indicadores para evaluar el proceso de cambio de la estructura y función de un ecosistema. Estos modelos tratan de identificar las relaciones de causa y efecto del sistema, así mismo permiten establecer una secuencia del tipo estrés estímulo-estado-reacción y bajo este concepto se diseña un menú de cadenas de causa-efecto-remedio. Dentro de este grupo podemos encontrar el modelo IICA (De Camino y Müller, 1993) y el modelo Presión-Estado-Respuesta PER, desarrollado por la OCDE (OCDE, 1993), que se explicará más adelante.
2. Modelos sistémicos. Estos modelos intentan subsanar las limitaciones de los modelos causales, identificando principios generales, pero de carácter fundamental, sobre los sistemas y los respectivos impactos humanos. El resultado de este razonamiento son indicadores de aspectos fundamentales.

⁵ EPA Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos es la de proteger la salud de los humanos y la del medio ambiente. Desde 1970, la EPA ha estado trabajando por un ambiente más limpio, más saludable, para el pueblo estadounidense. Le recomendamos ver el plan estratégico completo de la agencia, el informe anual y recursos de política pública.

Kammerbauer (2001). Dentro de este grupo se puede encontrar encontrar la huella ecológica (Wackernagel y Rees, 1996) y la mochila ecológica (Schmidt-Bleek, 2004), que se han centrado en la influencia física de la sociedad sobre la naturaleza basados en la idea de que se puede evaluar la sostenibilidad en términos de la superficie necesaria para producir servicios de los ecosistemas de una persona o un país. Los cálculos se hacen para cinco categorías principales, los consumidores de alimentos, vivienda, transporte, bienes y servicios, considerando el área de la tierra y el agua necesaria para producir todos los bienes y para asimilar los residuos (Narodoslawsky y Krotscheck, 1995; Krotscheck y Narodoslawsky, 1996).

3. Modelos Normativos. Estos modelos tratan de integrar tanto los aspectos ecológicos como los económicos y sociales en niveles equivalentes, mediante la definición de una normativa que permita definir objetivos de sostenibilidad. Las estrategias de implementación resultan ser recomendaciones para el manejo de recursos y su distribución. Los indicadores se obtienen tanto de relaciones causa efecto como de los análisis sistémicos. La ventaja de este procedimiento es su aspecto participativo que permite el intercambio de información entre los actores involucrados incluyendo los especialistas científicos (Kammerbauer, 2001).

Dentro de este grupo podemos encontrar el marco FESLM (Framework of Evaluating Sustainability of Land Management) (Smyth y Dumanski, 1993), dirigido fundamentalmente a la evaluación de la sostenibilidad agraria; el marco MESMIS (Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de recursos naturales mediante Indicadores de Sustentabilidad), para evaluar la sustentabilidad de diferentes sistemas de recursos naturales a escala local (parcela, unidad productiva, comunidad), dirigido a instituciones de investigación, organizaciones no gubernamentales y organizaciones de productores involucradas en el diseño, el desarrollo y la difusión de sistemas de manejo de recursos naturales. El MESMIS se propone como un proceso de análisis y retroalimentación. Se busca evitar que el análisis proporcione simplemente una calificación de los sistemas de manejo en escalas de sustentabilidad (Masera et al., 1999 y Lopez-Ridaura et al., 2005).

A continuación se presenta un análisis de los modelos más significativos:

Dentro del grupo de los modelos analíticos, destaca el Modelo Presión-Estado-Respuesta (PER), desarrollado por la OCDE (1994) a partir del modelo Estrés-Respuesta (Rapport et Friend, 1991) aplicado a los ecosistemas. Posteriormente, UNEP y RIVM (Hardi y Zdan, 1997), añaden la categoría de indicadores de impacto, constituyendo el Modelo Presión-Estado-Impacto-Respuesta (FMPEIR). Estos modelos se describen a continuación:

1. **El modelo de Estrés-Respuesta** (Rapport et Friend, 1991) se desarrolló en Canadá. Este modelo pretende identificar los factores principales de estrés de origen económico-humano y sus impactos ambientales en la biosfera, para ello se establecieron una serie de indicadores representativos de las actividades potencialmente contaminantes y degradantes para controlar las repercusiones medioambientales.

2. **El modelo PER, Presión-Estado-Respuesta**, introducido inicialmente por Adriaanse (1993). El sistema de indicadores desarrollado por Adriaanse fue el primero en ser lanzado al debate internacional, respondiendo a los objetivos de la política ambiental del gobierno holandés (Adriaanse 1993 en Gavino 2009). Posteriormente el modelo PER fue el establecido por la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE) (OCDE, 1991, 1994). Este modelo está basado en el principio de causalidad directa que ya había sido desarrollado anteriormente por el modelo stress-response y es introducido con fuerza en el conjunto de países de la OCDE al haber constituido el modelo de desarrollo de indicadores ambientales de ese organismo internacional. Se basa en el concepto de que las actividades humanas ejercen una presión sobre el medio ambiente, presión que puede provocar cambios en su estado y finalmente la sociedad responde con medidas o acciones para reducir o prevenir el impacto mediante políticas medioambientales, macroeconómicas y sectoriales, para hacer frente a las consecuencias negativas de las presiones ejercidas (Fernandez et al, 2005).

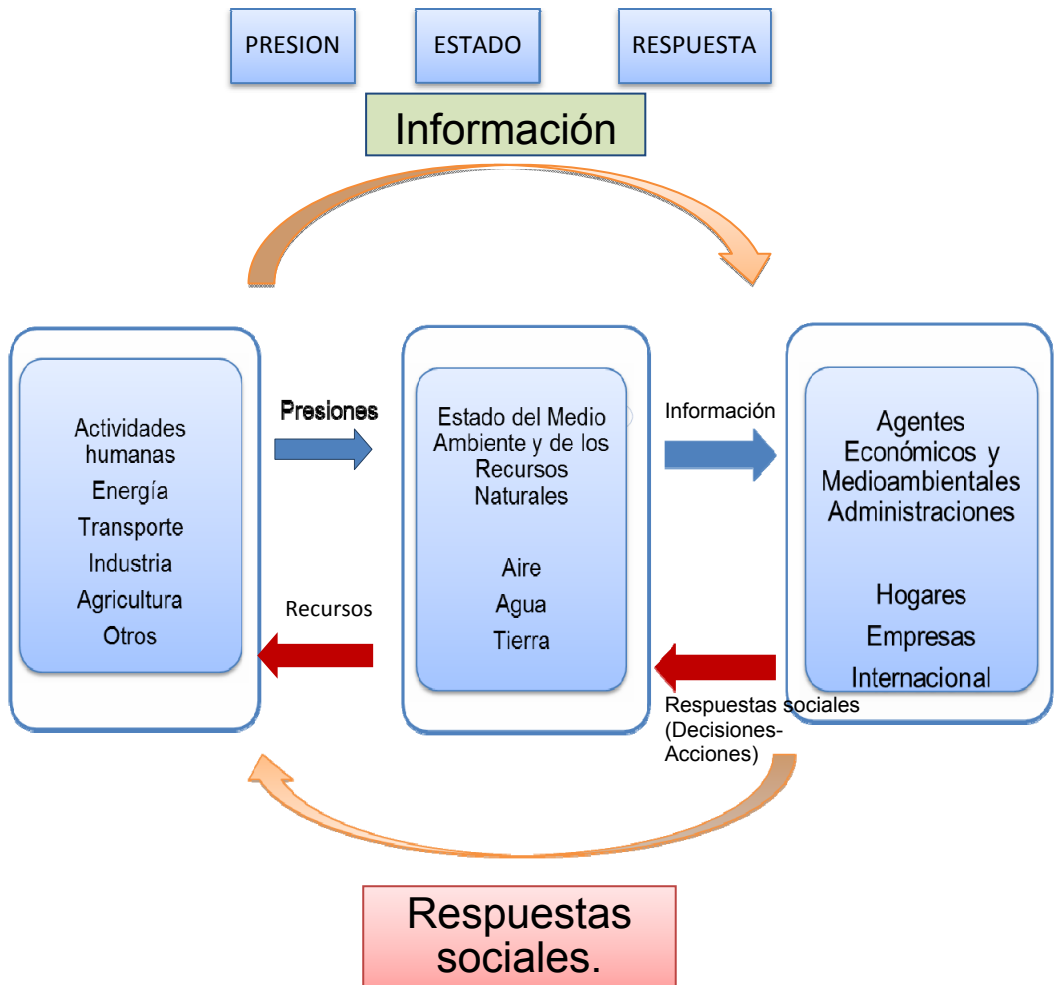


Figura 3.1 Esquema del modelo PER a partir de esquema desarrollado por la OCDE (elaboración propia).

“El hecho de que las actividades humanas ejercen presiones sobre el medio ambiente crea a su vez una presión hacia las actividades humanas generándose un bucle. En términos generales, estos pasos forman parte de un ciclo de política ambiental que incluye la percepción del problema, la formulación de políticas y el seguimiento y evaluación de las mismas” (OCDE, 1994) (Rueda et al. 1999).

Desde esta perspectiva, los indicadores ambientales se pueden clasificar de la siguiente manera:

- **Indicadores de Presión:** reflejan presiones sobre el medio directas (ej. las emisiones de CO₂) o indirectas (ej. crecimiento de la población), incluyen aspectos tales como:
 - Las características físicas, químicas y biológicas del entorno.
 - La condición del ecosistema y de las funciones ecológicas del medio natural.
 - La calidad de vida de la población.

- **Indicadores de Estado del medio ambiente:** describen la calidad del medio (flora, fauna, suelo, aire y agua) y de los recursos naturales asociados a procesos de explotación socioeconómica. El estado se refiere a la condición del medio ambiente que resulta de las presiones anteriormente descritas, y el deterioro que en ellos generan las diferentes actividades humanas, los niveles de contaminación del aire, degradación de la tierra o deforestación. Los indicadores de estado deberían ser diseñados para responder a las presiones y al mismo tiempo facilitar acciones correctivas. Estos indicadores integran los impactos medioambientales de índole general.
Según la clasificación hecha por la ISO 14031, se podrían diferenciar los dos tipos siguientes:
 - Indicadores de gestión medioambiental, que se refieren a los esfuerzos de gestión para facilitar la infraestructura necesaria, tales como formación, requisitos legales, asignación y utilización eficiente de recursos.
 - Indicadores de rendimiento medioambiental, que se centran en la planificación, control y seguimiento del impacto medioambiental y que a su vez se subdividen en dos grupos
 - Indicadores de materiales y energía
 - Indicadores de infraestructura y transportes

- **Indicadores de Respuesta:** Estos indicadores dan información de cómo la sociedad responde a los problemas, indican el nivel de esfuerzo social y político en materia ambiental y de recursos naturales. Las respuestas están referidas a acciones individuales y colectivas dirigidas a mitigar, adaptar o prevenir los impactos negativos, es decir, el componente de respuesta del marco de referencia PER está relacionado con las acciones tomadas por la sociedad, individual o colectivamente, que son diseñadas para facilitar o prevenir impactos medioambientales negativos con el fin de corregir el daño existente o de conservar los recursos naturales. Las respuestas deberían estar diseñadas para actuar sobre las presiones, pero pueden al mismo tiempo tener un impacto modificador en los indicadores de estado (Quevedo, 2008).

Los indicadores de respuesta están dando información acerca de cómo se comporta el medio, si no se produce una mejora será necesario modificar los factores de presión y reorientar las políticas económicas y medioambientales (OCDE, 1994).

Estos indicadores pueden considerarse de presión ambiental cuando se refieren a las respuestas sociales sobre las presiones ambientales.

- **El modelo PEIR, presión-estado-impacto-respuesta.** Este modelo utilizado por UNEP y TIVM (Hardi y Zdan, 1997) consiste básicamente en añadir al modelo PER la categoría de impacto ambiental. En el modelo PEIR, se considera el impacto ambiental como cualquier efecto causado por alteraciones del estado del medio ambiente que afecta al ecosistema o la salud de la población humana, al incorporar indicadores del impacto ambiental sobre la vida social, el modelo llamado presión-estado-impacto-respuesta (PEIR) supone un avance conceptual significativo con respecto del PER, que se limita a considerar el estado de los recursos ambientales (Schütz, 2008). El modelo FPEIR supone una interacción de presión y de respuesta entre el sistema socioeconómico y el sistema ambiental. Los indicadores económicos y sociales pertenecen a la categoría de presión, los indicadores ambientales y de recursos naturales representan la categoría de estado. Se produce una interacción de impacto-efecto entre el ambiente y los recursos (Quevedo, 2008).
- **El modelo FMPEIR Fuerza Motriz-Presión-Estado-Impacto-Respuesta.** El Modelo PER se ha visto también superado por otro modelo de análisis en apariencia más complejo, que ha sido desarrollado por la Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA⁶ 2000) y la Oficina Estadística Europea (Eurostat, 1997); se trata del modelo **FMPEIR:** Fuerza Motriz-Presión-Estado-Impacto-Respuesta para incluir fuerzas motrices e impactos. Este modelo se fundamenta en una evolución secuencial en la que el desarrollo social y económico origina presiones en el medio, que dan lugar a una serie de cambios en el estado del medio ambiente que producen impactos sobre la disponibilidad de recursos, los ecosistemas naturales, la salud, etc. A consecuencia de estos impactos, se producen una serie de respuestas por parte de los agentes sociales y los poderes públicos destinadas a mejorar la gestión económica y social, a eliminar o reducir esas presiones, a restaurar y recuperar el estado del medio y las alteraciones derivadas de los impactos (Aguirre, 2002).

La huella ecológica (Wackernagel y Rees, 1996). La huella ecológica se define como el uso de espacio ambiental (nacional, regional o per cápita) necesario para producir y sostener los niveles de vida que existen en determinadas sociedades, en relación a las capacidades de carga de los ecosistemas relevantes. Este índice se basa en la idea de que se puede evaluar la sostenibilidad en términos de la superficie necesaria para producir servicios de los ecosistemas de una persona o un país.

⁶ AEMA es un órgano descentralizado agencia de la Unión europea (UE), publica periódicamente un informe sobre indicadores del estado del medio ambiente en 'Señales medioambientales "Europa y también ha comenzado a desarrollar el sector indicadores relacionados

Se podría decir que, la huella ecológica como indicador, permite comprobar aspectos que los indicadores nacionales normalmente no muestran. En este caso, la diferencia entre la huella ecológica y el espacio territorial correspondiente a la frontera del país o territorio en cuestión, es una medición que indica la importación de espacio ambiental desde otros territorios.

Los autores han contado en términos territoriales el consumo directo de energía fósil y el contenido energético de los artículos de consumo, incorporando a sus cálculos el área necesaria de bosque, para absorber las emisiones típicas de los combustibles fósiles.

- **El modelo FESLM**

Este modelo internacional para la Evaluación de Manejo Sostenible de Tierras (FESLM) está estrechamente relacionado con el-estado-respuesta marco de presión para la información ambiental. El FESLM proporciona un marco práctico que conecta todos los aspectos del uso de la tierra objeto de la investigación con las condiciones que interactúan en el medio natural, la economía, la cultural y política social (Dumanski et al. 1991b). Sirve como una herramienta para identificar qué sistemas son los sistemas sostenibles y cuáles no, mediante la presentación de una lista de variables y factores. Estos pueden ser usados para evaluar sistemáticamente la sostenibilidad de una amplia gama de sistemas agroecológicos.

A continuación se analiza el estado del arte de los sistemas de indicadores de sostenibilidad existentes.

3.3 Evolución y desarrollo de los sistemas de indicadores

En el proceso de generación y aplicación de los sistemas de indicadores pueden identificarse sistemas de primera, segunda, y tercera generación. Los primeros, desarrollan y comunican indicadores ambientales, incluyendo la aproximación por medios (aire, agua, tierra y biodiversidad), por objetivos (acordes con mandatos legales) y por sectores (transporte, turismo, industria, etc.). Posteriormente en los sistemas de segunda y, actualmente, en los de tercera generación, el desarrollo y la comunicación se basan en la creación de nuevos índices que sintetizan de forma práctica la información del desarrollo sostenible (Gallopín, 2006).

3.3.1 Sistemas de Indicadores Ambientales de primera generación

En 1987 se creó la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el desarrollo de Naciones Unidas, con el fin de analizar la problemática ambiental del planeta. Las conclusiones de este estudio dieron lugar al informe “Nuestro Futuro Común”, donde se recoge el término de Desarrollo Sostenible, que marca las pautas de actuación en materia medioambiental hasta nuestros días.

La OCDE, con el apoyo de sus países miembros, ha sido un pionero en el campo de la creación de indicadores ambientales, a través del Programa de Análisis de Resultados Medioambientales, creó un programa específico sobre indicadores medioambientales;

Capítulo 3. LOS INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD, SISTEMAS DE EVALUACIÓN MEDIOAMBIENTAL

con indicadores generales referidos al cambio climático, destrucción de la capa de ozono, eutrofización, acidificación, etc.

El trabajo condujo a la publicación “OCDE Core Set of Environmental Indicators” en 1993, en donde se presentaron 48 indicadores estructurados bajo el marco PER.

Los objetivos de los indicadores ambientales que inicialmente planteó la OCDE fueron evaluar el progreso ambiental, integrar mejor las preocupaciones ambientales en las políticas sectoriales y en la política económica. Los criterios básicos de selección de los indicadores fueron la relevancia política, la capacidad analítica y facilidad de seguimiento y evaluación (OCDE, 1998) (documento (C98) 67/FINAL, «Recomendaciones del Consejo en información ambiental» adoptado el 3 abril de 1998).

Capítulo 3. LOS INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD, SISTEMAS DE EVALUACIÓN MEDIOAMBIENTAL

TEMA	PRESIÓN	ESTADO	RESPUESTA
Cambio climático	Emisiones de CO ₂ y de gases efecto invernadero	Concentraciones atmosféricas de gases efecto invernadero. Temperatura media global	Eficiencia energética Intensidad energética Instrumentos económicos y fiscales
Destrucción capa de ozono	Consumo de sustancias que destruyen la capa de ozono	Concentraciones de sustancias que destruyen la capa de ozono Niveles de radiación UV-B	Tasas de recuperación de CFC
Eutrofización	Emisiones de nitratos y fosfatos en agua y suelo	Concentración de Nitratos y Fosfatos en aguas	% de población conectada a plantas de tratamientos de aguas residuales. Tasas por tratamiento de aguas residuales
Acidificación	Índice de sustancias acidificantes. Emisiones de SO _x y NO _x	Excedentes de pH en aguas y suelos. Concentraciones en la lluvia ácida.	% de vehículos con catalizadores. Capacidad de los equipos para la reducción del SO _x y NO _x
Contaminación tóxica	Emisiones de metales pesados Otras emisiones	Concentración de metales pesados en ecosistemas y organismos	Cambios de contenidos tóxicos en los productos. Cuota de mercado de gasolina sin plomo
Calidad del medio urbano	Emisiones al aire de SO _x NO _x . Densidad de la circulación	Población expuesta a polución. Ruido. Calidad del agua de lluvia.	Espacios verdes. Gasto en tratamiento de aguas residuales.
Biodiversidad/paisaje	Alteración del hábitat	Especies amenazadas en proporción a las especies conocidas	% zonas protegidas sobre el total del territorio
Residuos	Generación de residuos		Minimación de residuos. Tasas de reciclaje.
Recursos naturales	Intensidad del uso de recursos. Capacidad productiva actual. Cambios de uso de la tierra	Frecuencia, duración y extensión de periodos de escasez de agua. Área, volumen y estructura de los bosques	Precios de agua y tasas por tratamiento de aguas residuales. Gestión y protección de áreas residuales.
Indicadores generales	Crecimiento y densidad demográfica. Gasto final en consumo privado. Producción agraria	No aplicable	Gastos medioambientales. Gasto en control y reducción de la contaminación.

Tabla 3.1 Los 48 indicadores estructurados bajo el marco PER. Publicados en "OCDE Core Set of Environmental Indicators" en 1993.

La mayoría de los países utilizaron el marco ordenador **Presión - Estado - Respuesta (PER)** o **Fuerza Motriz - Estado - Respuesta (FER)**, originalmente recomendado por la OCDE y posteriormente adoptado por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). En menor medida, algunos países e iniciativas ordenaron sus indicadores en marcos nuevos de acuerdo a sus necesidades.

Capítulo 3. LOS INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD, SISTEMAS DE EVALUACIÓN MEDIOAMBIENTAL

El sistema PER también se utilizó desde 1995 en la mayoría de los trabajos sobre indicadores medioambientales de Naciones Unidas (UNCSD, 1996). En 1995, la comisión de las Naciones Unidas sobre el desarrollo Sostenible (CDS⁷) sustituyó el término “presión” por “fuerza motriz o impulso”, para extender la dimensión ecológica a los indicadores sociales, económicos e institucionales, desarrollando una primera lista de 134 indicadores con el objetivo de poder ser utilizados por los países en su toma de decisiones y para permitir comparaciones internacionales. Inicialmente, se utilizó una modificación del modelo PSR sustituyendo el concepto de presión para conducir las fuerzas y ampliándolo para incluir cuestiones no sólo ambientales sino también sociales, económicas e institucionales, a raíz de los capítulos pertinentes del Programa 21 (CDS, 1996).

La AEMA⁸ utilizó el marco ordenador FPEIR y estableció indicadores básicos que abarcaban seis temas medioambientales (contaminación atmosférica y agotamiento del ozono, cambio climático, residuos, agua, biodiversidad y medio terrestre) y cuatro sectores (agricultura, energía, transporte y pesca) sin desarrollar indicadores sociales ni de salud. Los informes anuales se publican a través de los informes «Environmental Signals», y se caracterizan por utilizar un lenguaje no técnico, para abarcar una mayor audiencia. La Agencia Europea de Medio Ambiente publica periódicamente un informe sobre indicadores del estado del medio ambiente. Dado que el número de indicadores es grande, ha propuesto un conjunto de doce indicadores principales dirigidos a los tomadores de decisiones y el público en general, que se indican a continuación:

1. Calentamiento Global (kg eq. CO₂)
2. Reducción de la capa de Ozono. kg eq. CFC-11
3. Ecotoxicidad
4. Toxicidad humana
5. Formación de oxidantes fotoquímicos. kg eq. C₂H₂
6. Eutrofización. kg eq. de NO₃
7. Acidificación. kg eq SO₂
8. Consumo de recursos energéticos. MJ
9. Consumo de materias primas. Tm
10. Ruido y olores
11. Residuos T/m² ó kg/m²

Cada uno de los indicadores se presentaba mediante gráficos o mapas incluyendo una ficha con los siguientes campos:

⁷ CDS Comisión sobre Desarrollo Sostenible (CDS) de las Naciones Unidas fue establecida por la Asamblea General de la ONU en diciembre de 1992 con la misión de asegurar el seguimiento efectivo de la Conferencia de Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo de 1992 (realizada en Río de Janeiro, Brasil), también conocida como la “Cumbre de la Tierra”. Es un foro de alto nivel para el desarrollo sostenible dentro del sistema de las Naciones Unidas que alienta y facilita el diálogo entre los responsables políticos en los campos del medioambiente y del desarrollo de distintas naciones, y entre éstos y la sociedad civil.

⁸ AEMA es un órgano descentralizado agencia de la Unión europea (UE), publica periódicamente un informe sobre indicadores del estado del medio ambiente en 'Señales medioambientales "Europa y también ha comenzado a desarrollar el sector indicadores relacionados

Capítulo 3. LOS INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD, SISTEMAS DE EVALUACIÓN MEDIOAMBIENTAL

- Definición del indicador,
- Relevancia para el desarrollo sostenible,
- Situación del indicador (disponibilidad de datos, desagregaciones)
- y valoración de la situación o tendencias.

En 1996, la EUROSTAT⁹ se dedicó a compilar un conjunto de indicadores apoyando el trabajo del Grupo Expertos de la CDS planeándose los siguientes objetivos:

- Mejorar los efectos sobre la salud pública;
- Manejar con más responsabilidad los recursos naturales;
- Mejorar los sistemas de transporte y del uso del suelo;
- Combatir la pobreza y la exclusión social.

En el año 2004 la EEA¹⁰ (EEA, 2004) creó, con el objetivo de contribuir con otras iniciativas de indicadores europeas y mundiales, una serie de indicadores, en el marco DPSIR (fuerza motriz, presión, estado, impacto, respuesta). Estos indicadores fueron clasificados por tipo: (A) Indicadores descriptivos, (B) Indicadores de desempeño, (C) indicadores eco eficientes (D) indicadores de efectividad política (E) indicadores de bienestar y cubrían 6 áreas temáticas (polución del aire y agotamiento de la capa de ozono, cambio climático, residuos, agua, biodiversidad, y medio ambiente terrestre), para 4 sectores económicos (agricultura, energía, transporte, pesca) (EEA, 2004).

Con anterioridad, algunos países habían trabajado en forma más o menos autónoma y proactiva en el desarrollo de sus indicadores, alcanzando notoriedad por la calidad de sus propuestas, tal es el caso de **Canadá y Nueva Zelandia**.

La contribución de **España** fue la siguiente: el Ministerio de Medio Ambiente publicó, en 1996, a través de la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental una propuesta de indicadores de estado medioambiental, basados en el sistema de Presión-Estado-Respuesta (PER), modelo adoptado por los países miembros de la OCDE. Esta propuesta organizaba los indicadores en 4 áreas: agua y suelo (1998); atmósfera y residuos (1999); medio urbano (2000), costas y medio marino (2001). Posteriormente se realizaron unos informes parciales de Biodiversidad y Bosques (1996), Agua y Suelo (1998); Atmósfera y residuos (1999), Costas y medio marino (2001), Turismo (2003)

A partir del año 2000, se inició la selección de un grupo de indicadores que sirviese de base para elaborar un informe sobre el estado del medio ambiente. El trabajo se desarrolló junto al grupo de usuarios de la Red EIONET¹¹. A esta selección de

⁹ EUROSTAT es la oficina de estadística de la Unión Europea situada en Luxemburgo. Su misión es proporcionar estadísticas a nivel europeo que permitan comparaciones entre países y regiones.

¹⁰ La EEA, Agencia Europea del Medio Ambiente inicia sus trabajos en el año 1994, con el objeto de proveer a los estados miembros de la UE, de información confiable y comparable del estado, presiones y sensibilidades del medio ambiente y auspiciar el desarrollo de indicadores.

¹¹ EIONET es la Red Europea de Información y Observación del Medio Ambiente, de la Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA). Está conformada por Centros Temáticos Europeos (CTE), Puntos Focales Nacionales (PFN) y Principales Elementos Componentes de las redes nacionales de información (PEC), constituidos por Centros Nacionales de Referencia (CNR), Puntos Focales Autonómicos (PFA) y otras Instituciones.

indicadores se le llamó “Tronco común”, y fue presentada por primera vez en el Informe Perfil Ambiental de España 2004.

Durante el VII Congreso Nacional de Medio Ambiente (CONAMA, 2004), se profundizó en la definición de indicadores de sostenibilidad, planteando un enfoque más allá de la minoración de impactos, intentando llegar a un concepto más amplio de sostenibilidad (Arce et al., 2004).

3.3.2 Sistemas de Indicadores Ambientales de segunda generación

Su utilización empezó en la década de los noventa, mediante el desarrollo de sistemas a nivel de algunos países, destacando las iniciativas realizadas por México, Chile, Estados Unidos, Reino Unido, España (OSE¹², 2005 y 2006), etc., incorporando un enfoque multidimensional (económico, ambiental y social) del desarrollo sostenible. El desarrollo de estos sistemas ha sido liderado por la Comisión de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas (Sotelo, 2011).

El Sistema de Indicadores de la Comisión de Desarrollo Sostenible-Naciones Unidas, inicialmente utilizó el marco FER para desarrollar un listado de Indicadores de Sostenibilidad, por hojas metodológicas, que fueron publicados en 2001 en el libro *Indicators of Sustainable Development*, también conocido como «Libro azul de los indicadores» (OCDE, 2001). En el año 2006, el Grupo de Expertos en Indicadores de Sostenibilidad publicó un listado de 96 indicadores agrupados en los siguientes 14 temas (Naciones Unidas, 2006; CSD, 2006b; CSD, 2007):

- 1.Producto Interior Bruto (PIB) per cápita.
- 2.Productividad del trabajo.
- 3.Tasa de empleo.
- 4.Tasa de empleo de trabajadores de edad.
- 5.Gasto en Recursos Humanos.
- 6.Gasto en I+D.
- 7.Gasto en TI.
- 8.Integración de los mercados financieros.
- 9.Tasa de riesgo de pobreza.
- 10.Tasa de paro de larga duración.
- 11.Tasa de dispersión regional del empleo.
- 12.Emisiones de gases de efecto invernadero.
- 13.Intensidad energética de la economía.
- 14.Intensidad en transporte de la economía.

3.3.3 Sistemas de Indicadores Ambientales de tercera generación

La necesidad de vincular las dimensiones del desarrollo sostenible y de sus indicadores entre sí, generó sistemas de indicadores de tercera generación, destacándose las iniciativas realizadas por la Unión Europea, a través del Grupo de Trabajo sobre Indicadores de Desarrollo Sostenible, y su adaptación en España por parte del Observatorio de la Sostenibilidad en España (OSE).

¹² OSE El Observatorio de la Sostenibilidad en España es un proyecto creado por convenio entre el Ministerio de Medio Ambiente, la Fundación General de la Universidad de Alcalá y la Fundación Biodiversidad que tiene por objetivo suministrar periódicamente información sobre la situación y perspectivas en materia de Desarrollo Sostenible en España.

Capítulo 3. LOS INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD, SISTEMAS DE EVALUACIÓN MEDIOAMBIENTAL

La Unión Europea publicó en 2001 la primera Estrategia de Desarrollo Sostenible con una lista de 63 indicadores adoptada por el European Council en Gothenburgo. En esta estrategia renovada en 2006, se desarrolla un sistema de indicadores de tercera generación, que se agrupan en los siguientes temas:

1. Desarrollo socioeconómico.
2. Consumo y producción sostenibles
3. Inclusión social.
4. Cambio demográficos.
5. Salud pública
6. Cambio climático y energía
7. Transporte sostenible
8. Recursos naturales
9. Compromiso mundial
10. Gobernanza

El Observatorio de la Sostenibilidad en España (OSE) ha publicado tres informes (2005, 2006 y 2007) que pretenden evaluar los procesos de sostenibilidad del desarrollo en España. En el año 2005 el OSE publicó un primer informe de ámbito nacional basado en el empleo de indicadores ambientales, utilizando indicadores reconocidos a escala internacional, adecuados a las exigencias a España.

El enfoque metodológico se basaba en seleccionar indicadores considerados relevantes por instituciones significativas como la AEMA, la OCDE y la CDS y presenta 55 indicadores distribuidos en 3 dimensiones del desarrollo sostenible incluyendo 14 indicadores titulares de la Unión Europea, y algunos indicadores troncales de la AEMA.

Uno de los campos de los indicadores es el de relevancia, que hace referencia a la función del indicador dentro de los esquemas de causa efecto, en particular los indicadores ambientales son analizados bajo el esquema FPEIR.

En el año 2006 el OSE publicó un segundo informe basado en el empleo de indicadores ambientales que mantenía la estructura y marco conceptual de la edición anterior. El segundo informe analizaba en España, los procesos bajo el marco del desarrollo Sostenible consensuado por la Unión Europa, analizando en cada caso las tendencias o cambios producidos con respecto a la información ofrecida por los indicadores en la edición anterior. En este segundo informe el número de indicadores se incrementó a 88, y se sumaba al análisis nacional, la escala regional; estando muchos de los indicadores desagregados por Comunidades Autónomas.

En el informe del 2007, el OSE adaptó a la realidad española, el marco temático de la UE, compuesto por diez áreas temáticas, añadiendo el área de Cultura y Desarrollo sostenible.

Los tres informes han mantenido la siguiente estructura de presentación:

Primero el objeto y metodología del informe, donde se analiza la sostenibilidad a nivel mundial, comunitario y nacional. Después viene la evaluación integrada, que contiene las conclusiones generales obtenidas del proceso de análisis de los indicadores.

El marco de referencia, incluido en los informes de los años 2005 y 2006 identificaba las principales características del entorno físico y ambiental, junto con la estructura económica de los sectores productivos y la estructura administrativa de España, desapareciendo en los informes del 2007. A nivel de las CCAA, la Sociedad Pública de

Gestión Ambiental del Gobierno Vasco, publicó la Guía de Indicadores Medioambientales para la Empresa, que es una traducción de un trabajo realizado en Alemania y completado con ejemplos de la industria vasca (IHOBE, 2009).

La Generalitat de Cataluña, a través del Departamento de Medio Ambiente, ha elaborado unas Orientaciones sobre la Selección y el Uso de Indicadores de Comportamiento Medioambiental, tomando como base el Reglamento EMAS II (EMAS, 2001).

El Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, se ha propuesto llegar a definir un tronco común de indicadores ambientales y sectoriales, consensado con todas las Comunidades Autónomas tratando así de satisfacer la necesidad de coordinación, homologación y comparabilidad, estableciendo para ello dos áreas, una para indicadores ambientales y otra para indicadores sectoriales o socio-económicos

Se ha procurado disponer de indicadores de presión, estado y respuesta, para las áreas contempladas, intentando reducir al máximo el número de indicadores propuestos, con el fin de configurar un documento sintético. El Perfil Ambiental de España (2011) contiene 16 capítulos que cubren las principales áreas ambientales y sectores económicos, descritos mediante un total de 68 indicadores.

3.3.3.1 El Banco Público de Indicadores Ambientales (BPIA)

El Banco Público de Indicadores Ambientales (BPIA) es un proyecto de elaboración y difusión de la información ambiental del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, accesible a través de la web, que permite disponer de un modo muy intuitivo y ágil de los principales datos sobre el medio ambiente.

Los indicadores se presentan en un formato ilustrado con gráficos, a los que acompañan definiciones y notas que los hacen asequibles para un público muy amplio. Urbano y Desastres Naturales y Tecnológicos. La selección de los indicadores ha sido realizada en el contexto de la Red EIONET, cuyo Punto Focal Nacional reside en la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental y Medio Natural.

Su carácter público radica en su intención de ser útil a todas las personas, colectivos u organismos que precisen acceder a la mejor información ambiental disponible, para lo cual se ha elegido como modo de difusión la web del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Además, hay que destacar el carácter colectivo y consensado del trabajo de selección en el contexto de la Red EIONET (Red Europea de Información y Observación del Medio Ambiente) cuyo Punto Focal Nacional es la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental y Medio Natural.

BPIA es un proyecto abierto. Los indicadores ambientales se estructuran dentro de un sistema dividido en 14 áreas, que ofrecen un abanico muy amplio de asuntos relacionados con la conservación del medio ambiente y permiten ver su evolución en el tiempo: aire, agua, suelo, naturaleza y biodiversidad, residuos, agricultura, energía, industria, pesca, turismo, transporte, hogares y medio. El número de indicadores puede ampliarse, igual que el número de indicadores que integran cada una de ellas. A medida que se calculan y actualizan los indicadores con la información más reciente, éstos se van incorporando a los diferentes capítulos.

La tabla 3.2 muestra los indicadores BPIA agrupados por áreas.

Capítulo 3. LOS INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD, SISTEMAS DE EVALUACIÓN MEDIOAMBIENTAL

Áreas	Indicadores ambientales (BPIA)
Aire	1. Emisiones a la atmósfera de Gases de Efecto Invernadero 2. Emisiones a la atmósfera de gases acidificantes eutrofizantes y precursores del ozono troposférico 3. Emisión de partículas 4. Calidad del aire de fondo regional en España para protección de la vegetación: SO ₂ y NO ₂ y ozono
Agua	5. Consumo de agua 6. Contaminación por nitratos en las aguas subterráneas 7. Recursos hídricos naturales 8. Contaminación orgánica en los ríos 9. Tratamiento de aguas residuales urbanas 10. Calidad de las aguas de baño litorales
Suelo	11. Cambios en la ocupación del suelo: superficies artificiales 12. Superficie de suelo afectado por erosión
Costas y medio marino	13. Aguas de baño marinas 14. Caracterización del litoral 15. Costa deslindada
Naturaleza y biodiversidad	16. Espacios naturales protegidos 17. Defoliación de las masas forestales 18. Superficies de bosques y otras formaciones forestales 19. Tendencias de las poblaciones de aves comunes 20. Vigilancia ambiental 21. Material forestal de reproducción
Residuos	22. Generación de residuos urbanos 23. Gestión de residuos urbanos vertido e incineración 24. Reciclado y valorización de residuos de envases 25. Reciclaje de papel-cartón
Agricultura	26. Consumo de fertilizantes 27. Consumo de productos fitosanitarios 28. Agricultura ecológica 29. Ganadería ecológica
Energía	30. Intensidad de energía primaria 31. Intensidad de emisiones de CO ₂ de origen energético 32. Energías renovables 33. Eficiencia ambiental del sector energético
Industria	34. Emisiones a la atmósfera procedentes del sector industrial 35. Consumo de energía en el sector industrial 36. Generación de residuos por el sector industrial 37. Empresas industriales con Sistema de Gestión Ambiental 38. Eficiencia ambiental en la industria
Pesca	39. Número de buques y capacidad de la flota pesquera 40. Capturas de la flota pesquera en aguas adyacentes 41. Producción de acuicultura marina 42. Ecoeficiencia en el sector pesquero y de la acuicultura marina
Turismo	43. Evolución de las principales variantes de turismo en España 44. Número de turistas extranjeros por habitante 45. Número de visitantes en los Parques Nacionales 46. Población turística equivalente (PTE) en las zonas con mayor número de pernnoctaciones 47. Turismo rural: Alojamientos, plazas, turistas y pernnoctaciones 48. Rendimiento del sector en términos de VAB y empleo
Transporte	49. Volumen total del transporte: distribución modal 50. Emisiones de contaminantes a la atmósfera procedentes del transporte 51. Número de turistas extranjeros por habitante 52. Turistas extranjeros por kilómetro de costa
Hogares	53. Número de turismo por hogar 54. Consumo de energía por hogar 55. Consumo de agua por hogar 56. Renta disponible bruta en los hogares

Tabla 3.2 de los 48 indicadores del Banco Público de Indicadores Ambientales (BPIA).

3.4 Definición de los criterios para la selección de los indicadores de sostenibilidad

Boisvert et al. (1998) definen los indicadores de sostenibilidad como el resultado del compromiso entre el conocimiento científico disponible y las necesidades de información ambiental en la toma de decisiones.

Los criterios existentes para la selección de indicadores son múltiples y muy variados, Los principios de Bellagio se establecieron con la intención de servir de guía para el proceso de evaluación completo, incluyendo la elección y el diseño de los sistemas de indicadores, su interpretación y la comunicación de los resultados (Hardi y Zdan, 1997). Estos principios se agrupan en cuatro aspectos: el primero define la necesidad de marcar los objetivos, los principios 2 a 5 establecen un enfoque práctico sobre las cuestiones prioritarias actuales en una perspectiva holística y los elementos esenciales. Los principios 6 a 8 fijan cuestiones clave relativas al proceso de evaluación, comunicación y participación. Los principios 9 y 10 se refieren a la necesidad de establecer una capacidad permanente para la evaluación.

A continuación se describen algunas de las principales características que debe tener un buen indicador y que diferentes autores han ido incluyendo como criterios de selección. (EPA, 1995; Rump, 1995).

- Validez científica: debe estar basado en un conocimiento bien fundamentado del sistema descrito.
- Representativo: la información que contenga debe ser representativa de todo el sistema.
- Ser sensible a cambios: debe señalar los cambios de tendencia en el medio ambiente y las actividades relacionadas con éste, a medio y corto plazo.
- Fiable: los datos que éste nos proporcione deben ser seguros y de buena calidad.
- Relevante: la información que de él se obtenga, debe ser lo más significativa para quienes los utilicen.
- Comprensible: debe ser simple, claro y de fácil comprensión tanto para los especialistas en el tema como para los que no lo son.
- Predictivo: de acuerdo con la información que nos proporcione, debe tener la capacidad de prever futuras tendencias, positivas o negativas en cualquier ámbito, ambiental, social o económico.
- Comparable: la información que proporciona debe permitir ser comparada con otra, de cualquier otro lugar.
- Coste-Eficiencia: debe ser administrativamente eficiente, en términos de coste obtención de datos y uso de la información.
- Relación con los objetivos: definido de acuerdo con los objetivos para los que se va a aplicar.
- Integratividad: debe tener una respuesta conjunta a diferentes factores.

A continuación se analizan distintos conjuntos de criterios para seleccionar los indicadores en esta tesis:

Capítulo 3. LOS INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD, SISTEMAS DE EVALUACIÓN MEDIOAMBIENTAL

Los indicadores de BPIA son seleccionados en base a los siguientes criterios:

- Que sean relevantes para el conocimiento del medio ambiente en España y que contribuyan al incremento de la conciencia ambiental de la sociedad española.
- Que los datos para elaborarlos estén disponibles, ya sea en fuentes oficiales o, en su defecto, en otros organismos, instituciones, asociaciones, etc., cuyo prestigio en el ámbito de que se trate esté reconocido públicamente
- Que puedan ser actualizados regularmente conforme a sus características de periodicidad y siempre que la carga de trabajo que ello represente sea razonable.
- Que sean fácilmente interpretables, susceptibles de ser comprendidos por la gran mayoría de la población.

Los criterios específicos que pueden ser usados para la selección final de los indicadores (Gómez, 2004) son:

- Criterios adecuados en relación con las metodologías de evaluación, estos criterios deben basarse en la relación de la utilidad de los indicadores seleccionados con la metodología de evaluación que se pretende usar.
- Criterios en relación a los sistemas límite, estos sistemas se refieren al alcance en la búsqueda de la información, es decir, geografía, tiempo, disponibilidad de la información a corto o largo plazo.
- Criterios en relación a las tareas que deben realizar, este concepto se refiere a que los indicadores deben ser específicos para cada tarea asignada, no deben ser redundantes, siendo que para un único problema no se utilice más de un indicador, o si se utiliza, se puedan agrupar y formar un índice, y al final sea considerado como uno solo.
- Criterios relacionados con la disponibilidad de datos, se refiere a que la información utilizada en la elaboración de los indicadores sea de un ámbito intergeográfico, y que tenga disponibilidad en una serie de tiempo determinado.
- Criterios relacionados con el tipo de infraestructura a construir, es decir, que independientemente de que las autoridades locales cuenten con una lista básica de indicadores, para cualquier tipo de infraestructuras, éstos deberían ser capaces de complementarla con otros.

Es fundamental, que los indicadores estén estrechamente relacionados con algunos requisitos de sustentabilidad y viceversa: no puede haber algún requisito de sustentabilidad que luego no se traduzca en un indicador (Sarandon, 2002)

También pueden presentarse problemas con el uso la ambigüedad en cuanto al significado, escasez de datos, fuentes heterogéneas, carácter desagregado de los indicadores sociales, problemas de escala en la toma de decisiones (Zarzosa, 1996); o problemas de escala entre la dimensión del objeto y la toma de decisiones (Wilson et al, 1999).

3.5 Los indicadores de sostenibilidad en el análisis de ciclo de vida (ACV)

El análisis de ciclo de vida (ACV) pretende evaluar los impactos ambientales causados durante todas las etapas del ciclo de vida de un producto, proceso o actividad, teniendo en cuenta las etapas de extracción y procesamiento de materias primas, así como, la producción, transporte, distribución, uso, mantenimiento y reciclado. En el proceso de ACV se establecerá una relación causa-efecto entre el consumo de materias primas, generación de residuos y emisiones del sistema cuyo análisis se pretende realizar. Mediante el ACV, la composición y las cantidades de contaminantes generados y de recursos consumidos pueden valorarse en términos de impactos potenciales al medio ambiente.

3.5.1 Normativa específica en materia de sostenibilidad referente a los aspectos técnicos del ACV

En la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo llevada a cabo en Río de Janeiro en 1992, se consideró que era responsabilidad de cada país definir criterios de control medioambiental de acuerdo con su realidad interna teniendo en cuenta cuestiones como los niveles de contaminantes, evaluaciones de riesgos para el ambiente y la salud, y especificaciones tecnológicas para productos y procesos (Rieznik, 2005). El debate acerca de la necesidad de establecer normas internacionales dedicadas exclusivamente al medio ambiente, culminó con la formación del SAGE (Strategic Advisory Group on the Environment) que consistió en un panel de expertos de los países miembros, formado conjuntamente por las dos organizaciones internacionales de formación de normas, ISO (International Standard Organization) y IEC (International Electrotechnical Commission).

Como resultado del trabajo del SAGE, en enero de 1993, la ISO creó el Comité Técnico 207, encargado del desarrollo de normas sobre Sistemas de Gestión Ambiental (SGA), que incluyen un amplio rango de disciplinas ambientales. Estas normas están agrupadas en la ISO 14000, que en conjunto constituyen un sistema de gestión ambiental y los procedimientos de auditoría necesarios para su verificación.

Las Normas ISO de gestión ambiental que hacen referencia a los aspectos técnicos y de organización para el desarrollo de un estudio de Análisis de Ciclo de Vida son las siguientes:

- ISO 14040*, (1997): Esta Norma define el ACV como una técnica para determinar los aspectos ambientales e impactos potenciales asociados a un producto. Así mismo, establece los principios y la estructura del ACV mediante la compilación de un inventario de las entradas y salidas relevantes del sistema; la evaluación de los impactos ambientales potenciales asociados a esas entradas y salidas y la interpretación de los resultados de las fases de inventario e impacto en relación con los objetivos del estudio y siguiendo los pasos establecidos en la Normativa. Existen multitud de categorías de impacto ambiental, el primer paso dentro del marco del ACV es la selección de categorías de impacto ambiental a tener en cuenta en el estudio (Vallejo, 2004).

Capítulo 3. LOS INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD, SISTEMAS DE EVALUACIÓN MEDIOAMBIENTAL

- ISO 14044*, (2006). La Norma Internacional ISO 14044 fue preparada por el Comité Técnico ISO/TC 207, Gestión ambiental, Subcomité SC 5, Análisis del ciclo de vida.

*La Norma ISO 14044:2006, junto con la Norma ISO 14040:2006, anulan y reemplazan a las Normas ISO 14040:1997, ISO 14041:1998, ISO 14042:2000 e ISO 14043:2000

Algunos documentos técnicos para ayudar a la elaboración de estudios de ACV son:

- ISO/TR 14047: Norma sobre Gestión Ambiental – Análisis de Ciclo de Vida – Ejemplos de aplicación de la ISO 14042 (2003).
- ISO/TS 14048: Norma sobre Gestión Ambiental – Análisis de Ciclo de Vida – Normalización de datos del inventario e información para una evaluación de ciclo de vida (2002).
- ISO/TR 14049: Norma de Gestión Ambiental – Análisis de Ciclo de Vida – Esta norma proporciona ejemplos de aplicación de la norma ISO 14041 para llevar a cabo un Análisis de Inventario (2000).
- Normas ISO que regulan el etiquetado ambiental
- ISO 14020, Norma sobre etiquetado ambiental- Conjunto de herramientas voluntarias que intentan estimular la demanda de productos y servicios con menores cargas ambientales ofreciendo información relevante sobre su ciclo de vida para satisfacer la demanda de información ambiental por parte de los compradores. Según esta Norma hay tres tipos de etiquetas: Las etiquetas tipo I son un “programa voluntario y multicriterio de certificación que concede etiquetas a aquellos productos medioambientalmente preferibles, frente a otros similares dentro de una misma categoría, y basándose en consideraciones del ciclo de vida”.
- ISO 14021, Norma sobre los requerimientos específicos de las etiquetas ecológicas tipo II. Las etiquetas ecológicas tipo II son autodeclaraciones informativas de aspectos ambientales de los productos realizadas por el fabricante en forma de enunciados, símbolos o gráficos de un producto, componente o envase, y que se encuentran presentes en las etiquetas, manuales técnicos o propagandas.
- ISO 14025, Norma sobre etiquetado ambiental- “Etiquetas y declaraciones ambientales de producto tipo III, EPDs”. Las declaraciones ambientales emplean parámetros basados en la aplicación de etapas de la metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ACV), es decir, ofrece información sobre los impactos ambientales potenciales asociados con el ciclo de vida de un producto.

3.5.2 Introducción al ACV

En el capítulo 5 de esta tesis, se describe con detalle la metodología de ACV y su aplicación en el caso de edificios. En este apartado se comentan brevemente las fases

del ACV que establece la Norma ISO 14044 como introducción al análisis de los principales métodos de evaluación de impactos.

- a) fase de definición del objetivo y el alcance,
 - b) fase de análisis del inventario,
 - c) fase de evaluación del impacto ambiental (EICV),
 - d) fase de interpretación.
-
- a) En la **Definición de objetivos y alcance** se especifican las razones que han llevado a la realización del estudio, la información que se espera obtener y cómo va a usarse. En esta fase se establece el producto a investigar, la unidad funcional, las reglas de asignación de cargas ambientales, las hipótesis consideradas, la calidad de los datos, su ámbito temporal, su ámbito geográfico, la precisión de las fuentes según criterios de temporalidad, etc. También se pueden determinar los tipos de impacto a evaluar (emisiones de CO₂, ruido, vibración, uso del suelo, la radiación, olor, calor residual, etc.), la metodología de evaluación del impacto a emplear, el tipo de revisión crítica para verificar si el estudio ha cumplido con los requisitos de la norma en lo relativo a metodología, la obtención y presentación de datos; el formato del informe final, indicando las hipótesis, las hipótesis planteadas y limitaciones, etc.
 - b) **El Análisis de inventario** es fundamentalmente un balance de energía y materia del sistema. Incluye la recopilación de datos y la realización de los cálculos adecuados para cuantificar las entradas y salidas del sistema. Las entradas son las materias primas (incluyendo la energía) y las salidas son las emisiones (al aire, agua, suelo, etc.) Se determina qué bases de datos de información sobre consumos y recursos que se aplican en cada material se van a consultar (Ecoinvent, Idemat, Boustead, Buwal, Bedec, etc.).
 - c) La **Evaluación del impacto del ciclo de vida (EICV)** tiene la finalidad de interpretar el inventario, analizando y evaluando los impactos producidos por las cargas ambientales identificadas. La estructura de esta fase se compone de tres partes:
 - Clasificación: en esta fase se asignan los datos procedentes del inventario a cada categoría de impacto según el tipo de efecto ambiental esperado.
 - Caracterización: consiste en la modelización, mediante los factores de caracterización, de los datos del inventario para cada una de las categorías de impacto.
 - Valoración: para cada categoría de impacto, por ejemplo acidificación, esta fase precisa de una representación cuantitativa denominada indicador de la categoría, por ejemplo emisión de ácido equivalente.
- La evaluación del impacto se puede llevar a cabo empleando diferentes métodos reconocidos: EPS 2000, CML 2, baseline 2000, EDIP/UMIP 97, EPD 2007, Ecoindicator 95, Ecoindicator 99, IMPACT 2002+, IPCC 2001 GWP (en el apartado 3.6 se describen estas metodologías y se relacionan las categorías de impacto que analiza cada una de estas metodologías).
- d) En la fase de **Interpretación de resultados** se combina la información obtenida en la fase de inventario con la de evaluación de impactos para llegar a conclusiones de acuerdo con los objetivos y el alcance del estudio, entre las que puede encontrarse el camino a seguir para perfeccionar el estudio además

de reflejar los resultados de los análisis de sensibilidad e incertidumbre llevados a cabo durante el estudio. En esta fase se desarrolla la identificación de los asuntos significativos, la evaluación y las conclusiones.

3.5.3 Categorías de Impacto a considerar en un ACV

Según el SETAC¹³ (SETAC, 1993), los Impactos a considerar en un ACV se pueden clasificar en las siguientes categorías:

La 1ª categoría es la relacionada con los consumos o categorías de entrada que se agrupan en tres categorías de daños y que a su vez se subdividen en varias subcategorías (Udo de Haes, 1996)

- Consumo de los recursos bióticos.
- Consumo de recursos abióticos. Esta categoría se subdivide en tres subcategorías
 - Consumo de depósitos (combustibles fósiles, minerales etc.)
 - Consumo de yacimientos (agua subterránea, arena).
 - Consumo de recursos (energía solar, energía eólica, agua).
- Uso del suelo. Esta categoría se subdivide en tres subcategorías
 - Aumento de la productividad del suelo.
 - Degradación de las funciones del suelo.
 - Degradación de la biodiversidad.

Las segundas se corresponden con las categorías de salida que son las que están relacionadas con las emisiones y que se agrupan en dos categorías de daños.

- Cambio climático
- Agotamiento del ozono estratosférico

A continuación están las categorías relacionadas con la salud humana, impactos causados a su vez por emisiones de sustancias tóxicas que podrían considerarse tanto de entrada como de salida, así como los impactos provocados por partículas y por radiación.

- Toxicidad humana

Por otra parte están las categorías relacionadas con la toxicidad terrestre causados a su vez por emisiones de sustancias tóxicas

- Ecotoxicidad

Además están las categorías relacionadas con la formación de oxidantes troposféricos, incluyendo los efectos de emisiones de NOx.

- Smog fotoquímico Potencial de creación de ozono fotoquímico (Derwent et al., 1998)

Categorías relacionadas con los daños causados por las sustancias acidificantes que causan una gran diversidad de impactos en el suelo, plantas, animales y materiales.

- Acidificación

Categorías relacionadas con los impactos

- Nutricación

¹³ La fundación de SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry) fundada en 1979 para desarrollar la metodología y los criterios del ACV, temas que líder en la actualidad.

Capítulo 3. LOS INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD, SISTEMAS DE EVALUACIÓN MEDIOAMBIENTAL

Según el SETAC podrían considerarse otros impactos adicionales, como por ejemplo, los causados por el ruido y el olor, los causados por los accidentes físicos, o impactos no tóxicos relacionados con el entorno de trabajo. La siguiente tabla muestra los impactos agrupados por categorías.

	Categorías de impacto		Categoría del daño o zona de protección			Indicador previsto
	Categoría de impacto	Subcategoría de impacto	Recursos naturales	Medio ambiente	Salud humana	
Categorías relacionadas con los consumos	Consumo recursos abióticos	Consumo de depósitos combustibles fósiles y minerales	1			Rareza de recursos. Grado de utilización de los flujos energéticos con los recursos obtenidos
		Consumo de agua subterránea, arenas	1			
		Consumo de energía	1			
	Consumo de recursos bióticos	Consumo de biomasa	1	1		Disponibilidad de recursos tasa de recursos.
		Mejora del rendimiento del suelo	1			Área del uso del suelo para un periodo de tiempo
	Uso del suelo	Degradación de las funciones del suelo		1	1	Manto vegetal, cultivo de la vegetación natural, la productividad de la vegetación
		Degradación de la biodiversidad	1	1		
Categorías relacionadas con las emisiones	Cambio climático			1		
	Agotamiento del ozono		1	1	1	Potencial agotamiento capa de ozono
Categorías relacionadas con la salud	Toxicidad humana	A través del agua		1	1	
		A través del suelo		1	1	
		A través del aire		1	1	
Categorías relacionadas con la toxicidad terrestre	Ecotoxicidad	Ecotoxicidad Acuática	1	1		Concentración de las especies del ecosistema
		Ecotoxicidad terrestre	1	1		
	Fotooxidación.	Smog creación de ozono fotoquímico	1	1	1	Potencial de creación de ozono específico
	Acidificación		1	1	1	Potencial de Acidificación
	Nutrificación		1			Potencial de Eutrofización

Tabla 3.3 Categorías de impacto a considerar en un ACV según el SETAC (SETAC 1993) (elaboración propia).

3.6 Análisis de los principales métodos de evaluación de impactos ambientales.

Al hablar de métodos de evaluación de impactos ambientales se está haciendo referencia a los métodos reconocidos a nivel científico que se emplean en la fase de

Capítulo 3. LOS INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD, SISTEMAS DE EVALUACIÓN MEDIOAMBIENTAL

Evaluación del impacto del ciclo de vida (EICV); en esta fase, como se ha dicho anteriormente, se lleva a cabo la asociación de los datos de inventario con las categorías de impactos ambientales específicos y con los indicadores de estas categorías para entender estos impactos.

En este apartado se ha procedido a seleccionar las categorías de impacto que tienen en cuenta los principales métodos de evaluación de impacto existentes y posteriormente se ha elaborado una lista de impactos y se ha realizado una descripción del comportamiento de cada uno de ellos para entender de qué manera afectan al medio ambiente, a la salud, etc.

Los métodos de evaluación de impacto deben integrar obligatoriamente la fase de caracterización de los impactos y optativamente pueden integrar otros elementos como la normalización, la valoración y la ponderación del daño.

- En cuanto a la caracterización, el cálculo de los resultados del indicador implica la conversión de los resultados del inventario a unidades comunes y la suma de los resultados convertidos dentro de la misma categoría de impacto. Para realizar esta conversión se utilizan los factores de caracterización. La salida del cálculo es el resultado numérico de un indicador.
- En cuanto a la normalización, el método de evaluación debe llevar a cabo la conversión de los resultados de la caracterización a unidades globales neutras, dividiendo cada resultado por un factor de normalización, así como el cálculo de la magnitud de los resultados del indicador de categoría con respecto a cierta información de referencia. El propósito de la normalización es entender mejor la magnitud relativa para cada resultado del indicador del producto bajo estudio.
- En cuanto a la valoración y ponderación, el método de evaluación debe realizar la agrupación y ponderación, consistiendo la agrupación en la clasificación de las categorías de impacto en otros grupos que engloben categorías de impacto con efectos similares y consistiendo la ponderación en la conversión de los resultados a una unidad común y sumable, multiplicando por su factor de ponderación. Posteriormente se suman todos ellos para obtener una puntuación única total del impacto ambiental del sistema.
- Los diferentes métodos de evaluación de impactos contemplan la alternativa de analizar el efecto último del impacto ambiental “endpoint”, o bien, considerar los efectos intermedios “midpoints”. Las categorías de impacto intermedias muestran una información más detallada de los daños causados al medio ambiente, mientras que las categorías de impacto “endpoints” muestran daños causados a la sociedad. (Udo de Haes et al 1999).

Los Métodos tipo *Midpoint* (punto medio) son aquellos cuyas categorías de impacto están definidas a nivel de problema, permitiendo modelos de cálculo que se ajustan a la intervención ambiental, como por ejemplo calentamiento global medido en kg CO₂ equivalente. Los métodos CML 92, CML2001 versión Baseline y EDIP 2003, EPD 2007, TRACI 2 son del tipo *Midpoint*.

Los Métodos tipo Endpoint realizan la normalización y ponderación a nivel de daño. La evaluación del daño significa que los indicadores resultantes son calculados en forma de daño. Estas variables normalmente afectan directamente a la sociedad, por lo que su elección resulta más comprensible a escala global. Los métodos EPS 2000, Eco-indicador 95, Eco-indicador 99, IMPACT 2002+, IPCC 2001 GWP son del tipo Endpoint.

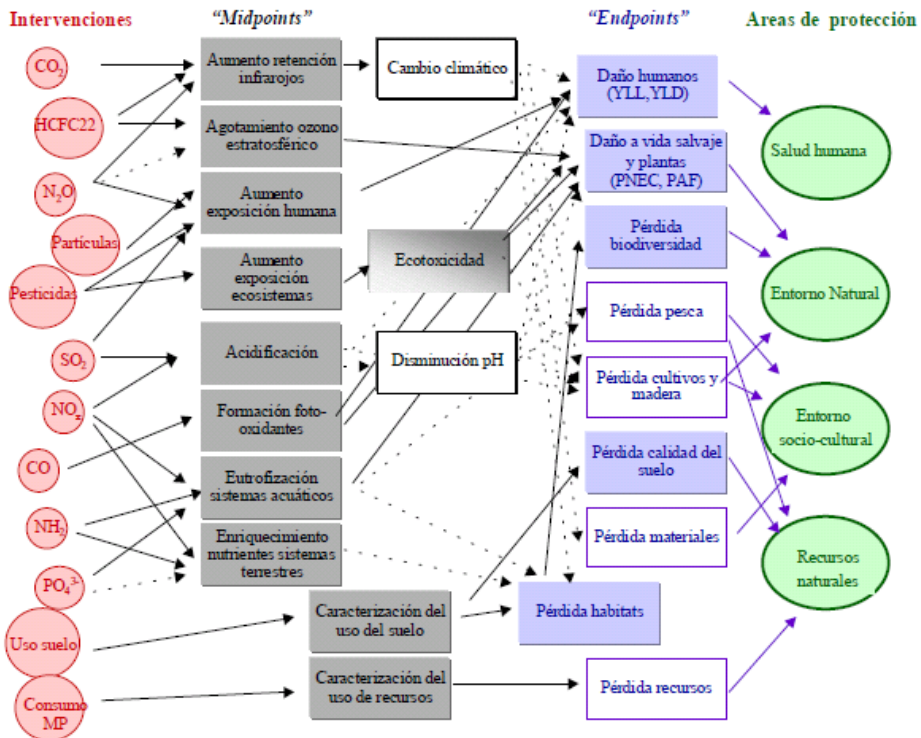


Figura 3.2 Esquema de las relaciones entre intervenciones ambientales, impactos de efectos intermedios “midpoints”, impactos de efectos finales “endpoints” y áreas de protección (Udo de Haes et al., 1999).

Seguidamente se describen los aspectos más relevantes respecto de la caracterización de los impactos considerados por cada uno de los métodos de evaluación de impactos citados anteriormente:

CML 92

El método CML utiliza impactos del tipo Midpoint y fue publicado por la Universidad de Leiden en Octubre 1992. A continuación se analizan algunos aspectos relativos a las categorías de impacto consideradas en la fase de caracterización, clasificadas en dos grupos:

Grupo1: Agotamiento de materias primas y energía.

Este grupo está formado por las siguientes categorías de impacto:

1. Uso de recursos abióticos

Esta categoría se refiere a las fuentes de energía, agrupadas con el término energía y a una serie de metales escasos. Para la obtención del agotamiento de los recursos abióticos CML 92 emplea la siguiente fórmula:

Uso de recursos = (cantidad consumida (kg) x {1/recursos (kg)}), donde recursos es la suma del peso de la energía consumida y el peso de las materias primas utilizadas.

2. Uso de recursos bióticos

Esta categoría incluye a los animales y plantas raras.

Grupo 2: Polución.

Las categorías de impacto de este grupo son:

3. Potencial de Calentamiento Global (GWP) (global warming potential), kg eq.CO₂

Es la contribución potencial de una sustancia para el efecto invernadero. En el método CML 92, se ha considerado el GWP para un período de 100 años. Para la obtención del efecto invernadero, este método emplea la siguiente fórmula:

Efecto invernadero (kg) = (GWP 100 x emisiones al aire (kg)).

4. Potencial de agotamiento de la capa de ozono estratosférico (ODP) (ozone depletion potential), kg eq.CFC-11

Los valores del potencial de agotamiento del ozono (ODP) se han obtenido principalmente de hidrocarburos que contienen combinado bromo, flúor y cloro, o CFC. El valor del efecto de agotamiento de la capa de ozono se calcula como sigue:

El agotamiento del ozono capa (kg) = (ODP x emisiones al aire (kg)).

5. Toxicidad humana

Se ha elaborado una lista de sustancias que son tóxicas para los seres humanos. Para la mayoría de sustancias se han establecido los valores siguientes:

- Toxicidad humana: Clasificación de los valores para el aire (HCA)
- Toxicidad humana: Clasificación de los valores para el agua (TS)
- Toxicidad humana: Clasificación de los valores para el suelo (HCS)

El número de factores de caracterización de suelo es muy limitado, porque supone que las emisiones que inicialmente entran en el suelo finalmente aparecen en el agua subterránea y estos valores son tratados como emisiones al agua.

El valor de la toxicidad humana se calcula como sigue:

Toxicidad humana (kg) = (HCA (kg.kg⁻¹) x emisiones a la atmósfera (kg) +HCW (kg⁻¹) x emisiones al agua (kg)).

6. Ecotoxicidad

Valores de toxicidad para la flora y la fauna. Las principales sustancias son metales pesados. Los valores se han establecido para las emisiones al agua y al suelo, es decir:

- Ecotoxicidad acuática (ECA)
- Ecotoxicidad terrestre (ECT)

El valor de la ecotoxicidad se calcula como sigue:

Capítulo 3. LOS INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD, SISTEMAS DE EVALUACIÓN MEDIOAMBIENTAL

Ecotoxicidad (m^3) = (ECA ($m^3 \cdot kg^{-1}$) x emisiones al agua (kg))

7. Smog fotoquímico, kg C_2H_4 eq.

El potencial de creación de ozono fotoquímico (POCP) también llamado Smog de verano, indica la capacidad de una sustancia orgánica volátil para producir ozono. El POCP se obtiene como promedio de los valores obtenidos para alcoholes, cetonas, aldehídos y diversos grupos de hidrocarburos. El valor de NO_x es omitido en el método CML 92.

El valor del Smog fotoquímico se calcula como sigue:

Smog (kg) = (POCP x emisiones al aire (kg))

8. Acidificación, kg SO_2 eq.

El potencial de acidificación (AP) indica el efecto de acidificación del SO_2 . Otras sustancias acidificantes son el óxido de nitrógeno y el amoníaco SO_x

El valor de la acidificación se calcula como sigue:

Acidificación (kg) = (AP x emisiones al aire (kg)).

9. Eutrofización, kg PO_4 eq.

El potencial de Eutrofización (NP) se considera 1 para el fosfato (PO_4). Otras emisiones que también influyen en la eutrofización, son los óxidos de nitrógeno y amonio.

El valor de efecto eutrofización se calcula como sigue:

La eutrofización (kg) = (NP x emisiones al aire (kg)).

10. Olor

Se han desarrollado factores de ponderación para hedor, aunque su uso es inusual en ACV. El grado de molestia hedor depende en gran medida de las circunstancias locales. Por ejemplo, al amoníaco se le da el valor 1.

CML 2001. Versión Baseline

El método de referencia CML 2001 y la versión Baseline 2000 analizan efectos intermedios “midpoint”, agrupando las categorías de impacto en los tres tipos siguientes:

- Categorías de impacto obligatorias (existen indicadores utilizados en la mayoría de los ACV)
- Categorías de impacto adicionales (existen indicadores al respecto, pero no suelen estar incluidos en los estudio de ACV)
- Otras categorías de impacto (no hay indicadores operativos disponibles, por lo tanto es imposible incluirlas cuantitativamente en ACV)

A continuación se analizan algunos aspectos relativos a las categorías de impacto consideradas por este método en la fase de caracterización:

Capítulo 3. LOS INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD, SISTEMAS DE EVALUACIÓN MEDIOAMBIENTAL

1. El agotamiento de los recursos abióticos, kg Sb eq.

Esta categoría de impacto está relacionada con la extracción de minerales y combustibles fósiles. El factor de agotamiento abiótico (ADF) se determina para cada extracción de minerales y combustibles fósiles (kg equivalentes de antimonio / kg extraído). El ámbito geográfico de este indicador es a escala global.

2. Potencial de Calentamiento Global (GWP), kg eq.CO₂

El cambio climático está relacionado con las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera. Los factores se expresan como Potencial de Calentamiento Global para 100 años (GWP100), kg de CO₂/ kg de emisiones. El ámbito geográfico de este indicador es a escala global.

3. Agotamiento de la capa de ozono, kg CFC eq.

A causa de la disminución del ozono estratosférico, una mayor fracción de la radiación UV-B llega a la superficie terrestre. La Organización Meteorológica Mundial (OMM) define el agotamiento de la capa de ozono como el agotamiento potencial de los diferentes gases (kg CFC-11 equivalente / kg de emisiones). El ámbito geográfico de este indicador es a escala global. El lapso de tiempo es infinito.

4. Toxicidad humana, kg

Esta categoría se refiere a los efectos de las sustancias tóxicas en los humanos. No están incluidos los riesgos para la salud en el entorno de trabajo. Se calculan los efectos de las sustancias tóxicas para un lapso de tiempo infinito. Cada sustancia tóxica HTP se expresa como el 1,4-diclorobenceno equivalentes / kg de emisión. El ámbito geográfico de este indicador puede variar entre la escala local y global.

5. Ecotoxicidad

- Ecotoxicidad del agua dulce kg

Esta categoría se refiere a los efectos en los ecosistemas de agua dulce, como resultado de las emisiones de sustancias tóxicas al aire, agua y suelo. El indicador se aplica a escala mundial / continental / regional y local.

- Ecotoxicidad marina, kg

Esta categoría se refiere a los efectos de las sustancias tóxicas en los ecosistemas marinos.

- Ecotoxicidad terrestre, kg

Esta categoría se refiere a los efectos de las sustancias tóxicas en los ecosistemas terrestres.

6. Smog fotoquímico, o fotooxidación.kg C₂H₄ eq.

Es la formación de sustancias reactivas (principalmente ozono) perjudiciales para la salud humana y los ecosistemas, y que también pueden dañar los cultivos. Este problema también se indica con “Smog de verano”. El potencial (POCP) para la emisión de sustancias al aire se calcula con el modelo UNECE, y se expresa en kg de etileno equivalentes, es decir kg de etileno / kg de emisión. El intervalo de tiempo es de 5 días y la escala geográfica varía entre el nivel local y continental.

7. Acidificación, kg SO₂ eq.

Capítulo 3. LOS INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD, SISTEMAS DE EVALUACIÓN MEDIOAMBIENTAL

Las sustancias acidificantes pueden causar una amplia gama de impactos sobre el suelo, las aguas subterráneas, aguas superficiales, los organismos, ecosistemas y los materiales (edificios). El potencial de acidificación (AP) expresado como kg SO₂ equivalentes, es decir kg de SO₂ / kg de emisión. El lapso de tiempo es la eternidad y la escala geográfica varía entre el ámbito local y escala continental.

8. Eutrofización, kg PO₄ eq.

La eutrofización incluye todos los efectos debidos a niveles excesivos de macronutrientes en el medio ambiente causados por las emisiones de nutrientes al aire, agua y suelo. El potencial de eutrofización (NP) se expresa como kg PO₄ equivalentes es decir kg de PO₄/ kg de emisión. El lapso de tiempo es infinito, y la escala geográfica varía entre el nivel local y la escala continental.

EDIP 2003/ UMIP96

El método EDIP (Diseño Ambiental de Productos Industriales, en danés UMIP fue desarrollado en 1996. En 2004 se actualizaron los factores de caracterización, los factores de normalización y ponderación para todas las categorías de impacto. Este método analiza impactos de tipo Midpoint y considera 19 diferentes categorías de impacto.

1. Potencial de Calentamiento Global (GWP), kg eq.CO₂

El calentamiento global está basado en el informe de estado del IPCC de 1994, para un periodo de 100 años

2. Potencial de agotamiento de la capa de ozono estratosférico (ODP), kg eq. CFC-11

El potencial de agotamiento del ozono estratosférico se basa en los informes de situación (1992/1995) de la Investigación del Ozono Global.

3. El potencial de creación de ozono fotoquímico. Smog fotoquímico, o fotooxidación kg C₂H₄ eq.

- Smog fotoquímico o potencial de ozono fotoquímico (humanos)
- Smog fotoquímico o potencial de ozono fotoquímico (vegetación)

4. El potencial de creación de ozono fotoquímico (POCP). Estos valores dependen de la concentración de NOx.

Acidificación, kg SO₂ eq.

Basada en el número de iones de hidrógeno (H⁺) que puede ser liberados.

5. Eutrofización, kg PO₄ eq

- Eutrofización terrestre, kg PO₄ eq.
- Eutrofización acuática, kg PO₄ eq.

Residuos en general, peligrosos, radiactivos, escorias y cenizas, que se toman directamente de EDIP 97 (actualización) 2004.

6. Ecotoxicidad aguda al agua
7. Ecotoxicidad crónica al agua
8. Ecotoxicidad crónica para el suelo.

Capítulo 3. LOS INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD, SISTEMAS DE EVALUACIÓN MEDIOAMBIENTAL

La ecotoxicidad se basa en un método químico de detección de peligro que tiene en cuenta la toxicidad, la persistencia y la bioconcentración. También tiene en cuenta la distribución de sustancias en diferentes compartimentos medioambientales

9. Toxicidad humana (a través del agua)
10. Toxicidad humana (a través del aire)
11. Toxicidad humana (a través del suelo)

Los potenciales humanos de toxicidad se calculan para la exposición a través del aire, el suelo y la superficie de agua.

12. Los recursos vivos o no

Para dar al usuario alguna información de una manera útil de todos los recursos se han añadido en una categoría de impacto.

EPD 2007

Este método se utiliza para la creación de declaraciones de productos (DAP) o (EPDs), publicadas en la página web del Consejo de Gestión Ambiental de Suecia (SEMC). Todas las categorías de impacto son tomadas directamente de la base 2000 CML 2 y son las siguientes:

1. Consumo de combustibles fósiles
2. Potencial de Calentamiento Global (GWP), kg eq.CO₂ .
3. Agotamiento de la capa de ozono, kg CFC eq.
4. Smog fotoquímico, kg C₂H₄ eq.
5. Eutrofización terrestre, kg PO₄ eq.
6. Acidificación, kg SO₂ eq.

TRACI 2

Método desarrollado por la Agencia de Protección Ambiental de los EE.UU. específicamente para los EE.UU., que analiza impactos de tipo Midpoint y considera 13 diferentes categorías de impacto.

1. Agotamiento de la capa de ozono, kg CFC eq.
2. Potencial de Calentamiento Global (GWP), kg eq. CO₂.
3. Acidificación, kg q. SO₂.
4. Eutrofización terrestre, kg eq. PO₄.
5. Smog fotoquímico, kg q. C₂H₄.
6. Ecotoxicidad
7. Salud humana: efectos contaminantes del aire
8. Salud humana: efectos cancerígenos
9. Salud humana: efectos no cancerígenos
10. Agotamiento de combustibles fósiles
11. Uso del suelo
12. Uso del agua

EPS 2000

El método EPS 2000 (Environmental Priority Strategies in product design) es una actualización de la versión de 1996. Los modelos y los datos en EPS están destinados a mejorar el rendimiento medioambiental de los productos. Este método analiza impactos de tipo Endoint que se identifican a partir de cinco categorías de daños: la salud humana, la capacidad de producción de los ecosistemas, los recursos abióticos, la biodiversidad y los valores socioculturales.

A. Salud Humana

Los factores de ponderación de los daños a la salud humana tienen en cuenta los siguientes indicadores:

1. La esperanza de vida, expresado en años de vida perdidos (año-persona)
2. La morbilidad grave y el sufrimiento, en el año persona, incluyendo hambre
3. Morbilidad, en persona y año
4. Molestia grave, en años persona, que normalmente causaría una reacción para evitar la molestia
5. Molestias en persona y año, irritante, pero que no causa ninguna acción directa

B. Capacidad de producción del ecosistema

Las categorías de impacto por defecto de la capacidad productiva de los ecosistemas son las siguientes:

1. Capacidad de producción de cultivos, en kg durante la cosecha
2. Capacidad de producción de madera, en peso seco kg
3. Capacidad de producción de carne y pescado, en kg de peso completo de animales
4. Capacidad catiónica básica, en H + equivalentes
5. Capacidad de producción de agua, en kg, aceptable para el riego, respecto a las sustancias tóxicas persistentes
6. Capacidad de producción de agua sanitaria, en kg cumpliendo con criterios de la OMS.

C. Reservas de recursos abióticos

1. Agotamiento de reservas elementales
2. Agotamiento de reservas de gas natural
3. Agotamiento de reservas de petróleo
4. Agotamiento de reservas de carbón
5. Agotamiento de reservas minerales

D. Diversidad biológica.

1. Extinción de especies, expresada en (NEX).

E. Valores culturales

En este caso los indicadores son difíciles de describirlos porque son altamente específicos y de naturaleza cualitativa.

El método EPS 2000 está orientado al daño causado, por lo que en este método se tiene en cuenta la voluntad de pagar para restaurar los cambios causados, siendo la unidad del indicador final el ELU (Environmental Load Unit o unidad de carga ambiental).

Eco-indicador 95

El método Eco-indicador 95 fue desarrollado en el marco del programa NOH neerlandés por los consultores de PRE. Todos los factores de caracterización en este método se introducen para materias primas, aire, agua y suelo.

Este método analiza impactos de tipo Endpoint que se identifican a partir de dos categorías de daños: A. Toxicidad humana y B. Los ecosistemas

Los valores de caracterización se basan en la valoración de las sustancias tóxicas persistentes en el aire y el agua, ya que la exposición a estas sustancias tiene riesgos evidentes para la salud y se basan en las siguientes categorías de impacto

1. Smog fotoquímico (smog de verano), kg C₂H₄ eq.

El smog de verano, también llamado foto-oxidación, consiste en la formación de sustancias reactivas (principalmente ozono) perjudiciales para la salud humana y los ecosistemas, y que también pueden dañar los cultivos.

2. Smog de invierno, kg de SO₂ eq.

Las fuentes más importantes de este problema son las emisiones de SO₂ y partículas en suspensión, NO_x, CO y otras sustancias. Las partículas de polvo también pueden contener metales pesados.

3. Sustancias cancerígenas, kg plomo eq.

Las principales sustancias involucradas son los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP). El cromo y el níquel son considerados como cancerígenos porque el riesgo de cáncer es mayor que el efecto toxicológico.

4. Contaminación por metales pesados, kg plomo eq.

La evaluación de las sustancias tóxicas en el aire y el agua, en particular de la presencia de metales pesados, permite evaluar la toxicidad para los seres humanos y los ecosistemas. Se supone en general que la toxicidad humana es el factor más importante.

5. Pesticidas, kg.

La actividad biológica en el suelo se altera y como resultado daña a la vegetación.

Eco-indicator 99

Eco-indicator 99 es el sucesor del Eco-indicador 95. Ambos métodos usan el enfoque del tipo endpoint. El desarrollo del método Eco-indicator 99 se inició con el diseño de un procedimiento de ponderación.

El Eco-indicador 99 tiene en cuenta las tendencias a largo plazo de la reducción de la calidad de los recursos, solo si el esfuerzo para extraer esos recursos aumenta. Este método agrupa las categorías de impactos en tres categorías de daños:

- A. Daños a la salud humana.

Capítulo 3. LOS INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD, SISTEMAS DE EVALUACIÓN MEDIOAMBIENTAL

1. El potencial de agotamiento del ozono estratosférico, kg CFC.

Expresado en DALY/ kg de emisión, debido al aumento de la radiación UV como resultado de la emisión de sustancias destructoras del ozono al aire.

2. Radiación, DALY

Daño por radiación, expresado en DALY/ kg de emisión, resultante de la radiación radiactiva.

3. Efectos respiratorios orgánicos, AVAD

Derivados de smog de verano, debido a las emisiones de sustancias orgánicas a la atmósfera, causando efectos respiratorios. El daño se expresa en años de vida ajustados por discapacidad (AVAD) partido por los kg de emisiones.

4. Efectos respiratorios inorgánicos, AVAD

Resultantes de la contaminación de invierno causada por las emisiones de óxidos de polvo, azufre y nitrógeno a la atmósfera. El daño se expresa en años de vida ajustados por discapacidad (AVAD) / kg de emisiones.

5. Carcinogénicos, AVAD

Esta categoría de impacto se debe a las emisiones de sustancias cancerígenas al aire, agua y suelo. El daño se expresa en años de vida ajustados por discapacidad (AVAD) dividido por los kilos de emisiones.

B. Daños a la calidad del medio ambiente

1. Potencial de calentamiento global GWP, DALY

Expresado en DALY / kg de emisiones, indica el aumento de las enfermedades y muertes causadas por el cambio climático.

2. Ecotoxicidad, PAF

El daño al ecosistema es resultado de la emisión de sustancias tóxicas al aire, agua y suelo. Se expresa en fracción de potencial afectados (PAF) x m^2 x año / kg de emisiones.

3. Uso del suelo, PDF eq.

El uso del suelo tiene un impacto en la diversidad de especies. El daño se expresa en la fracción potencialmente desaparecidos (PDF) x m^2 x año/ m^2 o m^2 a

4. Acidificación y eutrofización, PDFeq.

El daño a la calidad del ecosistema, como resultado de la emisión de sustancias acidificantes al aire. El daño se expresa en la fracción potencialmente desaparecidos (PDF) x m^2 x año / kg de emisiones.

C. Daños a los recursos

1. Uso de recursos minerales

2. Uso de combustibles fósiles

El daño de los recursos será experimentado por las generaciones futuras, ya que tendrá que utilizar un mayor esfuerzo para extraer los recursos restantes. Este esfuerzo adicional se expresa como “exceso de energía”. MJ, kg o m^3 de combustible fósil.

IMPACT 2002+

Este método de evaluación de impacto ha sido desarrollado originalmente en el Instituto Federal Suizo de Tecnología, Lausana (EPFL) y analiza los impactos

Capítulo 3. LOS INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD, SISTEMAS DE EVALUACIÓN MEDIOAMBIENTAL

combinando 13 categorías de impacto tipo Midpoint clasificadas en cuatro categorías de daño de tipo Endpoint

A. Daños para la salud (DALY/pers/año)

1. Toxicidad humana
2. Efectos respiratorios
3. Radiación de iones

B. Calidad del medio (PDF m² /pers/año)

1. Destrucción de la capa de ozono (también puede considerarse en la categoría daños para la salud)
2. Smog fotoquímico (también puede considerarse en la categoría daños para la salud)
3. Ecotoxicidad acuática
4. Acidificación acuática
5. Eutrofización acuática
6. Acidificación terrestre
7. Ocupación del suelo

C. Cambio climático (Kg CO₂/pers/año)

1. Calentamiento global

D. Recursos (MJ/pers/año)

1. Energías no renovables
2. Extracción de minerales

Los factores de caracterización para la toxicidad humana y ecotoxicidad acuática y terrestre se toman de la metodología IMPACT 2002 - Evaluación del impacto de tóxicos químicos. Los factores de caracterización para otras categorías son una adaptación de los actuales métodos de caracterización, es decir, Eco-indicador 99, CML 2001, el IPCC y la demanda de energía acumulada. El método IMPACT 2002 + (versión 2.1) actualmente proporciona los factores de caracterización para casi 1500 diferentes resultados, que se puede descargar de <http://www.epfl.ch/impact>.

IPCC 2001 GWP

Método desarrollado por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Este método enumera los factores del cambio climático con un horizonte temporal de 20 años, 100 y 500 (Frischknecht, Jungbluth, et al 2003).

La siguiente tabla esquematiza los principales métodos de evaluación de impacto que se han descrito, indicando, para cada uno de ellos, las categorías de impacto clasificadas como Endpoint o Midpoint.

Capítulo 3. LOS INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD, SISTEMAS DE EVALUACIÓN MEDIOAMBIENTAL

		METODOS DE EVALUACIÓN DE IMPACTOS												
Tipo Endpoint	Tipo Midpoint													
Categoría del daño	Categoría de impacto	Subcategoría de impacto	CML 92	CML 20011	EDIP 2003	EPD 2007	TRACI 2	EPS 2000	Eco-Indicator 95	Eco-Indicator 99	Impact 2002	IPCC 2001	TOTALES	
Cambio climático	Potencial de Calentamiento Global kg eq CO ₂		1	1	1	1	1			1	1	1	8	
Daños sobre ecosistema	Potencial agotamiento capa de ozono, kg eq		1	1	1	1	1			1			6	
	Potencial de Acidificación kg eq SO ₂		1	1	1	1	1			1	1		7	
	Potencial de Eutrofización kg eq PO ₄		1	1	1	1	1			1	1		7	
	Ecotoxicidad	Ecotoxicidad		1	1	1					1	1		5
Ecotoxicidad			1	1	1		1		1	1			6	
Daños sobre los recursos	Consumo recursos abióticos. kg eq Sb	Consumo metales	1	1									2	
		Consumo minerales							1	1	1		3	
		Consumo combustibles		1		1	1		1	1			5	
		Consumo de	1									1		2
	Consumo recursos		1	1	1								3	
Consumo agua						1						1		
Daños sobre la salud	Smog fotoquímico o fotooxidación, kg	Smog de verano	1	1	1	1	1		1		1		7	
		Smog de invierno	1						1		1		3	
	Toxicidad humana	A través del agua	1	1	1							1		4
		A través del suelo	1	1	1							1		4
		A través del aire	1	1	1		1					1		5
		Por metales					1		1	1				2
	Efectos cancerígenos							1	1				2	
Efectos respiratorios									1	1		2		
Otros (Radiación)					1		1	1	1	1		4		
	Residuos	No peligrosos			1								1	
		Peligrosos			1								1	
		Radiactivos			1								1	
		Escorias y cenizas			1								1	
Uso del suelo		1				1			1	1		4		
	Olor		1									1		
Producción del ecosistema							1					1		
Reservas de recursos abióticos							1					1		
Diversidad biológica.							1					1		
Valores culturales								1				1		

Tabla 3.4 Resumen de las categorías de impacto consideradas por los métodos de evaluación de impactos analizados (elaboración propia).

3.7 Descripción de los indicadores medioambientales en términos de carga o impacto

La Norma ISO AWI 21929 define como indicador medioambiental aquel que señala un aspecto medioambiental en términos de carga o impacto (ISO, 2004). Estas cargas ambientales están relacionadas con los impactos ambientales que pueden expresarse como categorías de impacto (García, A., 2009).

A continuación se presenta una figura en la que se muestran las categorías de impacto mayoritariamente consideradas por los métodos de evaluación de impactos

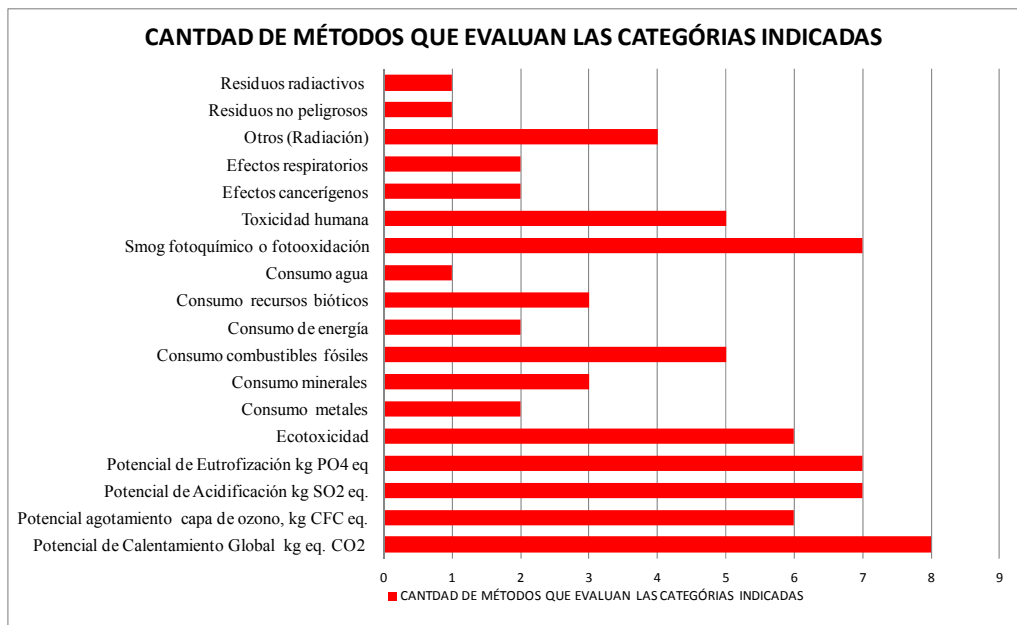


Figura 3.3 Categorías de impactos mayoritariamente consideradas por los métodos de evaluación.

En este apartado se ha procedido a seleccionar las categorías de impacto que tienen en cuenta los principales métodos de evaluación de impacto existentes y posteriormente se ha elaborado una lista de impactos y descrito el comportamiento de cada uno de ellos para entender de qué manera afectan al medio ambiente, a la salud, etc.

A continuación se presenta una breve descripción de los indicadores ambientales en términos de carga o impacto evaluados por los métodos de evaluación analizados en el apartado anterior según se refleja en la figura 3.3

3.7.1 Potencial de Calentamiento Global (GWP) o cambio climático, kg eq.CO₂

El calentamiento global, cambio climático o emisión de gases efecto invernadero (GEI) se define como el impacto de las emisiones antropogénicas en la absorción de

Capítulo 3. LOS INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD, SISTEMAS DE EVALUACIÓN MEDIOAMBIENTAL

la radiación térmica por la atmósfera terrestre, causando un aumento en la temperatura de la atmósfera terrestre. Según el Tercer Informe del IPCC¹⁴, en los próximos cien años se estima que la temperatura global ascenderá entre 1,4°C y 5,8 °C. Los cinco años más calurosos que se han registrado desde 1860, fecha en que comenzaron a realizarse medidas fiables, han tenido lugar en los últimos 10 años.

Se estima que un tercio de la radiación solar que incide sobre la Tierra es reflejada al espacio, el resto penetra y es absorbida por el aire, el agua, la tierra y las plantas, convertida en energía térmica y emitida en forma de radiaciones infrarrojas que se devuelven a la atmósfera. Algunos gases juegan un papel análogo al de los cristales del invernadero, permitiendo el paso de las radiaciones solares, pero cerrándose a las radiaciones infrarrojas, originando así un calentamiento de la atmósfera terrestre.

La consecuencia de este aumento global de las temperaturas se está empezando ya a constatar una reducción en la superficie de los glaciares de montaña y una disminución de los casquetes polares (En el Ártico un 10% en extensión y un 40% en grosor). Esto puede generar efectos adversos sobre los ecosistemas, la salud humana y el estado de los materiales. También ha provocado cambios en el nivel del mar, entre 0,1 y 0,2 m entre finales de la década de 1960 y 1990, la desaparición parcial de glaciares, el avance de la desertización en las zonas más cálidas y la disminución del hielo en los polos (ECCE, 2005)

Los gases de efecto invernadero son, en opinión de la comunidad científica, los responsables de la elevación de la temperatura media del planeta experimentada en las últimas décadas. El cambio climático puede provocar efectos adversos sobre la salud del ecosistema, la salud humana y el bienestar.

Los principales gases causantes del efecto invernadero son:

- El dióxido de carbono, CO₂, gas incoloro, inodoro y con un sabor ácido que tiende a impedir que la radiación de onda larga escape al espacio exterior y la temperatura global aumenta.
 - El metano, CH₄, que supone sobre un 20% y del que se estima que la mitad de sus emisiones son responsabilidad humana (ganado vacuno, arrozales y emisiones de gas natural).
 - El óxido nitroso, N₂O, se le atribuye una responsabilidad del 6% y su origen se atribuye a los abonos nitrogenados.
 - Los clorofluorocarbonados (CFCs), sustancias totalmente artificiales, son responsables de un 14% del total.

¹⁴ El IPCC es un órgano intergubernamental abierto a todos los países miembros del PNUMA. Celebra reuniones plenarias aproximadamente una vez al año. Tiene tres grupos de trabajo y un Equipo especial sobre inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. El Grupo de trabajo I evalúa los aspectos científicos del sistema climático y del cambio de clima. El Grupo de trabajo II examina la vulnerabilidad de los sistemas socioeconómicos y naturales frente al cambio climático. El Grupo de trabajo III evalúa las opciones que permitirían limitar las emisiones de gases de efecto invernadero y atenuar por otros medios los efectos del cambio climático.

Capítulo 3. LOS INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD, SISTEMAS DE EVALUACIÓN MEDIOAMBIENTAL

- El vapor de agua H₂O es también un gas de efecto invernadero, pero al estar en la atmósfera en proporciones muy variables no se conoce con exactitud su contribución total en el proceso.

El Potencial de Calentamiento Global (GWP) es el indicador resultante que se expresa en **kg equivalentes de CO₂**. El indicador global de gases de efecto invernadero se calcula de la siguiente forma: (Guinée *et al.*, 2002).

$$\text{Cambio climático} = \sum_i \text{Cambio climático GWP}_i \times m_i$$

dónde:

GWP_i = Potencial de Calentamiento Global del compuesto i

m_i = Masa del compuesto i en kg

3.7.2 Potencial agotamiento capa de ozono, kg eq. CFC

La capa de ozono está presente en la estratosfera y actúa como un filtro absorbiendo las ondas cortas de luz ultravioleta, mientras permite el paso de las ondas largas. La protección de la capa de ozono ha sido objeto de atención del PNUMA desde sus orígenes en 1972. El problema fue tratado en la Conferencia sobre el Medio Ambiente Humano que se realizó en Estocolmo y dio origen al PNUMA.

Los científicos empezaron a descubrir en la década de los setenta que la actividad humana estaba afectando a la capa de ozono que se encuentra a unos 40 km de altitud por el uso creciente de clorofluorocarbonos (CFH, compuestos de flúor) que se emplean en refrigeración, aire acondicionado, disolventes de limpieza, materiales de empaquetado y aerosoles. Debido a la destrucción del ozono estratosférico, una mayor fracción de la radiación UV-B llega a la superficie de la tierra.

La mayoría de los cloruros y bromuros, procedentes de compuestos cloro-fluorocarbonados, CFCs y otras fuentes, reaccionan en presencia de las nubes estratosféricas polares (PSCs) emitiendo cloruros y bromuros activos que bajo la acción de los UV provocan la descomposición del ozono (Guinée *et al.* 2002).

Las consecuencias de la disminución de la capa de ozono son que la vida terrestre queda expuesta a un exceso de radiación ultravioleta y esto puede tener efectos nocivos sobre la salud humana, salud animal, los ecosistemas terrestres y acuáticos, ciclos bioquímicos y en los materiales. La disminución de la capa de ozono provoca un incremento de la cantidad de rayos ultravioleta que llegan a la superficie de la Tierra, lo cual genera el aumento de algunas enfermedades como el cáncer de piel y las cataratas; reducción de la respuesta del sistema inmunológico, interferencia en el proceso de fotosíntesis de las plantas y afección al crecimiento de fitoplancton oceánico.

La disminución del ozono es expresada en gramos de CFC-11 (Guinée *et al.* 2002).

Los valores del potencial de agotamiento del ozono (ODP) se han obtenido principalmente de hidrocarburos que contienen combinado bromo, flúor y cloro, (CFC)

El valor del efecto de agotamiento de la capa de ozono se calcula como sigue:

$$\text{El agotamiento del ozono capa (kg)} = (\text{ODP} \times \text{emisiones al aire (kg)})^4$$

Capítulo 3. LOS INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD, SISTEMAS DE EVALUACIÓN MEDIOAMBIENTAL

dónde:

OPDi = Potencial de disminución de ozono estratosférico para i

3.7.3 Potencial de Acidificación kg eq. SO₂

La liberación masiva de dióxido de carbono (CO₂) emitido a la atmósfera se disuelve en el agua de mar, provocando una serie de reacciones conocidas como acidificación oceánica. El aumento de la concentración atmosférica de CO₂ conducirá a una mayor acidificación de los océanos (Barker y Elderfiel, 2002). Los contaminantes que generan acidificación tienen una amplia variedad de impactos en el suelo, en las aguas superficiales, aguas subterráneas, organismos vivos y en las edificaciones.

En cuanto a sus efectos, se pueden producir dos tipos de reacciones.

-Una primera reacción consiste en la formación de ácido carbónico, con la consiguiente liberación de iones hidrógeno que incrementa la acidez, reduciendo el pH.

-Una segunda reacción tiene lugar entre los iones carbonatos, el dióxido de carbono y el agua que produce iones de bicarbonato. Estos iones son necesarios para el proceso de calcificación, mediante el cual se produce las conchas y esqueletos calcáreos de muchos organismos. Consecuentemente, las algas marinas se reproducen masivamente porque están siendo fertilizadas con mucho carbono.

Existen muchas emisiones ácidas generadas directamente por el hombre y otras son compuestos ácidos que se han generado a partir de reacciones en el aire. Como ejemplos de las emisiones humanas están el dióxido de azufre (que se convierte en ácido sulfúrico) y el óxido de nitrógeno (que se transforma en ácido nítrico).

El cálculo de la acidificación se basa en la siguiente fórmula (Guinée *et al.* 2002).

$$\text{Acidificación} = \sum AP_i \times m_i$$

dónde:

AP_i = Potencial de acidificación del compuesto i

m_i = Emisión del compuesto i

La deposición ácida potencial puede estar expresada en términos del potencial de H⁺ equivalente. Por lo tanto el potencial de acidificación es agregado sobre la base de la capacidad química a formar iones H⁺.

Por lo tanto el potencial de acidificación (AP) de un compuesto i ha sido definido como el número de iones H⁺ producidos por kg de compuesto relativo a SO₂.

Otro efecto es la lluvia ácida. En general, admitiéndose que la acidificación de la lluvia se debe a los óxidos de azufre y de nitrógeno presentes en la atmósfera a consecuencia de los procesos de combustión. Es cualquier forma de precipitación (agua, nieve, granizo o niebla) que tiene una acidez superior a un nivel determinado. El nivel de acidez, PH, a partir del cual se considera lluvia ácida es de 5,5 o inferior. La acidez normal del agua de lluvia es de 5,6, debido a la disolución del dióxido de carbono atmosférico en el agua. La lluvia ácida se forma generalmente en las nubes

Capítulo 3. LOS INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD, SISTEMAS DE EVALUACIÓN MEDIOAMBIENTAL

altas donde el SO_2 y los NO_x reaccionan con el agua y el oxígeno, formando una solución diluida de ácido sulfúrico y ácido nítrico.

La contaminación de origen humano es la principal responsable de la lluvia ácida por su mayor volumen y por la elevada concentración de los contaminantes en las áreas industriales y urbanas. Además los niveles de emisión han tendido a crecer con la industrialización.

Los óxidos de nitrógeno se generan fundamentalmente cuando se queman combustibles a altas temperaturas, como resultado de la combinación de nitrógeno atmosférico y oxígeno. Los medios de transporte son fuente importante de óxidos de nitrógeno, pero también se producen en los incendios forestales y las quemas agrícolas. En el aire, el NO se convierte lentamente en una mezcla de óxidos de nitrógeno, que reacciona con las gotas de agua de lluvia para formar una disolución de ácido nítrico (HNO_3).

Como consecuencia de la lluvia ácida también se producen los siguientes efectos (Sanchez y Yerena, 2006).

- Descenso supervivencia de los animales acuáticos, incapaces de sobrevivir en medios tan ácidos.
- Las masas forestales, especialmente las coníferas, sufren una defoliación y una mayor vulnerabilidad ante las plagas que las hacen sucumbir finalmente.
- Las cosechas y los suelos agrícolas.
- Corrosión de metales, desgaste de edificios y monumentos de piedra.

3.7.4 Potencial de Eutrofización kg eq. PO_4

Consiste en el enriquecimiento de nutrientes en un ecosistema acuático. Al recibir el agua un vertido de nutrientes, éste puede favorecer excesivamente el crecimiento de materia orgánica provocando un crecimiento acelerado de algas y otras plantas verdes que cubren la superficie y evitan que la luz solar llegue a capas inferiores.

Algunas causas de la eutrofización son la contaminación urbana por residuos como el fosfato, la contaminación atmosférica por óxidos de azufre y nitrógeno, la contaminación agropecuaria como fertilizantes y excrementos y la contaminación forestal por abandono en los ríos de residuos (Smol, 2002).

El fenómeno de la eutrofización implica una pérdida de biodiversidad, disminuyendo el número de especies de seres vivos y aumentando el número de individuos de las pocas especies que quedan. En el caso de las algas, las especies que quedan suelen ser de gran tamaño y los animales del zooplancton no pueden comérselas.

“La proliferación masiva de dichas algas ocasiona, en las zonas superficiales, una disminución en la transparencia del agua y, en las zonas profundas, una disminución del oxígeno disuelto” (Ryding y Rast, 1992).

Otros efectos de la eutrofización

- La vegetación muere al no poder realizar la fotosíntesis.
- Aumento de la turbidez de las aguas
- La diversidad de las especies disminuye y la flora y fauna cambia.
- La biomasa de plantas y animales incrementa.
- El nivel de sedimentación aumenta, disminuyendo la durabilidad o provocando la colmatación del lago.

Capítulo 3. LOS INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD, SISTEMAS DE EVALUACIÓN MEDIOAMBIENTAL

- Se pueden generar algas tóxicas y microorganismos patógenos que pueden causar enfermedades.

El cálculo de la eutrofización se basa en la siguiente fórmula (Guinée *et al.* 2002):

$$\text{Eutrofización} = \sum EPI * mi$$

dónde:

APi = Potencial de eutrofización del compuesto i

mi = Emisión del compuesto i

3.7.5 Ecotoxicidad o toxicidad terrestre

Es el conjunto de efectos de los compuestos tóxicos sobre los ecosistemas terrestres. La ecotoxicidad estudia los efectos tóxicos producidos por los agentes físicos y químicos sobre los seres vivos. Estos daños han sido provocados por las prácticas de la industria, las sustancias tóxicas en las comidas, la contaminación de suelos y ríos que han acelerado extinción de especies, mutación de otras tantas y por consiguiente daños a la salud. El riesgo no es fácil de reducir ya que todos estos elementos se combinan y crean un medio ambiente lleno de químicos tóxicos (Alejo, 2004).

El uso extensivo de pesticidas sintéticos derivados de los hidrocarburos clorados en el control de plagas ha tenido efectos colaterales desastrosos para el medio ambiente. Estos pesticidas son poco solubles en agua, se adhieren a los tejidos de las plantas y se acumulan en los suelos y en la atmósfera, finalmente son ingeridos por los herbívoros o penetran a través de la piel de organismos acuáticos y de ahí pasan a los carnívoros, interfiriendo en el metabolismo del calcio de las aves y disminuyendo su proceso productivo.

El cálculo del indicador de toxicidad terrestre se obtiene a partir de la siguiente fórmula (Guinée *et al.* 2002):

$$\text{Toxicidad terrestre} = \sum_i TTPi * fi,n * mi$$

dónde:

TTPi = Potencial de Toxicidad Terrestre del compuesto i (unidades dependen del método usado)

fi,n = Fracción del compuesto i que se transporta hasta el medio n (adimensional)

mi = Masa del compuesto i

El valor de la ecotoxicidad se calcula como sigue:

$$\text{Ecotoxicidad (m}^3\text{)} = (\text{ECA (m}^3\text{. Kg}^{-1}\text{)}) \times \text{emisiones al agua (kg)}$$

dónde:

Ecotoxicidad acuática (ECA)

3.7.6 Consumo de recursos abióticos kg, m³ o MJ

Se consideran recursos abióticos aquellos que rodean a los seres vivos y que junto con ellos conforman el ecosistema; los recursos abióticos son parte de la naturaleza. Incluyen todos los recursos “sin vida” que pueden ser explotados por el hombre entre ellos los recursos energéticos. La categoría de impacto “agotamiento de recursos abióticos” es un concepto que depende en gran medida del usuario, sus necesidades habilidades y expectativas de futuro (Steen, 2006). A continuación se definen algunos aspectos relativos a los impactos de recursos abióticos

1. Consumo de metales

Los metales, se distribuyen por el mundo en forma irregular. Son elementos químicos caracterizados por ser buenos conductores del calor y la electricidad, poseen alta densidad y son sólidos a temperaturas normales (excepto el mercurio y el galio). Normalmente los metales son transportados desde el lugar de extracción hasta los lugares de transformación para la fabricación de productos industrializados.

2. Consumo de minerales

Los minerales constituyen un recurso agotable, por lo que se sabe que es necesario adoptar medidas para proteger su explotación

El carbón o carbón mineral es una roca sedimentaria utilizada como combustible fósil, de color negro, muy rico en carbono. Suele localizarse bajo una capa de pizarra y sobre una capa de arena y arcilla. Se cree que la mayor parte del carbón se formó durante la era carbonífera (hace 280 a 345 millones de años). El carbón suministra el 25% de la energía primaria consumida en el mundo.

3. Consumo de combustibles fósiles

Conocer los distintos tipos de combustibles y carburantes que se utilizan en los procesos industriales así como en el transporte tiene una importancia clave por lo que supone para el conocimiento de la demanda final de energía y de sus posibles implicaciones medioambientales. En el transcurso de las últimas décadas, el consumo de energía ha experimentado un crecimiento ininterrumpido, derivado de las necesidades impuestas por el proceso de industrialización, el consumo doméstico, la intensa motorización, la mecanización agraria, etc. (Amestoy, 2000).

El daño causado por la disminución de combustibles fósiles se expresa en MJ/kg de material extraído, usando el concepto de energía SURPLUS. La energía SURPLUS se define como la diferencia entre la energía necesaria para extraer un recurso ahora y en algún momento del futuro (Goedkoop y Spriensma, 2000).

El ritmo actual de consumo de combustibles fósiles por parte del hombre libera suficiente calor a la biosfera como para alterar la temperatura y consecuentemente el equilibrio del biosistema, en muchos ecosistemas terrestres. La energía nuclear y la energía solar concentrada de forma artificial tendrán efectos similares (Archibald y McInnis, 1995).

Los sectores de mayor responsabilidad de los consumos energéticos son los de fabricación de azulejos, baldosas, ladrillos, tejas y productos de tierras cocidas para la

Capítulo 3. LOS INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD, SISTEMAS DE EVALUACIÓN MEDIOAMBIENTAL

construcción (15%); cemento, cal y yeso (14%); pasta papelera, papel y cartón (12%); fibras artificiales y sintéticas (10%); acabado de textiles (10%); y extracción de minerales. Atendiendo a su naturaleza y características se pueden clasificar los productos energéticos en cinco grandes grupos: carbón y sus derivados, productos petrolíferos, gas, electricidad y otros productos energéticos. La electricidad supone casi la mitad del consumo energético de las empresas industriales (48%). El gas (28%) y los productos petrolíferos (18%) son los otros dos componentes, cuyo consumo es más relevante en el conjunto de la industria (INE, 2007).

En lo referente a las reservas de carbón, el uso de carbón se espera que aumente en más del 60% para el año 2030, con el crecimiento de los países en desarrollo. Desde el año 2000, el consumo ha crecido más rápido que cualquier otro combustible, aproximadamente un 4,9% por año. La mayor parte de esta demanda está directamente relacionada con el sector industrial y los consumos energéticos de la edificación ya que el carbón se emplea para la obtención de electricidad, el mayor aporte de reservas corresponde a Asia y Oceanía con 311.490 M. Tm, seguido de Norteamérica con 250.392 M. Tm y la CEI con 241.000 M. Tm. (World Energy Council, 2010). En lo referente al petróleo, al final de 2005, el nivel de las reservas probadas en el mundo, en millones de Tep, suman un total de 138,2 M. Tep, siendo Oriente Medio el mayor proveedor de reservas de petróleo con 89,2 M. Tep, seguido de Norteamérica con 11,7 M. Tep y América del Sur con 11,4 M. (World Energy Council, 2010)

En lo referente a gas natural, las reservas mundiales de gas natural de casi 200 billones de m³, son lo suficientemente abundantes para cubrir la demanda mundial durante muchas décadas. En la actualidad la mitad de la demanda de gas en Europa está cubierta por la producción nacional. La otra mitad ha sido importada desde Rusia (25%), África (20%, principalmente Argelia) y Oriente Medio (5%) (World Energy Council, 2010).

Existen diferentes modelos de caracterización de este impacto. Las ecuaciones de los modelos de caracterización tienen rasgos similares, pero tanto los factores de caracterización como la interpretación de los resultados son muy variables.

Para la obtención del agotamiento de los recursos abióticos se emplea la siguiente fórmula:

$$\text{Uso de recursos} = (\text{cantidad consumida (kg)} \times \{1/\text{recursos (kg)}\})$$

3.7.7 El consumo de energía primaria

Es la energía consumida en la obtención de materias primas, fabricación, distribución uso y fin de vida del elemento analizado. Tanto la producción de energía, como los procesos de transformación, el transporte y su utilización, implican un impacto notable sobre el medio ambiente. Impactos que dependerán de la fuente de energía utilizada, las técnicas empleadas en su producción y transformación, así como de su utilización en los distintos sectores como es el de la industria, edificación, transporte, agricultura, consumo doméstico y uso comercial (Amestoy, 2000). Las actividades de generación (captación, transformación, transporte), uso y degradación de energía provocan impactos sobre el medio ambiente, tanto en relación con el agotamiento del

Capítulo 3. LOS INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD, SISTEMAS DE EVALUACIÓN MEDIOAMBIENTAL

recurso como en los efectos propios de la generación, uso y degradación. Para evaluar el impacto de las actividades relacionadas con la energía se debe considerar el ciclo completo del sistema energético (IDAE, 2000).

Los recursos energéticos pueden pertenecer a dos categorías, los renovables y los no renovables:

- Recursos renovables: son aquellos que poseen un potencial energético inagotable, al ser de origen fundamentalmente solar: hidráulica, solar térmica, solar fotovoltaica, biomasa, eólica, térmica de los océanos, mecánica de las olas, maremotriz, geotérmica,
- Recursos no renovables: existentes en la tierra en cantidades fijas y que son agotables: carbón, petróleo, gas natural, uranio.

Las fuentes de energía se dividen en dos clases:

- Fuentes primarias.
- Fuentes secundarias.

Las fuentes primarias son aquellas que se encuentran de forma espontánea en la naturaleza y o bien se utilizan directamente o bien se emplean para producir electricidad o hidrógeno (fuentes secundarias). Entre las fuentes primarias están los combustibles fósiles, la energía nuclear o las energías renovables.

Las energías secundarias no se encuentran en la naturaleza espontáneamente y en su producción se producen importantes pérdidas (Barquin, 2004).

Efectos: De seguir con los actuales sistemas de producción, seguirá aumentando la demanda mundial de energía. Según datos de la OCDE la tasa de crecimiento anual será mayor en los países no desarrollados, el 4,5 % anual, mientras que las tasas más bajas se esperan en los países desarrollados de la OCDE, en torno al 1,3 % anual. Sin embargo, no hay que olvidar que aunque se espere una reducción en el porcentaje total de consumo mundial de energía de estos países (del 46 % actual al 43 %), continuará siendo la región del planeta con mayor consumo de energía por habitante.

Existen diferentes modelos de caracterización de este impacto. Las ecuaciones de los modelos de caracterización tienen rasgos similares, pero tanto los factores de caracterización como la interpretación de los resultados son muy variables.

$$\text{Agotamiento de recursos abióticos} = \sum_i \text{PRA}_i \cdot m_i$$

dónde:

PRA_i = Potencial de agotamiento de recursos abióticos i (unidades dependen del método usado)

m_i = Masa del compuesto i

La energía y sus fuentes son un recurso abiótico. Existen diferentes modelos de caracterización de este impacto. Las ecuaciones de los modelos de caracterización tienen rasgos similares, pero tanto los factores de caracterización como la interpretación de los resultados son muy variables (Straus, 2006).

3.7.8 El consumo de agua

La utilización y la gestión del agua en la construcción y en el desarrollo de nuevos sistemas para la mejora de su uso y ahorro en las viviendas requieren una especial atención desde que se proyecta el edificio, con el objetivo de avanzar hacia un modelo

Capítulo 3. LOS INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD, SISTEMAS DE EVALUACIÓN MEDIOAMBIENTAL

de construcción más sostenible. Ante la actual situación de sequía, con una opinión pública cada vez más preocupada por el agua, y teniendo en cuenta la normativa al respecto, el sector constructivo avanza hacia una edificabilidad en la que la utilización del recurso líquido sea cada vez más eficiente (AAVV, 2000).

3.7.9 Smog foto-químico. Formación de oxidantes foto-químicos

La formación de foto-oxidantes es la generación de compuestos químicamente reactivos tales como el ozono, por la acción de la luz del sol sobre ciertos contaminantes primarios. Es un fenómeno típico de las grandes urbes, caracterizado por la generación de compuestos químicamente reactivos como el ozono y por la acción de la luz del sol sobre ciertos contaminantes primarios. Se origina a partir de los óxidos de nitrógeno, procedentes fundamentalmente de los tubos de escape, y los hidrocarburos presentes en el aire. Una vez en la atmósfera, reaccionan gracias a la energía de la luz solar.

Estos oxidantes foto-químicos pueden ser dañinos a la salud humana, al ecosistema y pueden también afectar los cultivos.

Los foto-oxidantes se pueden formar en la troposfera bajo la influencia de la luz ultravioleta, a través de reacciones de oxidación de Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs) y monóxido de carbono en la presencia de óxidos de nitrógeno.

Su componente más dañino es el ozono troposférico, que provoca irritaciones en las mucosas, en los ojos y en el sistema respiratorio y daña seriamente a la vegetación lejos de resultar beneficioso como el estratosférico, que a gran altura nos defiende de las radiaciones ultravioleta (Contreras, 2008).

El cálculo del indicador de formación de foto-oxidantes se basa en la siguiente fórmula: (Guinée et al. 2002):

$$\text{Formación de foto oxidantes} = \sum_i \text{POCPi} \times \text{mi}$$

donde:

POCPi = Potencial de creación de ozono fotoquímico del compuesto i

mi = Masa del compuesto i

3.7.10 Efectos sobre la salud humana

1. Toxicidad humana.

En esta categoría se contemplan los efectos sobre los humanos y los ecosistemas debidos a la contaminación atmosférica o contaminación del aire. La contaminación del aire es actualmente uno de los problemas ambientales más severos a nivel mundial. Puede ser clasificada por causas naturales o antropogénicas. Entre las principales fuentes de contaminación atmosférica están:

- Fuentes naturales: polvo con materias biológicas, esporas, polen y bacterias.
- Fuentes agrícolas: insecticidas y herbicidas empleados en la agricultura.
- Fuentes tecnológicas: procesos industriales de todo tipo consumo industrial, doméstico de combustibles fósiles y vehículos de motor.

Capítulo 3. LOS INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD, SISTEMAS DE EVALUACIÓN MEDIOAMBIENTAL

Existen factores topográficos y meteorológicos que influyen en la contaminación atmosférica, entre los que se pueden citar:

- Topografía del terreno.
- Edificaciones existentes.
- Vientos: dirección y velocidad.
- Lluvia.
- Presión barométrica.
- Espacio de difusión (área sobre la que se mueven los contaminantes y altura máxima a que pueden llegar las corrientes de aire) (Romero et al., 2006).

Entre los principales contaminantes con capacidad de afectar la salud de los individuos están los que provienen de emisiones primarias o transformaciones atmosféricas: el monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, hidrocarburos no quemados, ozono y otros oxidantes fotoquímicos, plomo y, en menor proporción, las partículas suspendidas totales de bióxido de azufre y los compuestos orgánicos volátiles.

Los contaminantes y sus derivados pueden producir efectos adversos a la salud, e interactuar y alterar las moléculas indispensables para los procesos bioquímicos y fisiológicos del cuerpo humano (Romero et al., 2006).

El empleo de determinados materiales de construcción incide en el medio ambiente, en general; y, en particular, en la salud. Los contaminantes y toxinas y sus efectos biológicos inherentes a los materiales de construcción en procesos de combustión y a determinados productos de uso y consumo van desde gases como ozono y radón, monóxido de carbono, hasta compuestos orgánicos volátiles como organoclorados (PVC).

Además los residuos de los materiales de construcción proceden, en su mayor parte, de derribos de edificios o de rechazos de materiales de construcción de obras de nueva planta o de reformas. Algunos residuos con proporciones de amianto, fibras minerales o disolventes y aditivos de hormigón pueden ser perjudiciales para la salud (Arenas, 2007).

Existen otras sustancias cuya fabricación y distribución representa un riesgo para la salud humana. La mayoría de estas sustancias tóxicas son productos químicos sintéticos que penetran en el medio ambiente y persisten en él durante largos periodos de tiempo.

Las consecuencias de estas sustancias si se filtran en el suelo o agua es que pueden contaminar las cosechas, los animales y las personas, asociándose a defectos congénitos, abortos y enfermedades orgánicas (Sanchez y Yerena, 2006).

El cálculo del indicador de formación de la toxicidad en humanos se basa en la siguiente fórmula: (Guinée et al., 2002).

$$\text{Formación de foto oxidantes} = \sum_i PTH_{ij} \times f_{i,n} \times m_i$$

dónde:

PTH es el factor de caracterización de potencial de toxicidad

$f_{i,n}$ = fracción de la sustancia que se transporta

El valor de la toxicidad humana se calcula como sigue:

Capítulo 3. LOS INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD, SISTEMAS DE EVALUACIÓN MEDIOAMBIENTAL

Efectos sobre la salud humana, considerando la ponderación de valores de toxicidad humana de las emisiones: $HCA \times \text{emisiones al aire (Kg)} + HCW \times \text{emisiones al agua (kg)}$

dónde:

(HCA): Clasificación de los valores para el aire

(HCW): Clasificación de los valores para el agua (HCW)

Existen compuestos cuya naturaleza cancerígena ha sido objeto de estudio. Por ejemplo el dibromoetano (EDB), pesticida halogenado, despertó gran alarma por su naturaleza carcinógena en la década de los ochenta y fue finalmente prohibido.

Los bifelinos policlorados (PCB), se han utilizado durante años en la producción industrial y su impacto sobre el hombre ha sido similar al de los pesticidas, debido a su extrema toxicidad su uso ha quedado restringido a los aislantes de los transformadores y condensadores eléctricos.

El PCDD es altamente tóxico, aunque el grado de toxicidad para el hombre no ha sido comprobado.

3.7.11 Las consecuencias tóxicas de los metales pesados

Los metales pesados son elementos metálicos con gran peso atómico, como por ejemplo: mercurio, cromo, cadmio, arsénico, plomo, cobre, zinc y níquel. A bajas concentraciones pueden afectar a los seres vivos y tienden acumularse en la cadena alimentaria.

Todos los metales tienen niveles óptimos de concentración, por encima de los cuales resultan tóxicos, toxicidad que depende de su vía de administración y del compuesto químico al que está ligado. La combinación de un metal con un compuesto orgánico puede aumentar o disminuir sus efectos tóxicos sobre las células. La toxicidad suele resultar:

- Cuando el organismo se ve sometido a una concentración excesiva del metal durante un periodo prolongado.
- Cuando el metal se presenta en una forma bioquímica.
- Cuando el organismo lo absorbe por vía inusitada.

Los metales siguen muchas vías y ciclos en el medio ambiente, y algunos de ellos experimentan transformaciones. Algunas plantas y animales invertebrados acumulan metales hasta niveles potencialmente tóxicos.

A continuación se resumen la acción y efectos diversos de ocho elementos de metales pesados (arsénico, cadmio, cobre, cromo, mercurio, níquel, plomo y zinc).

1. Mercurio

El mercurio (Hg), es venenoso para todos los sistemas vivientes. La mayor parte del mercurio se obtiene de un mineral que contiene Cinabrio, HgS, calentándolo al aire. El mercurio entra al medio ambiente en la forma elemental o en la forma de compuestos de mercurio debido a las actividades industriales y agrícolas y también

Capítulo 3. LOS INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD, SISTEMAS DE EVALUACIÓN MEDIOAMBIENTAL

penetra en el medio ambiente debido a compuestos químicos, farmacéuticos y pinturas, combustión del carbón, el petróleo y la gasolina (Dickson, 1999).

El mercurio se incorpora a la cadena alimenticia y produce la concentración biológica de mercurio dentro de esta. Esta concentración biológica hace que el mercurio se incorpore a la parte superior de la cadena alimenticia. El contenido excesivo de mercurio en el sistema del hombre puede producir el envenenamiento por mercurio que puede ser fatal o causar daños permanentes en el cerebro.

2. Plomo

El plomo (Pb) constituye un elemento tóxico que se acumula en el cuerpo conforme se inhala del aire o se ingiere con los alimentos y el agua. El plomo se ha empleado durante muchos siglos para fabricar tuberías, utensilios, depósitos, compuestos químicos antidetonantes para la gasolina, pigmentos, pinturas y vidriados cerámicos (Dickson, 1999).

La acumulación y toxicidad aparecen si se absorben más de 0.5 mg por día. La vida media del plomo en los huesos es de 32 años y en el riñón de 7 años.

3. Cadmio

El cadmio (Cd) es un metal tóxico que se origina como subproducto de la refinación del zinc. Los fertilizantes fosfatados contienen algo de cadmio que las plantas pueden absorber.

Parece haber solo pequeñas cantidades de este elemento en el aire, el agua y los alimentos, sin embargo, las cantidades excesivas de cadmio pueden provocar daños en el hígado, los riñones y el bazo (Dickson, 1999).

3. Cromo

El cromo (Cr) es usado en la industria del acero, en galvanoplastia, en el curtido del cuero y como anticorrosivo en radiadores (Robertson, 1988).

El cromo trivalente es la forma útil nutricionalmente, mientras que el exavalente no lo es. Su contenido en los tejidos del organismo es impreciso por lo inadecuado de los métodos analíticos. No obstante, es generalmente aceptado, que las concentraciones son muy bajas.

4. Arsénico

El arsénico (As) se encuentra en la corteza terrestre en combinación con otros metales, principalmente en forma de sulfuros. Como fuentes de contaminación se encuentran la producción de aceros especiales, pinturas, esmaltes, residuos de usos agrícolas (herbicidas, fungicidas), suplementos minerales en los piensos, emisiones a la atmósfera producidas por combustión del carbón y gases industriales, etc.

El arsénico (As) se utiliza en venenos, insecticidas, herbicidas, pinturas, papel tapiz, cerámica y vidrio.

La acción de los ácidos sobre los metales en presencia de arsénico forma el gas arsina. Las aleaciones como el ferro silicón pueden desprender arsina al contacto con agua,

Capítulo 3. LOS INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD, SISTEMAS DE EVALUACIÓN MEDIOAMBIENTAL

ya que el primero puede estar contaminado con arsénico (Robertson, 1988). Las manifestaciones principales del envenenamiento con arsénico son trastornos gastrointestinales, fundamentalmente la hemólisis.

5. Zinc

El zinc (Zn) es un metal que tiene muchos usos en la industria. Puede encontrarse en forma pura o mezclado con otros metales para formar aleaciones como bronce. También puede encontrarse combinado con otras sustancias químicas, como el cloro (cloruro de zinc).

Los compuestos de zinc se encuentran en forma natural en el aire, el suelo y el agua, y están presentes en todas las comidas.

El zinc es un elemento esencial en la comida que necesita el cuerpo en dosis bajas. Demasiado zinc puede también interferir con el sistema inmune del cuerpo (Ramírez, 1999).

6. Níquel

El níquel (Ni) es un elemento metálico de color blanco plateado resistente a los álcalis, pero, que generalmente se disuelve en ácidos oxidantes diluidos. En los sistemas biológicos el níquel disuelto, puede formar complejos y ligarse a la materia orgánica.

Este elemento y sus diferentes compuestos, se encuentran ampliamente distribuidos en el ambiente, incluyendo plantas y animales usados para el consumo humano. Diversos efectos tóxicos han sido relacionados con la exposición al níquel o sus compuestos. (INEHM, 1992).

7. Cobre

El cobre (Cu) fue uno de los primeros metales usados por el hombre en estado puro, por la fácil extracción de sus minerales. La contaminación ambiental por cobre es poco frecuente. Se ha detectado en aguas que discurren próximas a yacimientos, así como terrenos y plantas cercanas o sometidas a tratamientos agrícolas con sales cúpricas, dadas sus aplicaciones como pesticidas, herbicidas y plaguicidas.

El cobre es un nutriente esencial. Existen evidencias de que la ingestión de cobre es inferior a la requerida para una óptima nutrición humana. La concentración del cobre en la superficie terrestre se estima en 50 mg/Kg. La forma química en que se encuentra el mismo en el agua no está totalmente determinada. Su concentración, tanto en agua como en alimentos, es extremadamente variable (INHEM, 1992).

La contaminación por metales pesados está asociada usualmente con las descargas municipales, agrícolas e industriales que van directamente hacia los ríos y lagos de cuencas hidrológicas. Sin embargo también se relacionan con la lixiviación de desechos inorgánicos, descargas sólidas de residuos peligrosos y basuras domésticas e industriales (Alejo, 2004).

3.8 Conclusiones

Los sistemas internacionales se han erigido como referentes para la elaboración de sistemas nacionales y regionales, sobre todo en los países desarrollados, tomando generalmente como valores objetivos aquellos que se han trazado en los distintos tratados y convenios a nivel mundial (Protocolo de Kyoto, Objetivos del Milenio, Agenda 21, Estrategia de Gotemburgo, etc.)

Además, la información presentada bajo la forma de indicadores permite completar los informes periódicos sobre el estado del medio ambiente, e incluso elaborarlos contribuyendo así a la supervisión de los progresos registrados en política medioambiental y a la integración de las directrices ambientales en las políticas sectoriales.

Desde el punto de vista metodológico, es necesario destacar que el marco de análisis elegido para la estructuración del sistema de indicadores es el denominado «Presión-Estado-Respuesta (PER)», adoptado por la OCDE y basado en el modelo de causalidad.

Los diferentes marcos presentados en la sección 3.2.1 se basan en las percepciones diferentes de Desarrollo Sostenible. A pesar de que el marco adecuado, a menudo se señala como importante para la selección de los integradores de sistemas no existe un marco superior.

Los indicadores son en general desarrollados sobre la base de empresas, normalmente, para medir e informar del medio ambiente en la escala de instalación o de la empresa. El siguiente paso para la medición de la sostenibilidad futura, al menos en nivel corporativo, es el desarrollo de procedimientos adecuados y marcos para la selección del sistema de indicadores (SI), con una perspectiva de ciclo de vida en todos los aspectos del desarrollo sostenible.

El Banco Mundial está considerando un informe anual sobre el avance mundial hacia el Desarrollo Ambientalmente Sostenible. Hay un marco conceptual tentativo basado en el sistema de la OCDE para indicadores ambientales (Presión, Estado, Respuesta), añadiendo indicadores socioeconómicos clave y agrupamiento (clustering de cuestiones ambientales (O'Connor, 1994).

En el capítulo 4 se seleccionan los indicadores utilizados en este estudio.

Capítulo 4. IDENTIFICACIÓN Y SELECCIÓN DE LOS INDICADORES ADECUADOS PARA EVALUAR LA SOSTENIBILIDAD DE LOS EDIFICIOS

La elección de los indicadores no es una cuestión exclusivamente técnica, sino más bien es el resultado de unos objetivos políticos utilizados en una valoración de nivel estratégico, para valorar una infraestructura concreta, en un nivel más local. (Arce et al., 2005).

Es importante insistir en que el análisis del impacto ambiental de los edificios mediante una adecuada selección y ponderación de los indicadores debe servir para que el Órgano ambiental tome la decisión de establecer las medias preventivas, correctoras o compensatorias necesarias (García, A. 2009). Un marco adecuado para definir los indicadores de sostenibilidad de los edificios debería estar basado en el criterio de que la construcción ha de plantearse el objetivo de alcanzar el grado técnico buscado con el mínimo impacto ambiental. En el congreso CONAMA de 2012, se concluyó la necesidad de establecer criterios y parámetros para medir las mejoras ambientales y los costes, tanto de inversión como de mantenimiento de los edificios (Conama, 2012).

En el ámbito de las grandes empresas constructoras se han desarrollado esfuerzos, a fin de introducir indicadores de su gestión en obra que sirvan de partida para indicadores más específicos tanto en obra civil como en edificación (Burgueño, 2004). Arce analizó el desarrollo de algunas propuestas de indicadores de sostenibilidad para la evaluación de infraestructuras para ser utilizados en una valoración de nivel estratégico (Arce et al., 2005).

Complementariamente se ha definido el ACV como un sistema objetivo para evaluar los efectos medioambientales asociados a un producto, un proceso o una actividad, por medio de la identificación y cuantificación del uso de energía y materiales y de la emisión de residuos al entorno. La dificultad de aplicar una evaluación ambiental basada en el ACV a los edificios se centra fundamentalmente en dos aspectos:

- De una parte resulta difícil asignar valores predeterminados a los edificios dado que la edificación en España, es un proceso que se desarrolla fundamentalmente “in situ” y las variaciones resultantes en función de la orientación del edificio, de la tipología o las diferentes soluciones constructivas adoptadas para la envolvente, pueden ser determinantes para la obtención de los impactos en la fase uso.
- El cambio de escenario que representa valorar la fase de fabricación, transporte y puesta en obra considerando los impactos de los materiales y de los combustibles obtenidos a partir de bases de datos más o menos estandarizadas, respecto de la consideración de los impactos producidos durante la fase uso del edificio debidos a los consumos de las instalaciones de climatización. Este cambio permitiría establecer la vinculación directa de cada una de las posibles soluciones constructivas de la envolvente y los consumos producidos.

En cualquiera de los casos la dificultad principal consiste en seleccionar indicadores apropiados para su medición y en estructurar un mecanismo de cuantificación. Los

Capítulo 4. IDENTIFICACIÓN Y SELECCIÓN DE LOS INDICADORES ADECUADOS PARA EVALUAR LA SOSTENIBILIDAD DE LOS EDIFICIOS

elementos que participan en un proceso de decisión, por lo general, se miden en escalas diferentes por lo que se requiere transformar estas unidades en una unidad abstracta que sea válida para todas las escalas.

Existe una gran variedad de metodologías para la identificación de indicadores de sostenibilidad (OCDE, 1993 y 1999; Mitchell et al., 1995; Gallopín, 1997; Boisvert et al. 1998; Verbruggen, 1999; Romstad, 1999; Nardo, 2005; Sauvenier et al. 2006).

Ahora bien, actualmente no existe una norma estándar para la identificación y selección de indicadores que siga una metodología científico-técnica.

En este capítulo nos planteamos como objetivos definir una metodología para identificar, seleccionar, priorizar y desarrollar los indicadores de sostenibilidad que permitan valorar las soluciones constructivas de la envolvente de los edificios para apoyar al diseñador en la selección de las opciones que garanticen, a priori, la reducción de los impactos ambientales de los edificios al final de su ciclo de vida. También se ha de tener en cuenta que las tres principales funciones que deben cumplir los indicadores de sostenibilidad en general son la cuantificación, la simplificación y la comunicación.

En el presente capítulo se ha seleccionado el marco metodológico para la presentación de los indicadores. A continuación se ha analizado la Normativa específica en materia de sostenibilidad de los edificios. Seguidamente se han establecido los objetivos y criterios para la selección de los indicadores adecuados y finalmente se han extraído conclusiones.

4.1 Selección del marco metodológico

Desde el punto de vista metodológico, tal y como se ha explicado en el capítulo 3, existen multitud de métodos que suponen procedimientos alternativos para la evaluación y obtención de indicadores de sostenibilidad.

Dentro del grupo de los modelos analíticos, el marco metodológico seleccionado es el Modelo Presión-Estado-Respuesta (PER), desarrollado por la OCDE (1994) basado en la lógica causal de acción y respuestas, ya que como se ha explicado, este modelo está basado en el principio de causalidad directa, introducido con fuerza en el conjunto de países de la OCDE.

Desde esta perspectiva, los indicadores ambientales se pueden clasificar, tal y como se ha explicado en el apartado 3.2.1, en los siguientes grupos:

- Indicadores de Presión: (ej. las emisiones de CO₂)
- Indicadores de Estado del medio ambiente: describen la calidad del medio y de los recursos naturales. Estos indicadores integran los impactos medioambientales de índole general.

Este modelo se puede utilizar como formato para estructurar los indicadores que ocasionan una presión sobre el ambiente, al cual la sociedad responde con medidas o acciones para reducir o prevenir el impacto. Además también presenta las siguientes ventajas:

- El modelo PER constituye un avance al integrar los datos ambientales con los económicos y sociales. Los indicadores de presión incorporan datos económicos y sociales, mientras que los indicadores ambientales representan en particular la categoría de estado.
- Este modelo es el más utilizado como sistema de seguimiento y evaluación de políticas, planes, programas y proyectos sostenibilidad, ya que permite

Capítulo 4. IDENTIFICACIÓN Y SELECCIÓN DE LOS INDICADORES ADECUADOS PARA EVALUAR LA SOSTENIBILIDAD DE LOS EDIFICIOS

establecer la base para comprobar la eficacia de las medidas adoptadas teniendo en cuenta las variaciones producidas en el estado y la presión gracias a la respuesta de la sociedad. Para que el modelo pueda ser utilizado en el seguimiento y análisis de las relaciones sociedad-ambiente se hace necesario una aproximación ecológica-geográfica a diferentes escalas (Winograd, 1998; Gallopin, 1997).

Este modelo puede ser útil para describir las causas de los problemas ambientales y establecer una conexión entre las emisiones y los impactos, sin embargo, presenta las siguientes desventajas:

- No aborda la complejidad multicausal de las interacciones entre los ecosistemas y las acciones, y tampoco aborda de forma explícita los efectos adversos de los problemas ambientales sobre la salud (Schütz, 2008), por ello puede ser insuficiente para establecer la dimensión económica y social del desarrollo sostenible.
- También puede haber confusión sobre la ubicación de determinados indicadores en una categoría específica, por ejemplo, un indicador de respuesta también puede ser un indicador de presión.
- No siempre encontramos una secuencia metodológica al formular indicadores PER, los indicadores son propuestos de manera independiente, todos se relacionan con el tema que los motiva pero no es posible establecer relaciones entre los distintos indicadores, cada indicador es válido por sí solo y como tal debe ser abordado debido a su lógica causal y lineal (Quevedo, 2008).
- No es un modelo preventivo, solo permitirá establecer el diagnóstico de la situación pero no puede ser utilizado en programas o políticas donde se aplique el principio de prevención.
- La demanda de información para la descripción de un problema sobre el que decidir, se enfrenta en este modelo con la ausencia de un marco teórico apropiado. Frente a tal carencia, se opta en muchas ocasiones por integrar un alto número de variables en el sistema, por temor a dejar variables significativas fuera, retornando al punto de partida, una cantidad ingente de datos que no transmiten la información necesaria para tomar decisiones (Rueda, 1999).

Los indicadores ambientales han sido diseñados conforme al principio de causalidad (causa-efecto) entre los impactos identificados en distintas fases y la previsión razonada de las consecuencias previsibles.

4.2 Análisis de la normativa específica en materia de sostenibilidad de los edificios

Para estandarizar y homogeneizar criterios de evaluación de la sostenibilidad de edificios y hacer posible su comparación y certificación con criterios semejantes; desde la Internacional Organization for Standardization (ISO) han surgido una serie de estándares para la normalización de la selección de indicadores estableciendo marcos de trabajo y guías para la evaluación según los diferentes pilares de la sostenibilidad

NORMAS SOBRE INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD EN EDIFICIOS

UNE-ISO/TS 21929-1:2009 IN

Sostenibilidad en construcción de edificios - Indicadores de sostenibilidad - Parte 1: Marco para el desarrollo de indicadores para edificios
Estado: Vigente 11/03/2009

UNE-ISO/TS 21931-1:2008 IN

Sostenibilidad en construcción de edificios. Marco de trabajo para los métodos de evaluación del comportamiento medioambiental de los trabajos de construcción. Parte 1: Edificios.
Estado: Vigente 30/07/2008

UNE-EN 15643-1:2012

Sostenibilidad en la construcción. Evaluación de la sostenibilidad de los edificios. Parte 1: Marco general.
Estado: Vigente 28/11/2012

UNE-EN 15643-2:2012

Sostenibilidad en la construcción. Evaluación de la sostenibilidad de los edificios. Parte 2: Marco para la evaluación del comportamiento ambiental.
Estado: Vigente 28/11/2012

UNE-EN 15643-3:2012

Sostenibilidad en la construcción. Evaluación de la sostenibilidad de los edificios. Parte 3: Marco para la evaluación del comportamiento social.
Estado: Vigente 28/11/2012

UNE-EN 15643-4:2012

Sostenibilidad en la construcción. Evaluación de la sostenibilidad de los edificios. Parte 4: Marco para la evaluación del comportamiento económico.
Estado: Vigente 28/11/2012

UNE-EN 15978:2012

Sostenibilidad en la construcción. Evaluación del comportamiento ambiental de los edificios. Métodos de cálculo.
Estado: Vigente

DECLARACIONES AMBIENTALES DE PRODUCTO DAP

Para la realización de las declaraciones ambientales de producto se consultaron los trabajos del ISO/TC59 prISO 21930, los trabajos CEN/TC 350, y los trabajos AENOR TC41/SC9 sobre Construcción sostenible. Los del CEN (Comité europeo de normalización) son:

CEN/TR 15941:2010 Sostenibilidad de la construcción – Declaraciones Ambientales de Producto – Metodología para la selección y uso de datos generales.

Capítulo 4. IDENTIFICACIÓN Y SELECCIÓN DE LOS INDICADORES ADECUADOS PARA EVALUAR LA SOSTENIBILIDAD DE LOS EDIFICIOS

CEN 15804:2012 Sostenibilidad de la construcción – Declaraciones Ambientales de Producto – Reglas de categoría de producto para productos de la construcción.

CEN 15942:2011 Sostenibilidad de la construcción – Declaraciones Ambientales de Producto – Formato de comunicación empresa-a-empresa.

UNE-EN 15942:2012

Sostenibilidad en la construcción. Declaraciones ambientales de producto.
Formato de comunicación negocio a negocio.
Estado: Vigente30/05/2012

UNE-CEN/TR 15941:2011 IN

Sostenibilidad en la construcción. Declaraciones ambientales de producto.
Metodología para la selección y uso de datos genéricos.
Estado: Vigente28/09/2011

UNE-EN 15804:2012

Sostenibilidad en la construcción. Declaraciones ambientales de producto.
Reglas de categoría de productos básicas para productos de construcción.
Estado: Vigente20/02/2013

DIRECTIVAS EUROPEAS.

Las directivas Europeas que se han tenido en cuenta son las relativas a la eficiencia energética de los edificios que son las siguientes.

DIRECTIVA 2002/91/CE relativa a la eficiencia energética en edificios. Surge con la finalidad de fomentar la eficiencia energética de los edificios de la Comunidad, teniendo en cuenta las condiciones climáticas exteriores y las particularidades locales, así como los requisitos ambientales interiores y la relación coste-eficacia.

DIRECTIVA 2008/98/CE que plantea como objetivos la gestión y reutilización de los residuos.

DIRECTIVA 2010/31/UE que plantea el objetivo de que todos los edificios que se construyan a partir del 2020 sean edificios de consumo de energía casi nulo (NZEB). La metodología de cálculo específica está descrita en las guías anexas a la Directiva y consiste básicamente en:

- Definición de los edificios de referencia
- Definición de los conjuntos de medidas de mejora de la eficiencia energética
- Cálculo del coste global de las medidas de mejora
- Cálculo del consumo de energía primaria asociada a los edificios de referencia + MMs
- Definición de la curva “coste-efectividad”.

DIRECTIVA 2012/27/UE sobre eficiencia energética (EED), aprobada por el PE el 11 de septiembre de 2012. Define la obligatoriedad de comparar y evaluar el comportamiento energético de los edificios.

Capítulo 4. IDENTIFICACIÓN Y SELECCIÓN DE LOS INDICADORES ADECUADOS PARA EVALUAR LA SOSTENIBILIDAD DE LOS EDIFICIOS

NORMATIVA ESPECÍFICA ESPAÑOLA

REAL DECRETO 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. Código Técnico de la Edificación CTE, como norma básica estatal que incorpora todas las anteriores y conlleva la publicación de un nuevo conjunto de Documentos Básicos DB de obligado cumplimiento.

Orden FOM/1635/2013, de 10 septiembre, por la que se actualiza el Documento Básico DB-HE "Ahorro de Energía", del Código Técnico de la Edificación.

REAL DECRETO 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios.

REAL DECRETO 238/2013, de 5 de abril, por el que se modifican determinados artículos e instrucciones técnicas del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios

LA INSTRUCCIÓN DE HORMIGÓN ESTRUCTURAL (EHE) de 2008 que presenta un nuevo anejo voluntario para calcular el índice de Contribución de las Estructuras de hormigón a la Sostenibilidad.

REAL DECRETO 105/2008, de 1 de febrero, por el que se regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición.

Ley 22/2011, de 28 de julio, por el que se regula la Producción y Gestión de los Residuos de Construcción y Demolición de 2008.

REAL DECRETO 235/2013 por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios, en trasposición de Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de mayo de 2010 incorporando el Procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios existentes.

4.3 Establecimiento de objetivos y criterios para la selección de indicadores

Como son numerosos los indicadores que se pueden plantear, resulta necesario antes de proceder a la selección de unos determinados indicadores, establecer claramente los objetivos de sostenibilidad y determinar cuáles son los criterios de selección a utilizar.

Como principales objetivos, ante la selección de unos adecuados indicadores de sostenibilidad, se plantean **los beneficios ambientales y económicos** de las posibles soluciones constructivas a adoptar en el proyecto. Se intenta reducir los costes en energía reduciendo la demanda; reduciendo paralelamente los costes de fabricación y mantenimiento sin menoscabar la calidad de las soluciones adoptadas. Estos beneficios podrían ser cuantificables mediante una comparación entre las diferentes alternativas. El indicador es una variable que sirve para cuantificar estas alternativas. Los indicadores se diferencian de los criterios, dado que éstos últimos sirven para definir características consideradas importantes juzgando su cumplimiento, al tiempo que los indicadores son medidas que responden a esos criterios, es decir describen la dirección del cambio (Haapio, 2008).

Capítulo 4. IDENTIFICACIÓN Y SELECCIÓN DE LOS INDICADORES ADECUADOS PARA EVALUAR LA SOSTENIBILIDAD DE LOS EDIFICIOS

Para la identificación de objetivos y criterios de selección, también se ha tenido en cuenta la opinión de los expertos; según Salazar, los parámetros genéricos que permiten evaluar la construcción son la materia, la energía, el agua y los residuos (Zalazar, 2010).

En cuanto a la materia, la construcción es responsable del consumo de una gran cantidad de recursos tanto materiales como energéticos. En este caso los criterios a tener en cuenta deberían ser:

- Consumo mínimo de materiales
- Uso de recursos de manera eficiente
- Uso de recursos renovables
- Evitar el uso de materiales potencialmente peligrosos para la salud humana.

En cuanto a la energía, los objetivos a plantear son la reducción de los consumos, que a su vez supondrán una reducción de los impactos relativos a las emisiones. Los criterios a tener en cuenta serían:

- Reducir la demanda de energía.
- Potenciar el uso de energías renovables por encima de energías convencionales.

En cuanto al consumo de agua, el ahorro y la eficiencia en el uso del agua conllevan en sí mismos importantes beneficios ambientales, dada la escasez de agua en nuestro país, los objetivos a plantear deben conducir a reducir el consumo de agua. Los criterios a tener en cuenta serían:

- Reducir el consumo de agua durante la fase de fabricación.
- Utilizar sistemas de construcción en seco.

En cuanto a los residuos, los objetivos a plantear serían reducir la producción de residuos peligrosos y no peligrosos. Los criterios identificados, con respecto a los residuos a tener en cuenta deberían ser:

- Minimizar la producción de residuos sólidos, líquidos y gaseosos.
- Propiciar el uso de los materiales biodegradables.
- Proponer el uso de materiales reciclables (Zalazar, 2010).

4.4 Identificación y clasificación de los indicadores para evaluar la sostenibilidad de los edificios

Para identificar los indicadores que ayuden a evaluar la sostenibilidad de los edificios, se han tenido en cuenta los principios propuestos por Sauvenier et al. (2006): a) base analítica sólida, b) mensurabilidad, c) relevancia política y d) relevancia para la sostenibilidad del sistema en cuestión. De manera adicional, se ha considerado el criterio de 'aplicabilidad', siguiendo el planteamiento de pragmatismo sugerido por Pannell y Glenn (2000), seleccionando aquellos indicadores que pudieran ser calculados de forma sencilla y económica, a partir de información obtenida.

Además, se ha tenido en cuenta que la evaluación de la sostenibilidad debe realizarse de acuerdo con las tres dimensiones del desarrollo sostenible, es decir mediante indicadores ambientales, indicadores económicos e indicadores sociales.

Capítulo 4. IDENTIFICACIÓN Y SELECCIÓN DE LOS INDICADORES ADECUADOS PARA EVALUAR LA SOSTENIBILIDAD DE LOS EDIFICIOS

- **La evaluación de la sostenibilidad a través de indicadores medioambientales**

Un indicador medioambiental de un edificio se refiere a un aspecto medioambiental tanto en términos de cargas como de impactos. Las cargas ambientales son el uso de los recursos y la producción de residuos, olores, ruido y emisiones perjudiciales para el suelo, el agua y el aire. Dichas cargas están relacionadas con impactos ambientales, que pueden expresarse como categorías de impactos. Los indicadores también pueden expresarse en términos de carga o impacto.

- **La evaluación de la sostenibilidad a través de indicadores económicos**

Para la evaluación de la sostenibilidad considerando indicadores económicos se tienen en cuenta todos los costes que desde un punto de vista de construcción tienen importancia en la vida útil del edificio, incluyendo los criterios de plazo y calidad.

Así, se debe considerar el coste de los materiales necesarios en obra, el coste de la ejecución física de la construcción y el coste de la deconstrucción cuando el edificio ha llegado al final de su ciclo de vida, incluyendo el transporte necesario y el coste de una correcta gestión de residuos posterior (revalorización).

Durante la fase uso del edificio, los costes a considerar, deberán incorporar los costes de mantenimiento y los costes de la energía. Los indicadores económicos de los edificios deben proporcionar un equilibrio entre los aspectos económicos a largo y a corto plazo.

- **La evaluación de la sostenibilidad a través de indicadores sociales**

La dimensión social de la sostenibilidad en la construcción está relacionada con los impactos causados en los sistemas sociales en los que actúa, es decir, están relacionados con las condiciones de vida y grado de aceptación de la tecnología. De los indicadores sociales cabría destacar su importancia y complejidad, y no forman parte de los objetivos marcados en esta tesis.

Finalmente para llevar a cabo la identificación y selección de los indicadores de sostenibilidad a evaluar, se utilizarán las siguientes técnicas:

- Análisis de la documentación existente en la literatura (supervisión de artículos científicos, manuales, ponencias, congresos, etc.)
- Revisión de los indicadores considerados en la normativa en vigor.
- Revisión de los indicadores considerados por otras herramientas.

Cada una de estas técnicas permitirá la obtención de múltiples listados con diferentes tipos de indicadores. Posteriormente se procederá a la identificación de los indicadores comunes o con mayor incidencia y en su caso se incorporarán aquellos indicadores que respondan a los objetivos específicos de sostenibilidad planteados.

Existen otras técnicas para la identificación y selección de indicadores de sostenibilidad como la elaboración de encuestas a los actores implicados, recopilación de información mediante entrevistas, organización y realización de tormenta de ideas o “brainstorming”. Estas técnicas no han sido utilizadas explícitamente en este estudio porque se ha valorado que la opinión de los expertos y/o de los actores implicados está suficientemente documentada en la bibliografía analizada.

4.4.1 Estudio de los indicadores de sostenibilidad de los edificios considerados por expertos

Según Casanovas, X. (2009), los impactos se deberían agrupar en unos pocos valores para poder estudiar los principales efectos que los edificios ocasionan sobre el medioambiente y deberían tener en cuenta todos los parámetros medioambientales a considerar en su ciclo de vida, así pues se deberían evaluar los siguientes impactos:

- Las emisiones de gases generadores de efecto invernadero, medidos a través del potencial de calentamiento global (GWP 100) x emisiones al aire (kg).
- La acidificación de suelos, medida a través del potencial de acidificación x emisiones al aire (kg).
- Los efectos sobre la salud humana, considerando la ponderación de valores de toxicidad humana de las emisiones: HCA x emisiones al aire (kg) + HCW x emisiones al agua (kg).
- El consumo de energía primaria, expresada en MJ.
- El uso de recursos renovables y no renovables, expresado en kg.
- El consumo de agua.
- Los residuos sólidos generados durante el procesos de producción expresados en kg de partículas sólidas emitidas a la atmósfera, al agua i/o al vertedero.

La mejora de los resultados económicos, sociales y ambientales de los sistemas urbanos, es decir, la mejora de la sostenibilidad urbana, es una condición imprescindible y un requisito clave para el futuro de la sociedad moderna (Martí, 2012). Por ello, es importante la formulación de los indicadores base de la edificación sostenible tales como

- Las extracciones de materia prima de la litosfera.
- Las emisiones de CO₂ que se emiten a la atmósfera.
- La generación de residuos.
- El consumo de agua asociado a la construcción.

Según Ramirez de Arellano (2002), en la primera etapa del ciclo de vida de los materiales de construcción, los costes ecológicos se deben tanto a la extracción de los recursos minerales (canteras, minas, etc.) como a la deposición de los residuos o generados.

Para Luis de Garrido (2010) los indicadores básicos en los que se asienta el concepto de Arquitectura Sostenible son:

- Optimización de recursos y materiales.
- Disminución de residuos y emisiones al medio ambiente.
- Disminución del consumo energético y uso de energía renovable.
- Mejora de la calidad de vida y la salud humana.
- Reducción del precio de construcción y mantenimiento del edificio.

Consideración especial merece el potencial de calentamiento global o emisiones de CO₂ equivalentes ya que el consenso de todos los agentes implicados, sobre la limitación de la generación artificial de CO₂ y su asociación directa con otros impactos, como por ejemplo el consumo de energía no renovable y las emisiones de otros gases contaminantes relacionados como los óxidos de azufre SO_x, óxidos de

Capítulo 4. IDENTIFICACIÓN Y SELECCIÓN DE LOS INDICADORES ADECUADOS PARA EVALUAR LA SOSTENIBILIDAD DE LOS EDIFICIOS

nitrógeno NO_x, han convertido a las emisiones de CO₂ en uno de los indicadores más representativos a la hora de evaluar la calidad ambiental de los edificios (Wadel Raina, 2009).

4.4.2 Estudio de los indicadores de sostenibilidad de los edificios considerados por la Normativa específica.

Ante la necesidad de desarrollar un modelo aceptado por la comunidad científica sobre los impactos a evaluar y el método de cálculo asociado a los indicadores numéricos, se ha tenido en cuenta el trabajo desarrollado por los organismos de Normalización ISO (International Standards Organization) y CEN (Comisión Europea de Normalización), así como aquellos que definen el perfil ambiental de España por sectores, recogidos en el sistema Español de indicadores.

4.4.2.1 Normas que regulan la selección y elaboración de indicadores relacionados con obra civil.

La Norma UNE-ISO/TS 21929-1:2009 IN proporciona un marco de trabajo con requisitos y directrices para la selección y elaboración de indicadores apropiados para la sostenibilidad en edificación.

Esta Norma también define los aspectos que deberían considerarse a la hora de expresar o describir la sostenibilidad de edificios con la ayuda de indicadores. Según esta Norma, el carácter, calidad y disponibilidad de la información dependen de qué etapa del ciclo de vida del edificio se esté analizando; así pues, durante la etapa de proyecto puede ser necesario tratar algunas cuestiones de modo distinto al empleado durante la ocupación; donde las soluciones técnicas y los sistemas del edificio tales como la selección del sistema de calefacción, ventilación y aire acondicionado afectan fundamentalmente al consumo energético.

Los indicadores definidos en esta Norma Internacional son indicadores comunes que pueden ser utilizados para cualquier tipología de obra civil. (En el capítulo siguiente se analizarán los aspectos específicos de esta normativa en lo referente a los indicadores de sostenibilidad de los edificios).

Un indicador medioambiental de un edificio puede tratar un aspecto medioambiental tanto en términos de cargas como de impactos. Según la Norma ISO 21929-1, las cargas ambientales son el uso de los recursos, la producción de residuos, olores, ruido y emisiones perjudiciales al suelo, al agua o al aire.

Un ejemplo de indicador medioambiental expresado en términos de carga sería: las emisiones totales de CO₂.

Un ejemplo de indicador medioambiental expresado en términos de impacto sería la contribución al cambio climático en términos de equivalentes totales de CO₂.

La Norma UNE EN 15643-2 elaborada por CEN TC 350, es responsable del desarrollo de un marco metodológico con los principios, requisitos y directrices para la evaluación de la sostenibilidad de los edificios. Este marco metodológico se aplica a todo tipo de edificios y es apropiado tanto para edificios nuevos en su ciclo de vida

Capítulo 4. IDENTIFICACIÓN Y SELECCIÓN DE LOS INDICADORES ADECUADOS PARA EVALUAR LA SOSTENIBILIDAD DE LOS EDIFICIOS

completo como de edificios existentes para su vida útil restante. En esta Norma la dimensión de la sostenibilidad se limita a la evaluación de los impactos y aspectos ambientales sobre el ambiente local, regional y global. Para describir el comportamiento ambiental de los edificios durante su ciclo de vida deben utilizarse los siguientes grupos de indicadores ambientales:

	Indicadores que describen impactos ambientales	Unidades
1	Potencial de calentamiento Global , GWP	kg eq. CO ₂
2	Potencial de agotamiento de la capa de ozono estratosférico ODP	kg eq. CFC-11
3	Potencial de acidificación	kg eq. SO ₂
4	Potencial de Eutrofización	kg eq. PO ₄
5	Potencial de formación de oxidantes fotoquímicos.	kg eq. etileno
	Indicadores que describen uso de recursos	Unidades
6	Uso de energía primaria renovable	MJ, valor calorífico neto
7	Uso de energía primaria no renovable	MJ, valor calorífico neto
8	Uso de materiales	kg
9	Uso de combustibles	MJ, valor calorífico neto
10	Uso de agua dulce	kg
11	Potencial de agotamiento de recursos abióticos para combustibles fósiles	MJ, valor calorífico neto
	Indicadores que describen información ambiental complementaria	Unidades
12	Residuos peligrosos	kg
13	Residuos no peligrosos	kg
14	Residuos radiactivos	kg

Tabla 4.1 Indicadores recomendados por la Norma UNE EN 15643-1

La Norma UNE-EN 15978:2011 especifica el método de cálculo, basado en el análisis de ciclo de vida (ACV) y otra información ambiental cuantificada, para evaluar el comportamiento ambiental de un edificio. Aplicable tanto a edificios nuevos como a existentes. Esta Norma no presenta ninguna metodología para la agregación de indicadores. Los indicadores que se citan a continuación han sido escogidos por esta Norma en base a la existencia de métodos de cálculo para estos indicadores acordados dentro del contexto del ACV.

	Indicadores que describen impactos ambientales	Unidades
1	Potencial de calentamiento Global , GWP	kg eq. CO ₂
2	Potencial de agotamiento de la capa de ozono estratosférico ODP	kg eq. CFC-11
3	Potencial de acidificación	kg eq. SO ₂
4	Potencial de Eutrofización	kg eq. PO ₄
5	Potencial de formación de oxidantes fotoquímicos.	kg eq. etileno
	Indicadores que describen uso de recursos	Unidades
6	Uso de energía primaria renovable	MJ, valor calorífico neto
7	Uso de energía primaria no renovable	MJ, valor calorífico neto
8	Uso de materiales	kg
9	Potencial de agotamiento de recursos abióticos para combustibles fósiles	MJ, valor calorífico neto
	Indicadores que describen categorías de recursos	Unidades
10	Residuos peligrosos	kg
11	Residuos no peligrosos	kg
12	Residuos radiactivos	kg

Tabla 4.2 Indicadores recomendados por la Norma a Norma UNE-EN 15978:2011

4.4.2.2 Las Declaraciones ambientales de producto DAP

Las declaraciones ambientales de producto (DAP o Environmental Product Declaration, EPD) son, según la norma ISO 14020, ecoetiquetas de tipo III, de carácter voluntario, que presentan información sobre el comportamiento ambiental de los productos basada en estudios de Análisis de Ciclo de Vida (ACV), cumpliendo por tanto con las ISO 14040 y 14044, verificados de forma independiente y realizados bajo unas directrices consensuadas. El proyecto del sistema DAP se inició en España en febrero del año 2008, de forma específica para la construcción (tiene otros sistemas homólogos por Europa y el resto del mundo).

La DAP se puede basar en un análisis de todo su ciclo de vida (“de la cuna a la tumba”), o bien en un análisis hasta la etapa de producción (“de la cuna a la puerta de la fábrica”). En el caso en que se considere el ciclo de vida completo del producto, los datos harán referencia a una unidad funcional.

Los DAP informan de manera objetiva del impacto ambiental del producto. Constituyen una herramienta que permite a las administraciones, proyectistas y constructores, así como a los usuarios finales, comparar y escoger los materiales teniendo en cuenta su impacto medioambiental.

	Indicadores que describen impactos ambientales	Unidades
1	Potencial de calentamiento Global , GWP	kg eq. CO ₂
2	Potencial de agotamiento de la capa de ozono estratosférico ODP	kg eq. CFC-11
3	Potencial de acidificación	kg eq. SO ₂
4	Potencial de Eutrofización	kg eq. PO ₄
5	Potencial de formación de oxidantes fotoquímicos.	kg eq. etileno
	Indicadores que describen uso de recursos	Unidades
6	Uso de energía primaria renovable	MJ, valor calorífico neto
7	Uso de energía primaria no renovable	MJ, valor calorífico neto
8	Uso de materiales	kg
9	Uso de combustibles	MJ, valor calorífico neto
10	Uso de agua dulce	kg
11	Potencial de agotamiento de recursos abióticos para combustibles fósiles	MJ, valor calorífico neto
	Indicadores que describen información ambiental complementaria	Unidades
12	Residuos peligrosos	kg
13	Residuos no peligrosos	kg
14	Residuos radiactivos	kg

Tabla 4.3 Impactos ambientales considerados por las DAP

4.4.2.3 Directivas Europeas EPBD

La Directiva 2010/31/UE, promueve la reducción del consumo de energía en los entornos construidos, haciendo hincapié en que el sector de la construcción es una de las principales fuentes de emisión de CO₂. Según esta directiva, el objetivo de alcanzar unos niveles de eficiencia energética rentables u óptimos en términos de costes puede justificar que los Estados miembros establezcan para los elementos de los edificios requisitos de rentabilidad o de optimización de costes que obstaculicen en la practica la aplicación de ciertas soluciones técnicas o de diseño de los edificios y

Capítulo 4. IDENTIFICACIÓN Y SELECCIÓN DE LOS INDICADORES ADECUADOS PARA EVALUAR LA SOSTENIBILIDAD DE LOS EDIFICIOS

que incentiven el uso de productos relacionados con la energía que ofrezcan una mayor eficiencia energética. Entre los componentes del marco metodológico comparativo de esta Directiva, se encuentra la evaluación de la demanda de energía primaria y el cálculo de costes de las soluciones técnicas a adoptadas.

	Indicadores que describen impactos ambientales	Unidades
1	Potencial de calentamiento Global , GWP	kg eq.CO ₂
	Indicadores que describen uso de recursos	Unidades
2	Consumo de energía	kWh /m ²
	Indicadores economicos	Unidades
3	Costes de inversión	€/m ²
4	Costes de mantenimiento	€/m ²
5	Costes de la energía	€/m ²

Tabla 4.4 Impactos ambientales considerados por las EPBD

La Directiva 2012/27/UE establece que el instrumento objetivo para comparar y evaluar el comportamiento energético del edificio debe incluir los siguientes indicadores:

El objetivo del desarrollo reglamentario no solo busca la convergencia europea e internacional en materia de eficiencia energética y de disminución de emisiones de CO₂, sino que se pretende obtener una mejora progresiva en el ámbito de la salud, el confort y la productividad de los usuarios de los edificios

4.4.3 Estudio de los impactos considerados por las herramientas de evaluación ambiental de tercer nivel

En el segundo capítulo de esta tesis, se ha realizado una búsqueda y clasificación de las herramientas de sostenibilidad específicas para edificación, que trabajan por medio de sistemas de indicadores y que sirven para calificar los materiales y/o las soluciones constructivas del proyecto en fase inicial. A estas herramientas se las ha clasificado como herramientas de tercer nivel y son:

Athena. Impact Estimator, Beat 2002, BeCost, BEES, Ecobat, Ecocalculator, EcoEffect, EcoQuantum, EcoSoft, Envest2, EQUER, LCAid, LEGEP, LISA, TCQ2000 y EnerbuiLCA

Todas estas herramientas están basadas en el ACV por lo que abarcan todas las etapas del ciclo de vida del edificio, desde la extracción de recursos, transporte, puesta en obra, mantenimiento y demolición y han sido desarrolladas para la evaluación ambiental de materiales y/o soluciones constructivas.

A continuación se definen los impactos analizados por cada una de las herramientas clasificadas en el tercer nivel y el método de evaluación de impactos empleado.

ATHENA IMPACT ESTIMATOR

Herramienta para la evaluación ambiental de los productos de construcción, elementos de construcción y edificios, desarrollada por Athena Institute, de Canadá y

Capítulo 4. IDENTIFICACIÓN Y SELECCIÓN DE LOS INDICADORES ADECUADOS PARA EVALUAR LA SOSTENIBILIDAD DE LOS EDIFICIOS

Estados Unidos. **El método de evaluación de impacto** ambiental que utiliza es TRACI desarrollado por la EPA (US Environmental Protection Agency). Los **impactos ambientales** considerados se muestran en la tabla 4.5

	Indicadores que describen impactos ambientales	Unidades
1	Potencial de calentamiento Global, GWP	kg eq. CO ₂
2	Potencial de agotamiento de la capa de ozono estratosférico ODP	kg eq. CFC-11
3	Potencial de acidificación	kg eq. SO ₂
4	Potencial de Eutrofización	kg eq. PO ₄
5	Potencial de formación de oxidantes fotoquímicos. Potencial de smog	kg
	Indicadores que describen uso de recursos	Unidades
6	Consumo de energía primaria	MJ, valor calorífico neto
	Indicadores que describen daños sobre la salud	Unidades
7	Potenciales efectos respiratorios	

Tabla 4.5 Impactos ambientales considerados por Athena Impact Estimator

Cabe destacar que ATHENA IMPACT ESTIMATOR tiene en cuenta los consumos de energía de la fase uso achacables a la envolvente.

El protocolo de datos se basa en la norma ISO 14048 y es compatible con el formato EcoSpold. Se pueden seleccionar materiales para componer las diferentes soluciones constructivas.

BEAT 2002

BEAT 2002 es una herramienta desarrollada por el SBi (Building Research Institute) de Dinamarca para la evaluación ambiental de materiales de construcción, sistemas constructivos y edificios, aplicando una metodología basada en el ACV. El método de evaluación de impacto ambiental que utiliza es EDIP.

En la tabla 4.6 se indican los impactos ambientales considerados:

	Indicadores que describen impactos ambientales	Unidades
1	Potencial de calentamiento Global, GWP	kg eq. CO ₂
2	Potencial de agotamiento de la capa de ozono estratosférico ODP	kg eq. CFC-11
3	Potencial de acidificación	kg eq. SO ₂
4	Potencial de Eutrofización	kg eq. PO ₄
5	Potencial de formación de oxidantes fotoquímicos. Potencial de smog	kg
6	Ecotoxicidad	
	Indicadores que describen uso de recursos	Unidades
7	Uso de materiales (metales y menerales)	Kg
8	Uso de combustibles	MJ, valor calorífico neto
	Indicadores que describen información ambiental complementaria	Unidades
9	Residuos no peligrosos	Kg
19	Escorias i cenizas	Kg
	Indicadores que describen daños sobre la salud	Unidades
11	Toxicidad humana	

Tabla 4.6 Impactos ambientales considerados por BEAT 2000

Capítulo 4. IDENTIFICACIÓN Y SELECCIÓN DE LOS INDICADORES ADECUADOS PARA EVALUAR LA SOSTENIBILIDAD DE LOS EDIFICIOS

BEAT contiene datos que pueden agruparse en las siguientes categorías: fuentes de energía/combustibles, (gas, petróleo, carbón, electricidad, etc.), modos de transporte (camión, tren, barco, etc.), materiales de construcción (200 soluciones constructivas de la construcción danesa, cimientos, muros de sótano, muros exteriores, paredes interiores, techos, cubiertas, etc.)

BECOST

BeCost es una herramienta online para la evaluación del ciclo de vida de diferentes soluciones constructivas y de todo el edificio en la fase inicial del diseño, desarrollada en Finlandia por VTT (Centro de investigación tecnológica del Norte de Europa).

El método de evaluación de impactos que utiliza es EKA (método propio desarrollado por VTT). A continuación se relacionan los impactos ambientales considerados:

	Indicadores que describen impactos ambientales	Unidades
1	Potencial de agotamiento de la capa de ozono estratosférico ODP	kg eq. CFC-11
2	Potencial de eutrofización	kg eq. PO ₄
3	Potencial de formación de oxidantes fotoquímicos. Potencial de smog	kg
4	Ecotoxicidad	
	Indicadores que describen daños sobre la salud	Unidades
5	Toxicidad humana	

Tabla 4.7 Impactos ambientales considerados por BECOST

Becost tiene en cuenta los efectos ambientales del mantenimiento y reparación durante la vida útil del edificio. Utiliza una base de datos GDL, a la que se han añadido parámetros ambientales, dispone de los siguientes datos: datos energía, datos de materiales, de productos de construcción y de soluciones constructivas (paredes exteriores, paredes interiores, techos y suelos, etc.).

BEES

Herramienta de libre acceso que aplica la metodología de ACV para la selección de productos de construcción con buen comportamiento medioambiental desarrollada por el NIST (Instituto Nacional de Estándares y Tecnología) de la Construcción y el Laboratorio de Investigación de incendios con apoyo de la EPA de los EE.UU. El **método de evaluación de impacto** ambiental que utiliza es Eco-Indicador 99. Los impactos ambientales se resumen en la siguiente tabla

Capítulo 4. IDENTIFICACIÓN Y SELECCIÓN DE LOS INDICADORES ADECUADOS PARA EVALUAR LA SOSTENIBILIDAD DE LOS EDIFICIOS

	Indicadores que describen impactos ambientales	Unidades
1	Potencial de calentamiento Global, GWP	kg eq.CO ₂
2	Potencial de agotamiento de la capa de ozono estratosférico ODP	kg eq. CFC-11
3	Potencial de acidificación	kg eq. SO ₂
4	Potencial de Eutrofización	kg eq. PO ₄
5	Potencial de formación de oxidantes fotoquímicos. Potencial de smog	kg
6	Ecotoxicidad	
7	Alteración del hábitat	
	Indicadores que describen uso de recursos	Unidades
8	Uso de materiales (metales y menetales)	Kg
9	Uso de combustibles	MJ, valor calorífico neto
10	Uso de agua dulce	kg
	Indicadores que describen daños sobre la salud	Unidades
11	Toxicidad humana	
	Otros indicadores	Unidades
12	Calidad del aire interior	
	Indicadores economicos	Unidades
13	Según el método de coste	

Tabla 4.8 Impactos ambientales considerados por BEES

BEES tiene en cuenta el impacto económico, según el método de coste del ciclo, que cubre los costos de inversión inicial, renovación, operación, mantenimiento y reparación, y la eliminación.

BEES cuenta con una base de datos basada en el ACV de más de 500 materiales, productos de construcción y flujos de energía. También cuenta con bases de datos de soluciones constructivas (vigas, columnas, forjados, revestimientos, acabados exteriores, aislamientos, carpinterías, paredes interiores, pavimentos etc.). Clasificación estándar UNIFORMAT II para los productos de construcción compatible con el formato SPOLD¹⁵.

ECO-BAT

Eco-Bat es una herramienta desarrollada por Haute Ecole d'Ingénierie et de Gestion du Canton de Vaud (Suiza), que evalúa los impactos ambientales generados por el edificio considerando que una parte significativa de estos impactos proviene de la energía que se consume en el edificio. El método de evaluación de impactos que utiliza es un método propio. Los impactos se muestran en la siguiente tabla

¹⁵ SPOLD (Sociedad para la Promoción del Desarrollo del Análisis de ciclo de Vida). Esta sociedad mantiene y desarrolla el formato SPOLD para los datos del AICV y trabaja en la Red de Base de datos SPOLD. Así el formato SPOLD ha permitido el intercambio de datos del inventario de ciclo de vida, consiguiendo que los datos se entiendan, comparen e intercambien (Viñoles, 2002)

Capítulo 4. IDENTIFICACIÓN Y SELECCIÓN DE LOS INDICADORES ADECUADOS PARA EVALUAR LA SOSTENIBILIDAD DE LOS EDIFICIOS

	Indicadores que describen impactos ambientales	Unidades
1	Potencial de calentamiento Global , GWP	kg eq.CO ₂
2	Potencial de acidificación	kg eq. SO ₂
3	Potencial de formación de oxidantes fotoquímicos. Potencial de smog	kg
4	Ecotoxicidad	kg
	Indicadores que describen uso de recursos	Unidades
5	Uso de energía primaria no renovable	MJ, valor calorífico neto
6	Uso de agua dulce	kg
7	Potencial de agotamiento de recursos abióticos para combustibles fósiles	MJ, valor calorífico neto
	Indicadores que describen información ambiental complementaria	Unidades
8	Residuos	Kg

Tabla 4.9 Impactos ambientales considerados por ECO-BAT

ECO-BAT puede obtener los impactos ambientales relacionados con el consumo de energía durante la fase de uso del edificio (calefacción, agua caliente sanitaria, refrigeración, iluminación, ventilación y equipo eléctrico).

ECO-BAT utiliza su propia base de datos formada por una selección de más de 100 materiales genéricos (hormigón, productos de madera, metales, recubrimientos, etc.) que provienen de la lista KBOB de la base de datos Ecoinvent V. 2.01. Cuenta con datos relativos al consumo de energía en función de los diferentes tipos de instalaciones.

ECOCALCULATOR

Herramienta de evaluación ambiental desarrollada por el Instituto Athena en asociación con la Universidad de Minnesota y el Morrison Hershfield Consulting Engineers. Los impactos ambientales que utiliza se indican en la siguiente tabla

	Indicadores que describen impactos ambientales	Unidades
1	Potencial de calentamiento Global , GWP	kg eq.CO ₂
2	Ecotoxicidad	
	Indicadores que describen uso de recursos	Unidades
3	Uso de energía primaria	MJ, valor calorífico neto
4	Uso de combustibles	MJ, valor calorífico neto
5	Uso de agua dulce	kg
6	Potencial de agotamiento de recursos abióticos para combustibles fósiles	MJ, valor calorífico neto

Tabla 4.10 Impactos ambientales considerados por ECOCALCULATOR

ECOCALCULATOR tiene en cuenta las emisiones relacionadas con el transporte. El programa utiliza su propia base de datos. Los resultados que figuran en la base de datos se basan en evaluaciones detalladas completadas con ATHENA ® Impact Estimator.

ECOEFFECT

Es una herramienta de análisis de ciclo de vida simplificada y adaptada para la edificación desarrollada por el Royal Institute of Technology de Estocolmo y la

Capítulo 4. IDENTIFICACIÓN Y SELECCIÓN DE LOS INDICADORES ADECUADOS PARA EVALUAR LA SOSTENIBILIDAD DE LOS EDIFICIOS

Universidad Chalmers en Gotemburg con el apoyo de empresas y organizaciones dentro del sector de la construcción en Suecia. La tabla 4.11 muestra los impactos ambientales que evalúa.

	Indicadores que describen impactos ambientales	Unidades
1	Potencial de calentamiento Global, GWP	kg eq.CO ₂
2	Potencial de agotamiento de la capa de ozono estratosférico ODP	kg eq. CFC-11
3	Potencial de acidificación	kg eq. SO ₂
4	Potencial de Eutrofización	kg eq. PO ₄
5	Potencial de formación de oxidantes fotoquímicos. Potencial de smog	kg
6	Ecotoxicidad	
	Indicadores que describen uso de recursos	Unidades
7	Uso de materiales (metales y menerales)	kg
8	Uso de combustibles	MJ, valor calorífico neto
	Indicadores que describen daños sobre la salud	Unidades
9	Toxicidad humana	
10	Residuos radiactivos	kg
	Otros Indicadores debidos al uso del edificio. En el interior	Unidades
11	Calidad del aire	
12	Confort térmico	
13	Confort acústico	
14	Confort lumínico	
15	Condiciones electromagnéticas	
16	Alergias	
17	Problemas combinados	
18	Síndrome del edificio enfermo	
19	Ruido	
20	Radon	
	Indicadores económicos	Unidades
21	Costes de los impactos ambientales durante 50 años	

Tabla 4.11 Impactos ambientales considerados por ECOEFFECT

Ecoeffect tiene en cuenta los costes de los impactos ambientales del ciclo de vida para 50 años u otro período determinado.

El software de EcoEffect contiene su propia base de datos con información para los distintos tipos de energía, materiales de construcción y los valores de referencia, que se utilizan en los cálculos.

ECO-QUANTUM

Eco-Quantum es una herramienta basada en la metodología de ACV que calcula los impactos medioambientales de los edificios, desarrollada en el Royal Institute of Technology de Estocolmo y la Universidad de Gävle de Holanda

Abarca todas las etapas del Ciclo de vida y tiene en cuenta los consumos de energía durante la fase de fabricación, mantenimiento, reutilización y sustitución. Los impactos ambientales que evalúa se indican en la siguiente tabla

Capítulo 4. IDENTIFICACIÓN Y SELECCIÓN DE LOS INDICADORES ADECUADOS PARA EVALUAR LA SOSTENIBILIDAD DE LOS EDIFICIOS

Indicadores que describen impactos ambientales		Unidades
1	Potencial de calentamiento Global , GWP	kg eq.CO ₂
Indicadores que describen uso de recursos		Unidades
2	Uso de energía primaria	MJ, valor calorífico neto
3	Uso de materiales (metales y menerales)	kg
4	Uso de agua dulce	kg
5	Uso del suelo	

Tabla 4.12 Impactos ambientales considerados por ECO-QUANTUM

Esta herramienta permite calcular el consumo de energía primaria durante la fase de fabricación y durante la fase uso.

El programa tiene su propia base de datos sobre los impactos medioambientales de materiales, consumo de energía y agua.

ECOSOFT

EcoSoft WBF es un programa para la evaluación ecológica de las construcciones y edificios, desarrollado por la IBO, el Instituto Austriaco para la Salud y la construcción ecológica fundado en 1980.

Abarca todas las etapas del Ciclo de vida, desde la obtención del material, transporte, utilización de energía, emisiones al aire, a la tierra, al agua y gestión de residuos. Los impactos ambientales que evalúa se listan en la siguiente tabla.

Indicadores que describen impactos ambientales		Unidades
1	Potencial de calentamiento Global , GWP	kg eq.CO ₂
2	Potencial de acidificación	kg eq. SO ₂
3	Potencial de Eutrofización	kg eq. PO ₄
4	Potencial de formación de oxidantes fotoquímicos. Potencial de smog	kg
5	Ecotoxicidad	
Indicadores que describen uso de recursos		Unidades
6	Uso de energía primaria renovable	MJ, valor calorífico neto
7	Uso de energía primaria no renovable	MJ, valor calorífico neto
Indicadores económicos		Unidades
8	Costes medioambientales	

Tabla 4.13 Impactos ambientales considerados ECOSOFT

ECOSOFT tiene en cuenta los costes medioambientales mediante el módulo WBFT. Cuenta con una base de datos gestionada por IBO con más de 500 materiales de construcción, que han sido evaluados utilizando el programa SimaPro con el método CML2 y Baseline 2001. Cada material está clasificado por 30 indicadores medioambientales. La base de datos también aporta información sobre aspectos como densidad, conductividad térmica, combustibilidad, la resistencia al paso del vapor de agua y al aire, clases de reacción al fuego, etc.

También cuenta con una base de datos de nueve tipos diferentes de soluciones constructivas (cerramientos, particiones interiores, etc.), que se subdividen en 42

Capítulo 4. IDENTIFICACIÓN Y SELECCIÓN DE LOS INDICADORES ADECUADOS PARA EVALUAR LA SOSTENIBILIDAD DE LOS EDIFICIOS

elementos más simples (pared exterior con o sin cámara de aire, pared exterior con o sin revestimiento etc.).

EnerBuiLCA

Es una herramienta basada en la metodología de ACV que calcula los impactos medioambientales de los edificios, desarrollada por SUDOE (Programa de Cooperación Territorial Programa de Cooperación Territorial del Espacio Sudoeste Europeo) y coordinada por CIRCE (Centro de Investigación de Recursos y Consumos Energéticos) de Zaragoza.

Permite la evaluación de las etapas de producción, construcción y uso de un edificio o solución constructiva. Los impactos se muestran en la siguiente tabla

	Indicadores que describen impactos ambientales	Unidades
1	Potencial de calentamiento Global , GWP	kg eq.CO ₂
	Indicadores que describen uso de recursos	Unidades
2	Consumo de Energía primaria	kg

Tabla 4.14 Impactos ambientales considerados EnerBuiLCA

Esta herramienta se alimenta de una base de datos que ha sido específicamente creada para el proyecto EnerBuiLCA a partir de la recopilación de información ambiental disponible de Declaraciones Ambientales de Producto (DAP) de productos de la construcción de diferentes sistemas de ecoetiquetado como el DAPc, Deklaration Umwelt, el Sistema Internacional EPD,

Se han desarrollado 3 bases de datos diferentes:

- Base de datos de productos de construcción, incluyendo 26 productos diferentes.
- Base de datos de soluciones constructivas, incluyendo información ambiental y técnica de las soluciones representativas para España, Francia y Portugal.
- Base de datos genérica, con información genérica sobre los impactos asociadas a los consumos de energía y el transporte

Invest2

Invest2 es una herramienta online desarrollada por el BRE Group, de Reino Unido; que calcula la estimación de impactos ambientales en fase de diseño.

Esta herramienta considera el ACV completo desde la obtención de materias primas hasta la demolición del edificio desde la extracción de materias primas, la fabricación de elementos de construcción, la edificación, el uso, la reparación mantenimiento, sustitución, demolición y reciclaje.

Utiliza el método de evaluación de impacto ambiental CML2. Los impactos ambientales son:

Capítulo 4. IDENTIFICACIÓN Y SELECCIÓN DE LOS INDICADORES ADECUADOS PARA EVALUAR LA SOSTENIBILIDAD DE LOS EDIFICIOS

	Indicadores que describen impactos ambientales	Unidades
1	Potencial de calentamiento Global, GWP	kg eq.CO ₂
2	Potencial de agotamiento de la capa de ozono estratosférico ODP	kg eq. CFC-11
3	Potencial de acidificación	kg eq. SO ₂
4	Potencial de Eutrofización	kg eq. PO ₄
5	Potencial de formación de oxidantes fotoquímicos. Potencial de smog	kg
	Ecotoxicidad	
6	Toxicidad del agua potable	
	Indicadores que describen uso de recursos	Unidades
7	Uso de materiales (metales y menerales)	kg
8	Uso de agua dulce	kg
9	Potencial de agotamiento de recursos abióticos para combustibles fósiles	MJ, valor calorífico neto
	Indicadores que describen información ambiental complementaria	Unidades
10	Residuos	kg
	Indicadores que describen daños sobre la salud	Unidades
11	Toxicidad humana	
	Indicadores economicos	Unidades
12	Costes ambientales	

Tabla 4.15 Impactos ambientales considerados Envest2

Envest2 tiene en cuenta la energía y los recursos consumidos durante toda la vida útil del edificio. Permite la obtención de costes ambientales durante el mantenimiento. Utiliza una base de datos desarrollada en El Reino Unido de Perfiles Ambientales de Materiales de Construcción y componentes. Es una base de datos ampliable obteniendo un Certificado Ambiental a través de perfiles BRE Certificación Ltd.

EQUER

EQUER es un software desarrollado por el Centro de Energía de L'École des Mines de París (Francia) en colaboración con el GTM construcción S'PACE con el apoyo de ADEME y el PUCA que combina el análisis medioambiental, con la simulación dinámica obtenida por las herramientas Pléyades + COMFIE.

Equer calcula los impactos ambientales durante las fases de fabricación de materiales, construcción, mantenimiento y uso del edificio.

Capítulo 4. IDENTIFICACIÓN Y SELECCIÓN DE LOS INDICADORES ADECUADOS PARA EVALUAR LA SOSTENIBILIDAD DE LOS EDIFICIOS

	Indicadores que describen impactos ambientales	Unidades
1	Potencial de calentamiento Global, GWP	kg eq. CO ₂
2	Potencial de agotamiento de la capa de ozono estratosférico ODP	kg eq. CFC-11
3	Potencial de acidificación	kg eq. SO ₂
4	Potencial de Eutrofización	kg eq. PO ₄
6	Ecotoxicidad	
	Indicadores que describen uso de recursos	Unidades
6	Uso de energía primaria	MJ, valor calorífico neto
10	Uso de agua dulce	kg
11	Potencial de agotamiento de recursos abióticos para combustibles fósiles	MJ, valor calorífico neto
	Indicadores que describen información ambiental complementaria	Unidades
13	Residuos no peligrosos	kg
14	Residuos radiactivos	kg
	Indicadores que describen daños sobre la salud	Unidades
12	Toxicidad humana	
	Otros Indicadores	Unidades
12	Olor	

Tabla 4.16 Impactos ambientales considerados EQUER

EQUER tiene también en cuenta las cargas internas, los horarios, el clima, las características del equipo de calefacción y de refrigeración, el consumo de agua, la generación de residuos, los efectos debidos a las actividades de los ocupantes (por ejemplo, los impactos del transporte desde casa al trabajo, la producción de residuos domésticos, el consumo de agua. etc.).

EQUER incorpora información de las siguientes bases de datos: Ecoinvent 2007, la base de datos Oekoinventare (Suiza), otros datos recogidos en el proyecto de regeneración Europea.

LCAid

Lcaid TM es un software desarrollado por el Dr. Andrew Marsh del Departamento de Obras y Servicios Públicos Sydney NSW Australia (DPWS), para su apoyo al proyectista en la fase de diseño que proporciona información cuantificable sobre el comportamiento medioambiental del edificio completo.

El método de evaluación de impacto ambiental es el del Eco- indicador 95 y del Eco- indicador 99 con la presentación de informes adicionales de consumo agua y residuos sólidos. Además tiene en cuenta la biodiversidad y la calidad del aire interior. La tabla 4.17 muestra los impactos ambientales.

Capítulo 4. IDENTIFICACIÓN Y SELECCIÓN DE LOS INDICADORES ADECUADOS PARA EVALUAR LA SOSTENIBILIDAD DE LOS EDIFICIOS

	Indicadores que describen impactos ambientales	Unidades
1	Potencial de calentamiento Global , GWP	kg eq.CO ₂
2	Potencial de agotamiento de la capa de ozono estratosférico ODP	kg eq. CFC-11
3	Potencial de acidificación	kg eq. SO ₂
4	Potencial de formación de oxidantes fotoquímicos . Potencial de smog	kg
	Indicadores que describen uso de recursos	Unidades
5	Uso de materiales (metales y minerales)	kg
6	Uso de agua dulce	kg
	Indicadores que describen información ambiental complementaria	Unidades
7	Residuos no peligrosos	kg
	Indicadores que describen daños sobre la salud	Unidades
8	Carcinogénesis	kg
	Indicadores economicos	Unidades
9	Costes de fabricación	
10	Costes de mantenimiento	

Tabla 4.17 Impactos ambientales considerados por LCAid

LCAid Puede medir los costos de vida del edificio en la fase inicial y los gastos de mantenimiento y sustitución durante toda la vida útil el edificio.

La base de datos integrada por más de 100 materiales simples y más de 200 materiales de construcción compuestos que ha sido creada por un grupo de especialistas de DPWS, durante el periodo de 1995 a 1999. LCAid™ puede importar datos directamente desde otras bases de datos incluidas como Boustead.

LEGEP

LEGEP es una herramienta para el análisis integrado del ciclo de vida, desarrollada por GmbH. (Alemania) utilizable en fase de diseño, construcción, supervisión y evaluación de edificios nuevos o a existentes (Kohler, 2005). Los impactos ambientales que contempla se indican en la siguiente tabla:

	Indicadores que describen impactos ambientales	Unidades
1	Potencial de calentamiento Global , GWP	kg eq.CO ₂
2	Potencial de agotamiento de la capa de ozono estratosférico ODP	kg eq. CFC-11
3	Potencial de acidificación	kg eq. SO ₂
4	Potencial de Eutrofización	kg eq. PO ₄
5	Potencial de formación de oxidantes fotoquímicos . Potencial de smog	kg
	Indicadores que describen uso de recursos	Unidades
6	Uso de energía primaria renovable	MJ, valor calorífico neto
7	Uso de energía primaria no renovable	MJ, valor calorífico neto
	Indicadores económicos	Unidades
8	Costes de fabricación	
9	Costes de energía	kg
10	Costes durante la fase uso	kg

Tabla 4.18 Impactos ambientales considerados por LEGEP

Capítulo 4. IDENTIFICACIÓN Y SELECCIÓN DE LOS INDICADORES ADECUADOS PARA EVALUAR LA SOSTENIBILIDAD DE LOS EDIFICIOS

LEGEP permite el cálculo de los costes de producción, la energía, los costes de ciclo de vida y evaluación del ciclo de vida.

La base de datos de LEGEP está organizada jerárquicamente en cuatro bloques; un primer bloque formado por las materias primas y los materiales de construcción, un segundo bloque integrado por los productos, un tercer bloque formado por elementos o soluciones constructivas y un cuarto bloque constituido por el edificio completo. Cada elemento dentro de esta base de datos tiene su propio ACV ya sea para obra nueva o rehabilitación. Los datos son totalmente escalables y pueden utilizarse “de abajo-arriba” o “de arriba-abajo”.

Hay alrededor de 8.000 elementos “listos para su uso” para la construcción del edificio, equipamiento técnico y paisaje. Los inventarios se basan en los datos Ecoinvent y los valores específicos de la Ökoinventare Baustoff (Kohler et al., 2005) y otros proyectos de investigación.

LISA

LISA es una herramienta desarrollada por el centro para la Tecnología Sostenible de Newcastle (Australia), que permite realizar un ACV simplificado a los productos de construcción.

Los impactos ambientales se resumen en la tabla 4.19.

	Indicadores que describen impactos ambientales	Unidades
1	Potencial de calentamiento Global, GWP	kg eq.CO ₂
2	Ecotoxicidad	
	Indicadores que describen uso de recursos	Unidades
3	Uso de energía primaria	MJ, valor calorífico neto
4	Uso de materiales (metales y minerales)	kg

Tabla 4.19 Impactos ambientales considerados por Lisa

Los datos se mantienen en EMMA (Eco- Material y modelo para la evaluación de Manufactura) y BHP sistema de datos de ACV.

TCQ2000 y TCQGMA

Es una herramienta desarrollada por el Instituto de Tecnología de la Construcción de Catalunya (IteC), España. El programa TCQ2000 incorpora un programa de ayuda para la elaboración del plan de residuos y considera los impactos ambientales que se describen en la siguiente tabla:

Capítulo 4. IDENTIFICACIÓN Y SELECCIÓN DE LOS INDICADORES ADECUADOS PARA EVALUAR LA SOSTENIBILIDAD DE LOS EDIFICIOS

Indicadores que describen impactos ambientales		Unidades
1	Potencial de calentamiento Global, GWP	kg eq.CO ₂
Indicadores que describen uso de recursos		Unidades
2	Uso de energía primaria	MJ, valor calorífico neto
3	Uso de materiales (metales y menerales)	kg
4	Uso de agua dulce	kg
Indicadores que describen información ambiental complementaria		Unidades
5	Residuos peligrosos	kg
6	Residuos no peligrosos	kg
7	Residuos radiactivos	kg
Indicadores económicos		Unidades
8	Costes de fabricación	
9	Costes de mantenimiento	

Tabla 4.20 Impactos ambientales considerados por TCQ2000 y TCQGMA

Utiliza la Base de datos BEDEC, de creación propia, que integra datos de precios, medioambientales, (residuos de obra y de embalaje, coste energético y emisión de CO₂), pliegos de condiciones técnicas y productos comerciales. Los datos ambientales están basados en el análisis de diferentes bases de datos europeas, no en auditorías. En cuanto a los datos de residuos, en el banco de datos BEDEC se asignan a cada partida de obra unos residuos de materiales de construcción y otros de embalajes (ambos referidos a las unidades m³ y kg).

A modo de resumen, la tabla 4.21 resume de forma comparativa los impactos que evalúan cada una de estas herramientas.

Capítulo 4. EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE LOS EDIFICIOS MEDIANTE EL USO DE INDICADORES

Los impactos ambientales que estudia:	Athena Impact Estimator	Beat 2002	Be Cost	BEES	Eco Bat	EcoC alculador	Eco Effect	Eco Quant um	Eco Soft	Ener BuiLCA	ENVE ST	EQUER	LCAid	LEGE P	LISA	TCQ 2000	nº de herra mientas
Potencial de Calentamiento Global (GWP), kg eq. CO2	1	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			1	13
Potencial de agotamiento de ozono estratosférico ODP	1	1	1	1			1				1	1	1	1			9
Acidificación, kg SO2 eq.	1	1		1	1		1		1		1	1	1	1			10
Eutrofización, kg PO4 eq.	1	1	1				1		1		1	1	1		1		9
Ecotoxicidad	1	1	1	1	1	1	1		1		1	1					10
Potencial de smog fotoquímico, kg eq C2H4	1	1		1	1		1		1		1			1			8
Consumo de energía	1				1	1		1	1	1		1	1			1	9
Consumo de materias primas		1		1			1	1			1					1	6
Consumo de combustibles fósiles		1		1	1	1	1					1					6
Consumo de agua				1	1	1		1				1				1	6
Uso de recursos bióticos kg																	0
Residuos peligrosos																1	1
Residuos inertes		1			1											1	3
Residuos radiactivos							1				1					1	3
Escorias y cenizas		1															1
Toxicidad humana (Efectos respiratorios)	1	1	1	1			1				1						6
Carcinogénesis																	0
Radiactividad							1										1
Contaminación del agua											1						1
Contaminación de la tierra							1										1
La alteración del hábitat				1													1
Olor												1					1
Calidad del aire interior							1										1
Uso del suelo								1									1
Costes económicos				1			1		1		1		1			1	6

Tabla 4.21 Análisis cuantificado de los impactos considerados por las herramientas de Tercer Nivel

4.5 Selección y justificación de los indicadores a utilizar para valorar la sostenibilidad de las soluciones constructivas de la envolvente

Como se ha visto existen multitud de categorías de impacto ambiental, por lo que el primer paso dentro del marco del ACV es la selección de categorías de impacto ambiental a tener en cuenta en el estudio.

La formulación de los indicadores base de la edificación sostenible se convierte así en un elemento clave de progreso. Para hacer una selección racional de los indicadores medioambientales, es esencial identificar los impactos medioambientales significativos de las actividades de la edificación. Basándose en esta información, se pueden definir los puntos de atención para el establecimiento y uso de los indicadores (Rodríguez et al., 2009). También hay que tener en cuenta que un sistema de indicadores es una herramienta muy válida, pero no es un proceso metodológico completo donde se analicen todas las oportunidades de sostenibilidad valorando su rentabilidad de aplicación a un proyecto dado.

Para hacer operativa la evaluación de la sostenibilidad, es necesario asociar uno o más impactos con el indicador que suministra un valor numérico y su unidad de medida (kWh/m^2 año, $\text{kg CO}_2 \text{ eq./m}^2$ año, l/persona día). Los indicadores pueden ser derivados de las mediciones cualitativas y cuantitativas. Sin embargo, se convierten en estandarizados y comparables sólo cuando se transforman en una forma numérica (Pieri et al., 1995).

Cada una de las técnicas empleadas ha generado listados diferentes de indicadores de sostenibilidad. El análisis de todos los resultados ha permitido identificar los indicadores recomendados por expertos en la materia, así como los indicadores aconsejados por las Normativa específica y los indicadores mayormente evaluados por las herramientas analizadas.

Con todos estos datos se ha llevado a cabo una pre-selección de los indicadores a considerar en esta investigación, teniendo en cuenta los siguientes aspectos:

Se ha considerado la agrupación propuesta por esta Norma UNE EN 15643-2 en las siguientes áreas:

- Indicadores que describen impactos ambientales,
- Indicadores que describen uso de recursos,
- Indicadores que aportan información ambiental complementaria sobre los residuos,
- Indicadores económicos.

Así pues teniendo en cuenta estas consideraciones, se han pre-seleccionado y clasificado los indicadores que se muestran en la tabla 4.22.

Capítulo 4. EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE LOS EDIFICIOS MEDIANTE EL USO DE INDICADORES

	Indicadores que describen impactos ambientales	Unidades
1	Potencial de calentamiento Global, GWP	kg eq.CO ₂
2	Potencial de agotamiento de la capa de ozono estratosférico ODP	kg eq. CFC-11
3	Potencial de acidificación	kg eq. SO ₂
4	Potencial de Eutrofización	kg eq. PO ₄
5	Ecotoxicidad	kg
	Indicadores que describen uso de recursos	Unidades
6	Consumo de energía primaria	MJ, kWh/m ²
7	Consumo de agua	Kg
	Indicadores que describen información ambiental complementaria	Unidades
8	Residuos no peligrosos	Kg
9	Residuos peligrosos	Kg
	Indicadores económicos	Unidades
10	Costes de inversión	€/m ²
11	Costes de mantenimiento	€/m ²
12	Costes del uso de la energía	€/m ²

Tabla 4.22 Listado de los indicadores pre-seleccionados

A continuación se establecen las conclusiones que han servido para realizar la selección definitiva de los indicadores considerados de mayor interés para llevar a cabo la investigación de la presente tesis; así como el listado definitivo de los indicadores seleccionados.

4.6 Conclusiones

Los indicadores que describen los impactos ambientales relativos a las emisiones se han seleccionado a partir de los indicadores más comunes o con mayor incidencia en los listados obtenidos del estudio de las herramientas de tercer nivel. Estos indicadores son, como se ha visto, el potencial de calentamiento global, el potencial de agotamiento de la capa de ozono estratosférico ODP, el potencial de acidificación, el potencial de eutrofización y la ecotoxicidad. Sin embargo, tal y como se ha explicado en el apartado 2.2.2 de esta tesis, hoy en día, hay únicamente 22 productos de la construcción en España con certificación DAPc que cuentan con una información medioambiental completa relativa a los impactos seleccionados. Aunque lo ideal sería llegar a desarrollar todos estos indicadores; la generación de toda la información medioambiental necesaria para crear las bases de datos de materiales de construcción inexistentes en España, frenaría el avance en la definición del modelo de evaluación que esta tesis se ha planteado como objetivo principal.

Por otra parte, tal y como se ha comentado en el apartado 4.4.1 del presente capítulo, en lo que respecta a las emisiones, existe un consenso entre todos los agentes

Capítulo 4. EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE LOS EDIFICIOS MEDIANTE EL USO DE INDICADORES

implicados, en considerar el potencial de calentamiento global o emisiones equivalentes de CO₂ y su asociación directa con las emisiones de otros gases ((óxidos de azufre (SO_x), óxidos de nitrógeno (NO_x), metano (CH₄), etc.)), como el indicador más representativo a la hora de evaluar la calidad ambiental de los edificios.

Así mismo, se puede considerar la fase de uso de los edificios como la de mayor impacto en lo relativo a los indicadores ambientales, y en esta fase las emisiones a las que se da más importancia políticamente son las emisiones de CO₂, como se deduce de la metodología EMEP/CORINAIR 2007 elaborada por la EEA (2007) para facilitar a los países la presentación de los inventarios de emisiones de contaminantes a la atmósfera. Según esta metodología, las emisiones totales del sector residencial, se obtienen como la suma de las emisiones de los sectores de actividad “02 01 Plantas de combustión comercial e institucional”, “02 02 Plantas de combustión residencial”, y “08 09 Actividades domésticas y jardinería” e incluyen únicamente valores para CO₂, CH₄ y N₂O. Así pues, para llevar a cabo la presente investigación, en el grupo de indicadores relativos a las emisiones se ha considerado suficientemente representativo el indicador potencial de calentamiento global o emisiones equivalentes de CO₂.

En cuanto a los indicadores que describen el consumo de recursos, se han considerado las recomendaciones establecidas en la Directiva 2012/27/UE, por ello se ha incorporado un indicador de consumo de energía primaria para comparar y evaluar el comportamiento energético del edificio durante la fase de fabricación y puesta en obra y la fase uso. Los objetivos a plantear deberían servir para adoptar medidas de ahorro energético, que a su vez supongan una reducción de los impactos relativos a las emisiones.

Así mismo se ha considerado de especial interés el considerar un indicador de consumo de agua potable debido al estrés hídrico que sufre España; los objetivos a plantear deben conducir a reducir el consumo de agua durante la fase de fabricación y puesta en obra, por entenderse que el agua que se consume durante la fase uso dependerá más de la gestión de los usuarios y no de las soluciones constructivas adoptadas en la envolvente.

En cuanto a los residuos, se ha incorporado un indicador de residuos peligrosos y un indicador de residuos no peligrosos que afectará a la fase de fabricación y puesta en obra, con la finalidad de priorizar el uso de materiales que en su producción no generen residuos peligrosos.

Así mismo, siguiendo las recomendaciones establecidas por la Norma UNE EN 15643-2 se han seleccionado unos indicadores económicos que aportarán información sobre los costes de inversión y los costes energéticos en la fase de fabricación y puesta en obra, los costes de mantenimiento y los costes energéticos derivados una determinada solución constructiva en la fase uso.

Recogiendo las conclusiones descritas, se ha elaborado la tabla 4.23 con el listado definitivo de indicadores a evaluar especificando las unidades de cada indicador.

Capítulo 4. EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE LOS EDIFICIOS MEDIANTE EL USO DE INDICADORES

	Indicadores que describen impactos ambientales (emisiones)	Unidades
1	Potencial de calentamiento Global , GWP (emisiones equivalentes de CO ₂)	kg eq.CO ₂ /m ²
	Indicadores que describen uso de recursos	Unidades
2	Consumo de energía primaria	MJ, kWh/m ²
3	Consumo de agua	kg/m ²
	Indicadores que describen información ambiental complementaria	Unidades
4	Residuos no peligrosos	kg /m ²
	Residuos peligrosos	kg /m ²
	Indicadores económicos	Unidades
5	Costes de inversión	€/m ²
	Costes de mantenimiento	€/m ²
	Costes energéticos	€/m ²

Tabla 4.23 Listado definitivo seleccionados para el estudio.

En el capítulo 5 se detalla la metodología utilizada para la obtención los datos que han permitido el posterior desarrollo de los indicadores.

Capítulo 5. DEFINICIÓN DE LA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE LA ENVOLVENTE BASADA EN EL ACV

Para descubrir la incidencia de la construcción en los problemas medioambientales se debe de analizar por entero el proceso que engloba la edificación, incluyendo la fase uso de los edificios en función del gasto o ahorro energético de las instalaciones durante su vida útil, así como la contaminación que produce en su entorno inmediato. (ENSLIC, 2010).

El ACV es, tal y como se ha descrito en la introducción de esta tesis, una metodología rigurosa que está perfectamente definida. El proyectista dispone mediante el análisis de ciclo de vida, de una herramienta que le permite evaluar los impactos ambientales en las primeras etapas del diseño, y así poder marcar en una siguiente etapa unos objetivos concretos para mejorar este diseño (Vivancos et al., 2007); ahora bien, la aplicación rigurosa de la metodología de ACV requiere la evaluación de los impactos ambientales a lo largo del ciclo completo del edificio teniendo en cuenta las etapas de extracción y procesamiento de materias primas; producción, transporte y distribución; uso, reutilización y mantenimiento; reciclado y disposición del residuo (SETAC, 2004). Por otra parte, se ha definido el ACV como un proceso exhaustivo, muy laborioso y de gran complejidad, ya que las consideraciones necesarias para su aplicación son muy numerosas. Por ejemplo, en el caso de los edificios, el ACV podría aplicarse a un material (el cemento, la madera...), a un producto (una carpintería de aluminio), a una solución constructiva, (una cubierta plana), o a un edificio completo (Gonzalez, 2006). Por ello, los estudios de ACV sobre edificios han simplificado significativamente la metodología empleada así como la adaptación de los datos disponibles en las bases de datos que en su mayoría procede de otros países (Rieradevall, et al., 2005).

Este capítulo se plantea como principal objetivo justificar el empleo de una metodología simplificada de ACV para evaluar el impacto ambiental de los edificios.

La aplicación de esta metodología servirá para obtener datos estimativos de los impactos ambientales de las diferentes soluciones constructivas de la envolvente.

Se pretende obtener suficientes datos para poder desarrollar fórmulas que contribuyan al desarrollo de indicadores ambientales para valorar, analizar y comparar distintas alternativas. No se pretende llegar a resultados de gran exactitud sino, más bien, generar información que permita establecer las bases para contribuir al desarrollo de una herramienta de calificación medioambiental que, como se ha dicho en el primer capítulo de esta tesis, sirva de apoyo al diseñador en la fase inicial del diseño, en la selección de soluciones constructivas con buen comportamiento medioambiental.

Hay distintas formas de afrontar este problema, todas ellas relacionadas con buscar el modo de conseguir una mejor información sobre las opciones existentes al principio del proceso de diseño y disponer de unos primeros resultados estimativos lo antes posible.

A continuación se describe proceso desarrollado en el presente capítulo: en primer lugar, se ha llevado a cabo un análisis de otros estudios existentes sobre la evaluación ambiental de edificios aplicando el ACV, que ha servido como punto de partida para elegir la metodología a seguir. Posteriormente, se describe el sistema de evaluación empleado en esta tesis, basado en una metodología simplificada de ACV, razonando los aspectos a simplificar en su aplicación para edificios. Así mismo, se justifica la selección

de las herramientas de evaluación empleadas. Finalmente se define y evalúa el caso de estudio, sobre el que se analizan los impactos ambientales de distintas soluciones constructivas de la envolvente. Los resultados obtenidos se utilizan para el desarrollo de los indicadores en el capítulo 7.

5.1 Antecedentes de estudios del impacto de los edificios basados en ACV.

Se ha realizado un análisis de los estudios publicados por otros autores sobre los impactos ambientales obtenidos a partir del ACV aplicado a materiales y/o a soluciones constructivas.

Existen proyectos que plantean nuevos sistemas para la reducción del impacto ambiental de la envolvente respecto de las soluciones constructivas convencionales. Estos proyectos desarrollan soluciones de gran interés arquitectónico por su singularidad y belleza a la vez que contribuyen al desarrollo de alternativas más sostenibles de la envolvente de los edificios ((Pasquero et al., 2009); (Alonso et al., 2013); Rodriguez et al., 2013)).

Existen estudios basados en la aplicación del Análisis de Ciclo de vida a los materiales de la envolvente ((Benveniste et al., 2011); (Wadel et al, 2012), (Marrero et al 2013)), si bien la evaluación de la fase de uso se limita al impacto generado por los materiales, sin llegar a tener en cuenta la demanda energética del edificio durante su vida útil.

Algunos proyectos analizan el comportamiento medioambiental de soluciones constructivas más sostenibles y novedosas destinadas a la rehabilitación ((Sacht et al, 20011) e (Informe SUSREF, 2012), (Pulido et al., 2013)). Teniendo en cuenta que el objeto de esta tesis es obtener un modelo de evaluación de soluciones constructivas para apoyar al diseñador en la selección de soluciones constructivas en la fase inicial del diseño, el análisis de los proyectos específicos para la rehabilitación de los edificios se llevará a cabo como punto de partida de una futura investigación basada en la evaluación medioambiental de soluciones constructivas para la rehabilitación de la envolvente de los edificios.

Teniendo en cuenta estas consideraciones, se ha realizado la búsqueda bibliográfica de estudios que plantean diversas aproximaciones metodológicas para evaluar el impacto ambiental de la envolvente de los edificios, considerando tanto el impacto de los materiales y soluciones constructivas como los impactos que se derivan de las instalaciones de climatización de la fase de uso del edificio, cuya demanda de funcionamiento se puede considerar vinculada en parte a las soluciones constructivas.

1-Gonzalo et al. (2000 a), evaluaron los requerimientos energéticos de los edificios en Tucuman-Argentina. El objetivo de este proyecto era comprobar si las modificaciones en el diseño de la envolvente determinaban sustanciales diferencias en el consumo energético final de la vivienda. Se utilizó como caso de estudio una vivienda unifamiliar en planta baja de 60 m² de superficie.

Capítulo 5. DEFINICIÓN DE LA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE LA ENVOLVENTE BASADA EN EL ACV

El procedimiento consistió en la realización de numerosas simulaciones térmicas para distintas soluciones de la envolvente combinadas con distintas orientaciones, determinando en cada caso los consumos de energía necesarios para alcanzar el confort de verano y de invierno por medios artificiales.

Se consideraron las siguientes variables: orientación (N, S, E y O), color (diferentes colores), sistemas constructivos (cubierta de chapa galvanizada con cielorraso de yeso y losa de hormigón armado; fachadas de muro de ladrillo común de 0,15 con 2 caras revocadas y muro de ladrillo común de 0,30 con caras revocadas) y aislamiento a base de poliestireno expandido de varios cm de espesor.

El periodo de vida útil considerado fue de 40 años y como unidad funcional se empleó la vivienda completa de 60 m² de superficie útil.

Se utilizó la herramienta Quick II para realizar la simulación energética, a partir de la cual evaluar el consumo de energía y los costes de inversión. En cuanto a las fases del ciclo de vida, se consideró fundamentalmente la fase de uso; si bien se compararon los costes de inversión de la fase de fabricación con los costes de amortización de la fase de uso.

Los resultados mostraron la influencia del aislamiento y de los distintos materiales de envolvente en función de la zona climática y de la orientación. El consumo de energía de la situación más desfavorable resultó ser un 94% superior a la más conveniente.

Se concluyó que las soluciones constructivas adoptadas para la envolvente determinan una variación importante en cuanto a los consumos y que el coste inicial de una solución de envolvente más eficiente es amortizable en un periodo máximo de cinco años.

2- Mithraratne y Vale, (2004) realizaron un estudio en Nueva Zelanda para evaluar el comportamiento medioambiental de los edificios. El objetivo de este proyecto era desarrollar un modelo que permitiera aplicar el ACV en los edificios de viviendas con la finalidad de ofrecer a los diseñadores la posibilidad de seleccionar entre diferentes soluciones constructivas comparando su comportamiento medioambiental. Se utilizó como caso de estudio una vivienda unifamiliar aislada en Nueva Zelanda.

El procedimiento consistió en la aplicación de una metodología de ACV calculando por separado el requerimiento de energía de las instalaciones mediante un programa de simulación energética simplificado para transferir posteriormente los datos al ACV. Los impactos ambientales distintos a las emisiones de los gases de efecto invernadero (GEI) se evaluaron según una calificación de construcción utilizando la opinión de expertos (la puntuación 1 indicaba el menor impacto y calificaciones más altas indicaban un mayor impacto). Los datos relativos a los consumos de energía del calentador y de los combustibles también se integraron en el modelo. Para calcular los impactos en la fase de mantenimiento se calculó el número de veces que los componentes tenían que ser sustituidos durante toda la vida del edificio. También se consideraron los impactos de la fase de uso.

Se consideraron como variables diversas soluciones constructivas tales como, construcción ligera, construcción a base de hormigón, construcción muy aislada con 20 cm de fibra de vidrio, etc.

El periodo de vida útil considerado fue de 100 años y la unidad funcional 1m² de superficie útil del edificio. Como herramientas se utilizaron un método de ACV y un programa de simulación térmica para calcular los consumos de energía, ambos desarrollados en la Universidad de Auckland. Se consideraron todas las fases del ciclo de

Capítulo 5. DEFINICIÓN DE LA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE LA ENVOLVENTE BASADA EN EL ACV

vida: fase de fabricación y puesta en obra, fase de mantenimiento y uso y fase de demolición. Y se evaluaron las emisiones de CO₂ equivalente, el consumo de energía, los costes de la energía y el consumo de agua en todas las fases.

Los resultados mostraron que el impacto debido a la fase de fabricación afectaba de manera diferente en cada uno de los casos analizados, suponiendo un 34%, 24% y 55% del impacto total de construcción ligera, muy aislada y pesada respectivamente respecto de toda la vida útil del edificio. Al final del ciclo de vida completo, el impacto de la construcción ligera superaba en un 31% al impacto de la construcción muy aislada, siendo un 9% menor que el de una construcción pesada.

Se concluyó que la aportación en la fase inicial del diseño de toda la información obtenida puede ayudar al diseñador a tomar decisiones.

3-Argëllo, T.R. y Cuchí, A. (2004), realizaron un proyecto para analizar el impacto ambiental asociado a los materiales de construcción empleados en las viviendas de bajo coste. El objetivo de este proyecto era analizar el impacto ambiental de los materiales de construcción de estas viviendas para verificar si las propuestas tecnológicas de techumbres propuestas por los investigadores del Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED), eran medioambientalmente más sostenibles que el sistema constructivo de techo más demandado en la región central de Chiapas. Se utilizaron como caso de estudio diez viviendas de bajo coste construidas dentro del Programa 10x10 Con Techo-Chiapas.

El procedimiento consistió en la comparación del impacto ambiental de los sistemas constructivos propuestos y en el análisis del impacto asociado a la construcción de una vivienda de similares características arquitectónicas empleando sistemas constructivos convencionales en la región.

El periodo de vida útil considerado fue de 50 años y la unidad funcional 1m² de superficie útil del edificio. Como herramienta se utilizó TCQ 2000 y los datos medioambientales se obtuvieron de la base del BEDEC, PR/PCT del Instituto de la Construcción de Cataluña (ITeC) y de mediciones térmicas in situ.

Los impactos evaluados fueron: el consumo energético y las emisiones de CO₂ producidas en la fabricación de los materiales y en el transporte al lugar de la obra. En cuanto a las fases del ciclo de vida, se consideraron la fase de fabricación y puesta en obra (incluyendo el transporte de los materiales desde su lugar de fabricación) y la fase de uso.

Los resultados mostraron que la cantidad de energía consumida y las emisiones de CO₂ emitidas en la realización de las techumbres eran muy superiores a las requeridas para la construcción de los techos con tecnologías a base de estructuras de madera y tejas cerámicas; sin embargo, los sistemas menos contaminantes resultaron ser los que precisaban más aportes energéticos durante la fase de uso.

Se concluyó que las soluciones constructivas a base de ladrillo común, mortero y hormigón no logran la sostenibilidad ambiental requerida porque emplean materiales cuyo ciclo de vida es degradante con el medio ambiente.

4-Alias, G. y Jacobo, J., (2007), desarrollaron un trabajo de investigación sobre la construcción energética y los materiales ambientalmente eficientes en el nordeste de Argentina. El objetivo era demostrar que la construcción en madera representaba una

alternativa constructiva más eficiente, desde el punto de vista ambiental, en Argentina, con respecto a la construcción tradicional a base de mampostería de ladrillos de fabricación local. Para seleccionar el caso de estudio, se realizó un análisis de las tipologías de viviendas de interés social implantadas masivamente en las provincias de Corrientes y Chaco.

El procedimiento consistió en el cálculo del impacto de los materiales en la fase de fabricación y puesta en obra, en la obtención de los impactos de la fase de uso utilizando una herramienta de simulación energética y el cálculo de los impactos en la fase de demolición.

Se consideraron como variables los diferentes materiales de la envolvente (madera y ladrillo cerámico), así como distintas orientaciones. El periodo de vida útil considerado fue de 50 años y la unidad funcional 1m^2 de muro de madera y 1m^2 de muro de mampostería de ladrillos. Como herramientas se utilizaron SimaPro 5 Demo y el programa de simulación energética Quick II.

Los impactos evaluados fueron: el potencial de calentamiento global y el potencial de acidificación, los recursos o materias primas utilizadas, el consumo de energía primaria, las emisiones de CO_2 y el consumo de agua. También se propusieron unos indicadores para medir la eficiencia ambiental de las viviendas, la energía y emisiones asociadas al transporte en todas las etapas; energía, agua consumida y emisiones asociadas al procesamiento y producción de componentes y la energía y emisiones asociadas al uso y residuos. Considerando todas las fases del ciclo de vida completo.

Los resultados mostraron que al remplazar los muros de mampostería tradicional por paneles de madera, el índice anual de consumo energético por unidad de superficie se reducía casi un 21% con respecto a la situación original. Los resultados obtenidos corroboraron la relación entre el factor de forma y el comportamiento térmico, es decir las tipologías compactas presentaban un mejor comportamiento térmico sobre las tipologías abiertas, tanto para verano como para invierno. En cuanto al resto de impactos, considerando la cantidad de materia de cada solución constructiva, el panel sandwich de madera (29 kg/m^2), resultó ser muy inferior a la del muro de ladrillos (490 kg/m^2); respecto a la energía y emisiones asociadas al transporte se obtuvo una importante diferencia a favor del panel de madera; y la energía requerida para procesar la madera resultó menor, a la energía consumida en la fabricación del cemento y la cal para ejecutar el muro de ladrillos.

5- Pulselli et al. (2008), realizaron un estudio sobre la evaluación de los consumos energéticos y del coste-beneficio ambiental de la envolvente de los edificios, en función de la ubicación geográfica y del clima. Se utilizaron como caso de estudio tres tipologías de fachada: una fachada convencional, una fachada con aislamiento exterior y una fachada ventilada.

El procedimiento consistió analizar, por un lado, el consumo de la energía durante todas las etapas de la construcción de la envolvente, y por otro lado, obtener el consumo de energía durante la vida útil del edificio, para mantener constantes las condiciones climáticas interiores ($18\text{ }^\circ\text{C}$), con la intención de equilibrar la disipación de calor a través de la envolvente (la pérdida de calor en invierno y la ganancia de calor en verano), es decir se calculó el flujo de energía.

Se consideraron como variables tres zonas geográficas con condiciones climáticas específicas (temperatura, humedad, presión atmosférica y radiación solar): Berlín (clima frío), Barcelona (clima templado), Palermo (clima caluroso).

Capítulo 5. DEFINICIÓN DE LA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE LA ENVOLVENTE BASADA EN EL ACV

El periodo de vida útil considerado fue de 50 años y la unidad funcional 1000m² de pared ciega. Como herramienta se utilizaron sistemas de medición real in situ.

Los impactos evaluados fueron: los costos y beneficios ambientales, el consumo de energía-emergía para la fabricación y puesta en obra y la demanda-ahorro de energía para calefacción y refrigeración, en las fases de construcción y puesta en obra y fase de uso.

Los resultados mostraron que la envolvente de los edificios tenía diferente rendimiento energético en relación a las condiciones generales del clima. Por otra parte se demostró que la envolvente de un edificio con actuaciones mejoradas requería una mayor inversión en la fase de fabricación (alrededor de un 9% más de consumo de energía y de materiales), pero las mejoras obtenidas en cuanto a la demanda durante la fase de uso oscilaron entre un 44% y un 54%, concluyendo que era necesario desarrollar nuevas tecnologías para la construcción de cerramientos que respondan mejor a las condiciones climáticas específicas.

6- Gustavsson y Joelsson (2009) realizaron un estudio en Suecia para analizar la posibilidad de reducir la demanda de calefacción en los edificios de uso residencial, comparando el consumo de energía primaria y las emisiones de CO₂ durante la fase de fabricación de los materiales respecto de los consumos energéticos y las emisiones de CO₂ generadas durante la fase de uso vinculadas a las soluciones constructivas seleccionadas. Se utilizaron como caso de estudio once edificios, entre ellos una vivienda unifamiliar y un edificio de apartamentos de bajo consumo.

El procedimiento consistió en el cálculo de la energía consumida durante la construcción, valorando la energía primaria necesaria para la extracción, el procesamiento y el transporte de los materiales de construcción y por otro lado, la obtención del consumo de energía durante la fase de uso.

El periodo de vida útil considerado fue de 50 años y la unidad funcional 1 m² de superficie horizontal y 1 m² de superficie vertical. Como herramienta se utilizó el software ENSYST.

Los impactos evaluados fueron: emisiones de CO₂ de la fase de construcción (información obtenida de las DAP) y la energía consumida para la fabricación de los sistemas de calefacción que se incluyó en la fase de fabricación.

Los resultados variaron para cada uno de los casos de estudio. En todos los casos se comprobó que los consumos de energía primaria utilizada en las fases de fabricación y demolición representan una proporción mucho menor que la energía consumida durante la fase uso.

Se concluyó que el uso de la energía primaria y las emisiones de CO₂ dependían en gran medida de la fuente de energía utilizada, tanto en los edificios convencionales como en edificios de bajo consumo. También se observó que los edificios de bajo consumo utilizaban más energía en la fase de fabricación que los edificios normales, pero sin embargo este incremento se compensaba sobradamente durante la fase de uso, ya que durante este periodo, el consumo de energía primaria descendía considerablemente en los edificios de bajo consumo.

7- Zabalza et al., (2009), desarrollaron un estudio de análisis de las herramientas de ACV aplicables al sector de la construcción. El objetivo de este proyecto era el desarrollo de un sistema de evaluación del impacto ambiental de los edificios, utilizando como caso de estudio una vivienda unifamiliar adosada de cuatro plantas de 222 m² de superficie perteneciente al municipio de Zaragoza (España).

Capítulo 5. DEFINICIÓN DE LA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE LA ENVOLVENTE BASADA EN EL ACV

El procedimiento consistió en seleccionar los materiales integrantes de las soluciones constructivas a partir de la base de datos BEDEC, PR/PCT del Instituto de la Construcción de Cataluña (ITeC). A continuación se calcularon los impactos de todos los componentes de los cerramientos y particiones de la vivienda utilizados en la fase de fabricación alternando el empleo del método CED para evaluar la energía primaria y el método PCA, basado en un ACV simplificado, para evaluar las emisiones de CO₂. Posteriormente se aplicó la herramienta CALENER VYP para obtener la calificación energética, las emisiones de CO₂ y los consumos de energía primaria por año, durante la fase de uso.

Se consideraron como variables la Zona climática D3 y requisitos relacionados con la limitación de la demanda de energía establecida en España por el Código Técnico de la Edificación. Los impactos evaluados fueron: el consumo de energía primaria y emisiones de CO₂.

Los resultados mostraron que la energía consumida por los materiales representaba el 31% del requerimiento total de energía durante la vida del edificio y las emisiones de CO₂ de los materiales representaban el 41% de las emisiones totales de CO₂ durante la vida útil del edificio. También se comprobó que al aumentar el espesor del aislamiento, disminuía la demanda de energía y que la sustitución de la caldera convencional por una caldera de condensación implicaba una reducción en el consumo de energía y de las emisiones de CO₂ asociadas a la fase de uso.

Se concluyó que las emisiones de CO₂ producidas durante la fase de fabricación no se tienen en cuenta en ninguno de los procedimientos de Certificación energética existentes en España y que esta situación es común a todos los sistemas de certificación europeos.

En cuanto al desarrollo de una metodología simplificada de ACV, se concluyó que los datos de entrada en un ACV deberían ser fáciles de aplicar y que los indicadores y las categorías de impacto seleccionadas deberían ser fáciles de entender. Además, siempre que fuera posible, los impactos de la fase de fabricación se deberían obtener a partir de las declaraciones ambientales de producto (DAP).

8-Verbeeck y Hens, (2010), estudiaron el potencial de reducción de consumo de energía de las viviendas de bajo consumo respecto de las viviendas comunes. El objetivo de este proyecto era analizar la diferencia entre la energía necesaria para la construcción de viviendas de bajo consumo y la energía consumida durante la fase de uso de las mismas, en comparación con el consumo de las viviendas convencionales. Se utilizó como caso de estudio cuatro tipologías de vivienda unifamiliar en Bélgica, una vivienda adosada, una vivienda pareada y dos viviendas aisladas.

El procedimiento consistió en medir la energía consumida para la producción de todos los materiales de construcción, transporte y fabricación, así como la energía consumida durante la fase de mantenimiento a partir de la base de datos Ecoinvent (Ecoinvent Centro, 2007). Posteriormente se calcularon los consumos de energía durante la fase de uso utilizando una herramienta de simulación energética.

Se consideraron como variables: los materiales y productos utilizados en la construcción de viviendas de bajo consumo (vidrios bajo-emisivos, carpinterías estancas, aislamiento en suelos, techos y fachada, acabado exterior con EPDM, etc.); teniendo en cuenta que las viviendas de bajo consumo exigen estos productos en su construcción.

El periodo de vida útil considerado fue de 30 años y la unidad funcional 1m² de superficie útil. Como herramienta se utilizó la herramienta de simulación TRNSYS y los datos de inventario se tomaron de la base de datos Ecoinvent.

Capítulo 5. DEFINICIÓN DE LA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE LA ENVOLVENTE BASADA EN EL ACV

Los impactos evaluados fueron: el potencial de calentamiento global, las emisiones equivalentes de CO₂, SO_x, NO_x y partículas. En cuanto a las fases del ciclo de vida, se evaluaron la fase de fabricación, la fase de mantenimiento y fase de uso.

El ACV mostró que la energía incorporada para la construcción y mantenimiento de las cuatro viviendas tenía una importancia menor respecto del consumo de energía durante la fase de uso. En el caso de las viviendas comunes que cumplían con el nivel de rendimiento energético legal, el total de energía consumida representaba entre el 33% y el 25% del consumo de energía primaria durante 30 años de uso del edificio. En el caso de viviendas de bajo consumo, aunque éstas viviendas requerían un aporte de energía un 10% superior en la fase de fabricación, la suma del consumo de energía durante la fase de fabricación y el de la fase uso era mucho menor que el de las viviendas comunes.

Se concluyó que la reducción de los impactos ambientales de los edificios debería centrar su esfuerzo en la reducción del consumo de energía durante la fase de uso.

9-Ortiz et al., (2010), desarrollaron un estudio sobre el impacto medioambiental de la construcción basado en la metodología de ACV aplicado a un edificio de uso residencial en Barcelona. El objetivo de este proyecto era definir criterios para ayudar al diseñador en la selección de materiales de construcción para reducir el impacto ambiental de los materiales utilizados, minimizar la cantidad de residuos generados y aumentar los productos reciclados. Se utilizó como caso de estudio un bloque de apartamentos de tres plantas ubicado en Barcelona.

El procedimiento consistió en aplicar el ACV para evaluar el comportamiento medioambiental de diferentes soluciones constructivas en la fase de fabricación, incluyendo el transporte y puesta en obra.

Se consideraron como variables: diferentes combinaciones de cerramientos y de particiones interiores. El periodo de vida útil considerado fue de 50 años y la unidad funcional 1m² de superficie útil. 1m² de elemento constructivo horizontal y 1 m² de elemento constructivo vertical.

Como herramienta se utilizó el software TCQ GMA para analizar el impacto ambiental de los elementos constructivos y los costes de fabricación, y para definir los materiales de construcción integrantes de cada solución constructiva y la base de datos del Bedec (ITECa). Los datos de inventario se obtuvieron de la base de datos Ecoinvent (Ecoinvent Centro, 2007) y como método de evaluación de impactos se utilizó CML 2 baseline 2000.

Los impactos evaluados fueron: el potencial de calentamiento global, el potencial de acidificación, la energía consumida, los residuos generados y el agua consumida, para la fase del ciclo de vida, se evaluaron la fase de fabricación, incluyendo el transporte y la fase de uso.

Los resultados mostraron que el 85% del impacto del potencial de calentamiento global se producía durante la fabricación de materiales y el resto durante el transporte y la puesta en obra; el 77% del impacto de potencial de acidificación, era debido a la fabricación de los materiales mientras que el resto era debido al transporte y puesta en obra. El total de agua consumida por los cerramientos y particiones representaba el 35% del total de agua consumida, mientras que la consumida por la estructura representaba el 24%. En general, el consumo de agua era superior en los escenarios que incorporaban la cal como material.

10- Rúa et al., (2010), desarrollaron entre 2006 y 2009 un proyecto de investigación titulado “Modelo de evaluación para la asistencia en la selección eco-eficiente de sistemas constructivos en España” en el que se observó que el consumo energético del edificio achacable a la solución constructiva de la envolvente, era una de las principales causas de impacto en los sistemas constructivos del edificio. El objetivo de este proyecto era comparar el comportamiento de la fachada ventilada respecto de la fachada convencional de doble hoja a lo largo de todo el ciclo de vida del edificio. Se utilizó como caso de estudio una vivienda unifamiliar aislada.

El procedimiento consistió en aplicar un programa de cálculo ambiental para obtener los impactos de la fase de extracción, fabricación y puesta en obra y a continuación, aplicar programas de simulación energética para calcular los impactos de la fase de uso e introducir estos datos en la herramienta de ACV.

Se consideraron como variables dos orientaciones diferentes en cada una de las zonas climáticas identificadas en el CTE; sistemas multi-split inverter para la refrigeración y radiadores, con una caldera mixta de gas natural para la calefacción. El periodo de vida útil considerado fue de 100 años y la unidad funcional 210m² de superficie de fachada. Como herramienta se utilizó SimaPro 7.0 para la obtención de los impactos de la fase de fabricación y los programas de simulación energética LIDER 1.0 y CALENER VYP 1.0 para obtener los impactos de la fase de uso.

Los impactos evaluados fueron: el potencial de calentamiento global, otras emisiones, acidificación, eutrofización y consumos de energía primaria. En cuanto a las fases del ciclo de vida, se evaluaron las fases de extracción, fabricación y puesta en obra y la fase de uso.

Respecto de los consumos, se observó que la fachada ventilada requería un consumo energético inferior, incluso en las zonas climáticas con veranos severos e inviernos suaves. Respecto de las emisiones, se observó que, considerando exclusivamente las cargas ambientales debidas a la extracción de materia prima y la puesta en obra de los materiales, la fachada ventilada tenía un impacto ambiental superior a la fachada de doble hoja cerámica, debido al alto impacto de los perfiles de aluminio. Sin embargo durante la fase uso, se mostró la mejora medioambiental que suponía la fachada ventilada a lo largo de la vida útil del edificio, compensando esta diferencia, haciendo a la fachada ventilada una solución mucho más ventajosa desde el punto de vista medioambiental. Se concluyó que en los edificios, la fase con el impacto medioambiental más alto es la de uso y mantenimiento por su larga vida útil.

En este estudio también se estableció que para poder comparar los impactos ambientales de dos soluciones diferentes en el ACV era necesaria una fase final de valoración, que permitiera ponderar las diferentes categorías de impacto entre sí, pero este paso no se estandarizó. La mayor innovación del método propuesto fue la incorporación de la fase uso al inventario de las soluciones de fachada.

11- Estress Consultores, (2010) desarrollaron un proyecto basado en la simulación energética titulado “Potencial de ahorro energético y de reducción de emisiones de CO₂ del parque residencial existente en España en 2020”. El alcance del estudio se centró en los edificios de uso residencial vivienda que representaban el 85% de la superficie construida en España y el 17% del consumo de energía final. Este estudio no consideraba las emisiones ni los consumos de las fases iniciales del ciclo de vida y se centró básicamente en el ahorro energético que se podría obtener en base a unas propuestas de mejora en los edificios existentes. El objetivo de este proyecto era mostrar cómo se

puede reducir el consumo de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a los edificios de viviendas existentes en España, mediante la aplicación de diferentes soluciones de mejora energética.

Se utilizó como caso de estudio tres tipos de viviendas: unifamiliar aislada, unifamiliar adosadas (entre medianeras) y colectiva (en bloque).

El procedimiento consistió en comparar el consumo de energía y las emisiones de los edificios de viviendas, teniendo en cuenta las diferentes condiciones climáticas y tipologías edificatorias existentes en la geografía española. Se analizó el impacto que tendría sobre el consumo de energía del parque residencial existente, evaluando un total de 918 casos diferentes.

Para conocer el potencial del parque de viviendas existente, se realizó una caracterización energética de éste y se valoró el efecto de distintas soluciones de mejora energética sobre el consumo de energía y las emisiones de energía, teniendo en cuenta las diferentes condiciones climáticas y tipologías edificatorias existentes en nuestra geografía.

Se consideraron como variables las doce zonas climáticas establecidas en la Sección HE1 del Documento Básico de Ahorro de Energía DB-HE del Código Técnico de la Edificación, agrupadas en tres zonas climáticas. Los valores empleados para las características térmicas de los cerramientos existentes se basaron en datos estadísticos y se utilizaron herramientas de simulación energética LIDER 1.0 y CALENER VYP 1.0.

Los impactos evaluados fueron: el potencial de calentamiento global, la energía consumida, el potencial de acidificación y el agua consumida. En cuanto a las fases del ciclo de vida, el estudio se centró básicamente en la fase de uso y mantenimiento.

Los resultados mostraron que a pesar de la mayor inversión inicial, el ahorro económico que se conseguía mejorando el aislamiento de las viviendas era cuatro veces superior a los beneficios que se consiguen si tan sólo se modernizan los equipos de climatización o de instalación y que los tiempos de retorno de la inversión podrían ser asumibles para los propietarios de las viviendas ya que oscilaban entre 10 y 11 años.

12- Iyer_Raniga et al., (2011), realizaron en Australia un proyecto de investigación combinando la metodología de ACV con un software de simulación energética. El objetivo era evaluar el comportamiento medioambiental de los edificios patrimoniales teniendo en cuenta la intervención realizada conservando los valores patrimoniales.

Se utilizaron como caso de estudio ocho edificios patrimoniales de diferente antigüedad, tipología y zona climática en Victoria, Australia.

El procedimiento consistió en realizar una lista con los componentes integrantes de cada edificio basada en los siguientes grupos: cimientos, pilares, forjados, escaleras, techos, cerramientos, particiones, ventanas y puertas exteriores. Posteriormente se aplicó el ACV basándose en el tipo y cantidad de materiales obtenidos para cada grupo para un periodo de vida útil de 100 años y una unidad funcional 1m² de superficie construida.

Los impactos evaluados fueron principalmente: el consumo de energía primaria y las emisiones de CO₂, aunque también se consideraron otros impactos tales como la oxidación fotoquímica, la eutrofización, el uso de la tierra y el consumo de agua. El estudio se centró en la fase de fabricación y en la fase de uso en la que se utilizó el programa de software AccuRate (CSIRO, 2006).

Los resultados mostraron que la energía consumida durante la fase de fabricación, dependiendo de la clase de material, oscilaba entre el 4% y el 18% de la energía primaria consumida durante el total del ciclo de vida.

Capítulo 5. DEFINICIÓN DE LA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE LA ENVOLVENTE BASADA EN EL ACV

Se concluyó que la incorporación de aislamiento en los cerramientos era una de las intervenciones más eficaces como estrategia para reducir el consumo.

13- Alonso, et al., (2011) desarrollaron un estudio sobre la reducción de emisiones en el proyecto de fachadas a partir de la mejora en los sistemas constructivos que componen la envolvente del edificio cuyo objetivo era estudiar la influencia de varios parámetros del diseño de la envolvente en la demanda energética del edificio para una vivienda media en España con una geometría tipo.

El procedimiento consistió en analizar los consumos de energía y emisiones de CO₂ de los materiales en la fase de fabricación y puesta en obra utilizando una herramienta de ACV y en calcular la demanda de energía de la fase de uso utilizando una herramienta de simulación energética y datos estadísticos.

Se consideraron como variables tres zonas climáticas que corresponden a climas más extremos para invierno y verano, E1 León y A4 Almería, y un clima intermedio, D3 Madrid. El periodo de vida útil considerado fue de 50 años y la unidad funcional 1m² de superficie útil.

Los impactos evaluados fueron principalmente: las emisiones de CO₂ y consumo de energía primaria. En cuanto a las fases del ciclo de vida, el estudio se centró en la fase de fabricación y en la fase de uso.

Para evaluar los impactos de la fase de fabricación se utilizó la herramienta TCQ2000 y los datos se obtuvieron de la base de datos del BEDEC, PR/PCT del Instituto de la Construcción de Cataluña (ITeC). Para el cálculo de la demanda se empleó el programa LIDER y para el cálculo de las emisiones de CO₂ y consumo de energía primaria se consideraron los coeficientes de paso utilizados para las certificaciones del IDAE.

Los resultados mostraron que el incremento de la renovación de aire en las zonas más cálidas resulta favorable para la refrigeración. Cuanto más baja era la transmitancia de un cerramiento, menor era la demanda del edificio tanto para refrigeración como para calefacción.

Se concluyó que el aumento del porcentaje medio de huecos de las fachadas aumentaba considerablemente la demanda de refrigeración, mientras que para la demanda de calefacción las diferencias eran menos significativas. En este estudio no se intentó asociar la energía que se consumía en el uso del edificio a los sistemas constructivos concretos.

Una vez revisados los estudios sobre el impacto de los edificios a lo largo del ciclo de vida, se puede decir que los proyectos analizados no son totalmente comparables, ya que hay diferencias en el caso de estudio seleccionado, la ubicación geográfica, las condiciones bioclimáticas, la base de datos considerada y las herramientas aplicadas; ahora bien todos ellos presentan en común los aspectos que se detallan a continuación.

-En cuanto a la metodología de evaluación, todos estos proyectos han utilizado el ACV.

-En cuanto a la unidad funcional, la mayoría de los proyectos analizados han considerado 1m² de superficie útil del edificio ((Mithraratne y Vale, (2004), Argëllo, T.R. y Cuchí, A. (2008), Zabalza et al., (2009), Verbeeck y Hens, (2010), Alonso, et al., (2011)); otros han considerado 1m² en horizontal o vertical de superficie construida de la envolvente (Alias, G. y Jacobo, J., (2007), Gustavsson y Joelsson (2009); Ortiz et al., (2010)), algunos han considerado la superficie de la vivienda completa o la superficie de la envolvente completa (Gonzalo et al. (2000 a), Rua et al., (2010)).

Capítulo 5. DEFINICIÓN DE LA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE LA ENVOLVENTE BASADA EN EL ACV

-En cuanto al periodo de vida útil, prácticamente todos los proyectos han coincidido en establecer un periodo de 50 años o menos, aunque algunos han considerado un periodo de 100 años (Mithraratne y Vale, (2004), Rua et al., (2010), Iyer_Raniga et al., (2011)).

-En cuanto a las fases del ciclo de vida evaluadas, todos los proyectos muestran la necesidad de valorar y comparar los impactos producidos a lo largo del ciclo de vida completo del edificio para ofrecer al diseñador información suficiente a la hora de comparar diferentes alternativas, pero únicamente algunos de estos estudios han incluido la fase de demolición (Mithraratne y Vale, (2004); Alias y Jacobo, (2008); Ruá et al., (2010), Iyer_Raniga et al., (2011)); el resto de los estudios se han centrado en la fases de fabricación y puesta en obra y en la fase de uso (Gonzalo et al. (2000 a), Argëllo, T.R. y Cuchí, A. (2008), Pulselli et al. (2008), Gustavsson y Joelsson (2009), Zabalza et al., (2009), Verbeeck y H Alonso, et al., (2011), Ortiz et al., (2010), Iyer_Raniga et al., (2011), Alonso, et al., (2011).

-En cuanto a los impactos derivados del mantenimiento de los edificios, únicamente han sido tenidos en cuenta en algunos casos (Mithraratne y Vale, (2004); Estress Consultores, (2010); Iyer_Raniga et al., (2011)).

-Las herramientas utilizadas en cada estudio han sido diferentes, pero básicamente en todos los casos se han empleado herramientas y bases de datos específicas de ACV para evaluar los impactos de la fase de fabricación (SimaPro, TCQ2000, DAP) y herramientas de simulación energética para evaluar los impactos de la fase de uso (Quick II, Transys, Lider y Calener).

-Los impactos mayoritariamente tenidos en cuenta por los estudios analizados, son el consumo de energía primaria y las emisiones equivalentes de CO₂. Únicamente en los estudios en los que se han empleado herramientas específicas de ACV como SimaPro, se han obtenido datos de otros impactos como el Potencial de calentamiento global, otras emisiones, acidificación, eutrofización y consumos de energía primaria de la fase de fabricación y puesta en obra (Mithraratne y Vale, (2004); Alias y Jacobo, (2008); Rua et al., (2010), Iyer_Raniga et al., (2011)). El impacto derivado del consumo de agua, únicamente se tuvo en cuenta en alguno de los proyectos (Mithraratne y Vale, (2004); Alias y Jacobo (2007); Ortiz et al., (2010); Iyer_Raniga et al., (2011)).

-En relación a las bases de datos utilizadas, sin bien es cierto que en la mayoría de los casos, los impactos ambientales se han obtenido a partir de bases de datos internacionales como Ecoinvent, alguno de los proyectos ha basado su estudio en bases de datos propias (Mithraratne y Vale, (2004)); en otros casos, los impactos de la fase de fabricación y puesta en obra se han obtenido a partir de datos proporcionados por el banco BEDEC, PR/PCT del Instituto de la Construcción de Cataluña (ITeC) (Argëllo, T.R. y Cuchí, A. (2008); Ortiz et al., (2010); Alonso, et al., (2011)).

-Únicamente algunos proyectos han dado datos respecto del impacto económico considerando bien el coste de inversión o bien el coste-beneficio ambiental (Gonzalo et al. (2000 a); Alias y Jacobo (2007), Pulselli et al. (2008), (Estress Consultores, 2010))

- Respecto a la dificultad que representa la comparación de los datos de la fase de fabricación en la que los impactos son achacables directamente a los materiales, con los

Capítulo 5. DEFINICIÓN DE LA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE LA ENVOLVENTE BASADA EN EL ACV

datos de la fase de uso en la que los impactos son achacables principalmente a las instalaciones del edificio; todos los proyectos han considerado la vinculación existente entre las emisiones y consumos de las instalaciones de climatización con las soluciones constructivas de la envolvente; pero únicamente en algunos casos se han dado datos precisos del peso de los impactos de cada una de las fases respecto del ciclo de vida completo del edificio ((Alias y Jacobo (2008); Zabalza et al., (2009); Verbeeck y Hens, (2010), Ortiz et al., (2010); Rua et al., (2010) ; Iyer_Raniga et al., (2011)).

Únicamente en uno de los proyectos analizados se ha sintetizado toda la información recabada en forma de indicadores para asignar una puntuación a las distintas alternativas de diseño, considerando los diferentes impactos en todo el ciclo de vida del edificio (Mithraratne y Vale, (2004)), aunque en este caso las tipologías y los sistemas constructivos son propios de Nueva Zelanda. La asignación de puntuaciones mediante indicadores, tal y como se había dicho en las conclusiones del capítulo 2 de estas tesis, permitiría comparar datos de diferentes edificios sobre una base de unidad funcional o acreditar el cumplimiento de requisitos medioambientales, en la fase inicial del diseño, antes de que el proyecto estuviese finalizado.

Como se ha visto, todos los estudios analizados desarrollan un análisis de la sostenibilidad de los edificios basado en el ACV pero es muy difícil extrapolar los resultados obtenidos en cada caso para aplicarlos en otro inmueble; de ahí la necesidad de desarrollar un sistema de evaluación simplificado que garantice el cumplimiento de unos requisitos básicos optimizando el método de obtención de impactos ambientales. Así pues, el análisis de la metodología desarrollada en cada uno de los estudios ha servido para establecer unos criterios de aplicación que se recogen en la tabla 5.1, en cuanto a la selección de las herramientas de evaluación y de las bases de datos utilizadas; así mismo ha servido para establecer que elementos constructivos conviene evaluar, cual debe ser la unidad funcional, el periodo de vida, las fases del ciclo de vida a considerar, etc.

Por otra parte, los datos obtenidos de las conclusiones de algunos de los proyectos analizados se utilizarán como valores de referencia en la comparación con los resultados de esta tesis. Estos resultados se utilizarán para desarrollar un modelo de evaluación y de puntuación medioambiental que permita disponer en la fase inicial del diseño de suficiente información como para adoptar una determinada solución constructiva frente a otras alternativas.

Capítulo 5. DEFINICIÓN DE LA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE LA ENVOLVENTE BASADA EN EL ACV

Autor	Año	Título del proyecto	Metodología de evaluación	Caso de estudio	Unidad funcional	Herramientas y bases de datos	Impactos
Gonzalo et al.	1997	Determinación y análisis de los requerimientos energéticos para el acondicionamiento térmico de un prototipo de vivienda ubicada en San Miguel de Tucumán	ACV	Vivienda unifamiliar en planta baja en Tucumán-Argentina	60 m ²	QuickII	Consumo de energía primaria. Emisiones CO ₂ . Consumo de agua
Mithraratn y Vale	2004	Life cycle analysis model for New Zealand houses	ACV	Vivienda unifamiliar en Nueva Zelanda	1m ² de superficie útil	Método de ACV de la Universidad de Auckland	Emisiones de CO ₂ equivalente de GEI
Alías y Jacobo	2007	Construcción sostenible. materiales de construcción energética y ambientalmente eficientes en el nordeste de Argentina	ACV	Unidad habitacional residencial	1m ² de superficie útil	Simapro v.5 Quick II	Potencial de calentamiento global y el potencial de acidificación, recursos o materias primas, energía y
Argello y Cuchi	2008	Análisis del impacto ambiental asociado a los materiales de construcción empleados en las viviendas de bajo coste del programa 10x10. Con Techo-Chiapas del CYTED	ACV	Diez viviendas de bajo coste construidas dentro del Programa 10x10 Con Techo-Chiapas	1m ² de superficie útil	TCQ 2000. Base BEDEC.	Consumo energético y las emisiones de CO ₂
Pulselli et al.	2008	Energy and energy based cost-benefit evaluation of building envelopes relative to geographical location and climate	ACV	Tres tipologías de fachada, una fachada convencional, una fachada con aislamiento exterior y una fachada ventilada.	1000 m ² de superficie construida	Análisis de casos reales	Consumo de energía primaria. Emisiones CO ₂
Gustavsson y Joellsson	2009	Life cycle primary energy analysis of residential buildings	ACV	Once edificios entre ellos una vivienda unifamiliar y un edificio de apartamentos	1m ² horizontal y 1 m ² vertical. El Construido	ENSYST DAP	Consumo de energía primaria. Emisiones CO ₂
Zabalza et al.	2009	Análisis de las herramientas de ACV aplicables al sector de la Construcción	ACV	Vivienda unifamiliar de 4 plantas de 222 m ² de superficie	1m ² de superficie útil	LIDER CALENER Base BEDEC y DAP	Consumo de energía y emisiones totales de CO ₂
Verbeeck y Hens	2009	Life cycle inventory of buildings: A contribution analysis	ACV	Cuatro tipologías de vivienda unifamiliar, una adosada, una pareada y dos aisladas. Bélgica	1m ² de superficie útil	TRANSYS. Base Ecoinvent	Potencial de calentamiento global, emisiones equivalente de CO ₂ , SO _x , NO _x y partículas.
Ortiz et al.	2010	The environmental impact of the construction phase: An application to composite walls from a life cycle perspective	ACV	Bloque de apartamentos de tres alturas, con ocho apartamentos por planta	1m ² horizontal y 1 m ² vertical, construidos	TCQ GMA. LIDER, Certificados del IDAE. Base BEDEC. Ecoinvent	Potencial de calentamiento global, energía consumida, potencial de acidificación agua consumida
Rua et al.	2010	Modelo de evaluación para la asistencia en la selección eco-eficiente de sistemas constructivos en España	ACV	Solución de fachada ventilada y de fachada convencional en vivienda unifamiliar	210 m ² de las soluciones de fachada construida	Simapro v.7 LIDER CALENER	Potencial de calentamiento global, otras emisiones, acidificación, eutrofización y consumos de energía primaria
Estress Consultores	2010	Potencial de ahorro energético y de reducción de emisiones de CO ₂ del parque residencial existente en España en 2020.	ACV	Vivienda unifamiliar: PB + 1 (viviendas unifamiliares adosadas (entre medianeras). Vivienda colectiva (bloque).		LIDER CALENER	Potencial de calentamiento global, energía consumida, potencial de acidificación agua consumida
Iyer-Raniga et al.	2011	Evaluation of whole life cycle assessment for heritage buildings in Australia	ACV	Ocho edificios patrimoniales de diferente antigüedad, tipología y zona climática en Victoria, Australia.	1m ² de superficie construida	SIMAPRO. ACCURATE	Consumo de energía primaria, el consumo de agua, el efecto invernadero y las emisiones
Alonso et al.	2011	Criterios para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en el proyecto de fachadas de edificios de Viviendas	ACV	Vivienda pasante en bloque	1m ² de superficie útil	TCQ GMA. LIDER, Certificados del IDAE. Base BEDEC y Ecoinvent	Emisiones de CO ₂ y consumo de energía primaria

Tabla 5.1 Resumen de los proyectos de investigación estudiados y de los impactos considerados por los mismos.

Así pues, en el siguiente apartado se han identificado los aspectos más relevantes a considerar en la aplicación de esta metodología a los edificios.

5.2 Definición de los aspectos que caracterizan la metodología de ACV para edificios

Como se ha dicho en el capítulo 3 de esta tesis, la metodología general de ACV está totalmente estandarizada en las normas UNE-EN ISO 14040 (2006) y UNE-EN ISO 14044 (2006); aunque para el caso concreto de la edificación, existe un conjunto de estándares metodológicos publicados por el Comité Técnico 350 del Comité Europeo de Normalización (CEN/TC 350), para la gestión integral del comportamiento medioambiental de los edificios.

A continuación se analizan los aspectos específicos a considerar en cada una de las fases en las que se divide la metodología de ACV (objetivo y alcance, análisis del inventario, evaluación del impacto e interpretación de los resultados), que se deberían de tener en cuenta para su aplicación en edificios y en sistemas constructivos.

5.2.1 Definición de los objetivos y alcance del ACV

En esta fase se define el tema de estudio y se incluyen los motivos que llevan a realizarlo.

¿Qué razones promueven la realización de un ACV y qué intenciones se tienen en la utilización de los resultados? ¿Qué tipo de decisión se tomará a partir de las conclusiones del estudio y qué tipo de información se necesitará y con qué detalle? ¿A quién irá dirigida la información?

Además del objetivo, debe definirse el alcance del ACV, o sea, se deberá incluir una definición adecuada del sistema o sistemas a estudiar y de sus límites, así como las necesidades de búsqueda de datos, las hipótesis de partida y el nivel de detalle que se abordará. En este paso, el edificio en estudio necesita ser descrito y detallado. Esto incluye información sobre la función del edificio, el tipo, el número de usuarios y tamaño del edificio, etc. También es necesario considerar aspectos como el ámbito geográfico y temporal. Asimismo, se deberá aportar la información acerca de los requisitos sobre la calidad del aire, el clima, etc. Si se desea comparar dos edificios estos criterios deben ser los mismos para ambos. Por consiguiente, se deberá identificar qué es aquello que se pretende analizar y cómo se puede expresar, para poder tratar de forma equivalente a sistemas alternativos de cara a su comparación, de modo que sea posible asociar las entradas y salidas del sistema a una unidad de referencia (Muñoz et al., 2005).

Los supuestos para el estudio, así como los límites del sistema para la evaluación han de ser claros y coherentes si se quiere hacer comparaciones con otros estudios.

Se define la unidad funcional del sistema, como la cantidad de las diferentes soluciones capaces de proporcionar la misma función al edificio. Un ACV sirve para comparar servicios y/o cantidades de producto que lleven a cabo la misma función. La unidad funcional proporciona una referencia respecto a la cual las entradas y salidas del sistema pueden ser normalizadas en un sentido matemático. La Norma ISO 14040 define unidad funcional como la “cuantificación de la función de un sistema del producto, servicio o actividad, que se utiliza como unidad de referencia en el estudio de ACV”. Normalmente

se considera una unidad de tipo físico (base de cálculo), a la que se refieren todas las entradas y salidas del sistema (Ego, 2007).

A continuación se deberá establecer el tiempo de referencia que supone la vida útil del edificio. Se considera la vida útil del edificio como la previsión del período de tiempo durante el cual es susceptible de ser utilizado el mismo en las condiciones de calidad requeridas, siempre que se hayan observado las instrucciones de uso y mantenimiento. La relación entre los impactos de la fase uso y de la fase de fabricación depende de esta elección. La reducción del tiempo de referencia hace que se tenga mayor importancia en el impacto de la fase de fabricación. Para el tiempo de referencia determinado (por ejemplo 50 años), es necesario declarar los supuestos sobre los escenarios acerca de lo que sucederá con el edificio, por ejemplo: suposiciones con respecto al mantenimiento, rehabilitación, etc. Si se incluye el final de la vida útil del edificio, los supuestos incluyen las diferentes actividades demolición y tratamiento de residuos; el comportamiento previsto de los ocupantes, el transporte de los usuarios del edificio, etc. La vida útil estimada será el resultado de multiplicar la vida útil de referencia por cada uno de los factores.

El promedio de la expectativa de vida útil de los materiales de construcción se ha incrementado en los últimos 35 años debido a la generación de nuevos productos, innovadores sistemas de construcción, mano de obra y uso de nuevas tecnología en los procesos durante todo el ciclo de vida completo de los materiales (NAHB, 2007).

En tercer lugar, se establecerán los límites del sistema que hacen referencia a los límites de todo cuanto se tendrá en cuenta en la evaluación en relación con el objeto del estudio. Así por ejemplo se establecerá qué etapas del ciclo de vida serán consideradas en el análisis, qué impactos serán evaluados y qué límites presentan las herramientas seleccionadas.

5.2.2 Análisis de inventario o inventario de ciclo de vida (ICV)

Este es un proceso técnico basado en la obtención de datos para cuantificar la energía y las materias consumidas, y las emisiones a la atmósfera y a las aguas, los residuos sólidos y cualquier otro vertido al medio durante el ciclo de vida completo. El análisis de inventario es fundamentalmente un balance de materia y energía del sistema.

En el proceso de ACV se establecerá una relación causa-efecto entre el consumo de materias primas, generación de residuos y emisiones del sistema con la actividad o proceso que da lugar a la función cuyo análisis se pretende realizar. En esta parte se definen qué fases del ciclo de vida y las actividades que deben incluir, tanto las emisiones de gases contaminantes, como los efluentes de aguas, residuos sólidos, consumo de recursos naturales, ruidos, radiaciones, olores, etc. (Vallejo, 2004). Es necesario establecer el origen de esos datos: bibliográficos y/o medidas in situ; requisitos de calidad de los datos. Según las recomendaciones del CEN 350, el ACV de edificios debe incluir las siguientes etapas:

- Extracción de recursos y producción de materiales. En la construcción de edificios se utiliza una gran variedad de materiales, algunos renovables, otros no.
- Distribución. Actualmente con las facilidades de transporte que existen, los materiales tienen orígenes geográficos diversos.

- **Construcción.** Este proceso es prácticamente el mismo en todas partes, sin embargo, los detalles, las fases y las condiciones pueden variar de país a país. Desde el punto de vista de un Análisis del Ciclo de Vida, los edificios tienen la característica de que son terminados en su lugar de implantación, el solar es en sí mismo una industria donde los materiales se acoplan o se añaden en procesos físicos de producción.
- **Mantenimiento y uso.** La fase de mantenimiento incluye las reparaciones y tareas fundamentales que garantizan la prolongación de la vida útil de las edificaciones, evitando con ello su deterioro y finalmente su destrucción. Se consideran actuaciones de mantenimiento todas aquellas acciones encaminadas a la conservación física y funcional de un edificio a lo largo del ciclo de vida útil del mismo (Tejera, 2003). Existen dos tipos de mantenimiento, el preventivo y el correctivo; el mantenimiento preventivo tiene la posibilidad de ser programado en el tiempo, teniendo como objetivo el control “a priori” de las deficiencias y problemas que se puedan plantear en el edificio debido al uso natural del mismo; el mantenimiento corrector tiene como objetivo las reparaciones y sustituciones físicas y/o funcionales (Loria, 2005). La fase de uso incluye las emisiones y los consumos de las instalaciones del edificio a lo largo de la vida útil del mismo.
- **Demolición.** La demolición marca el final de la vida del edificio, incluye la energía y recursos consumidos durante su demolición, y los transportes asociados. El reciclado/reutilización/retirada, incluye el tratamiento que reciben los materiales de construcción después de la demolición, así como el procesado y transportes asociados. En un edificio que se va a demoler se puede considerar la reutilización de ciertos componentes, etc.

5.2.3 Evaluación del Impacto

La etapa de evaluación de impacto tiene como misión interpretar los resultados obtenidos en el inventario, indicando la capacidad de distorsionar el medio ambiente del producto o actividad. La Evaluación del Impacto tiene algunos elementos obligatorios, según la norma ISO 14044.

Mediante un estudio de ACV se obtiene información sobre la contribución de los edificios por ejemplo al cambio climático y al agotamiento de recursos. Para cada etapa del ciclo de vida se investigan las cantidades de materiales y la energía empleada así como las emisiones asociadas a dichos procesos. Mediante el ACV, la composición y las cantidades de contaminantes generados y de recursos consumidos pueden valorarse en términos de sus impactos potenciales al medio ambiente. Por último son multiplicadas por los factores de caracterización de su impacto medioambiental.

La estructura de esta fase viene determinada por la normativa ISO 14044, distinguiendo entre elementos obligatorios y elementos opcionales. Los elementos considerados obligatorios se incluyen en la selección de las categorías de impacto y son los siguientes:

- **Clasificación:** en esta fase se asignan los datos procedentes del inventario a cada categoría de impacto según el tipo de efecto ambiental esperado.
- **Caracterización:** consiste en la modelización, mediante los factores de caracterización, de los datos del inventario para cada una de dichas categorías de impacto.

Capítulo 5. DEFINICIÓN DE LA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE LA ENVOLVENTE BASADA EN EL ACV

- Cuantificación: consiste en la representación cuantitativa de cada categoría de impacto, por ejemplo la acidificación, precisa de una representación cuantitativa denominada emisión de ácido equivalente.

También existen una serie de elementos opcionales que pueden ser utilizados dependiendo del objetivo y alcance del estudio de ACV y son los siguientes:

- Normalización: se entiende por normalización la relación de la magnitud cuantificada para una categoría de impacto respecto un valor de referencia ya sea a escala geográfica y/o temporal.
- Agrupación, clasificación y posible catalogación de los indicadores.
- Ponderación: consiste en establecer unos factores que otorgan una importancia relativa a las distintas categorías de impacto para después sumarlas y obtener un resultado ponderado en forma de un único índice ambiental global del sistema.
- Análisis de calidad de los datos: ayudará a entender la fiabilidad de los resultados del AICV. Se considerará obligatorio en análisis comparativos (Vallejo, 2004).

Una vez que se hacen las suposiciones, se establecen los límites para el estudio y la recolección de datos, se realizan los cálculos. Las herramientas más avanzadas también permiten calcular los impactos de forma automática, permiten muchas más opciones sobre las presentaciones de resultados, el cálculo de muchos más indicadores, las comparaciones con otros edificios y la ponderación de resultados.

5.2.4 Interpretación de resultados

La interpretación es la fase de un ACV en la que se combinan los resultados de análisis del inventario con la evaluación de impacto. Los resultados de esta interpretación pueden adquirir la forma de conclusiones para poder comparar el comportamiento medioambiental de los elementos evaluados y determinar en qué fase del ciclo de vida del producto se generan las principales cargas ambientales y por tanto qué aspectos del sistema evaluado pueden o deben mejorarse. El análisis de los resultados también permite establecer la intensidad de los impactos evaluados en cada una de las fases y valorar en qué proporción se produce un determinado impacto en las diferentes fases evaluadas. Todos estos datos ayudarán a la selección de soluciones que cumplan con los requisitos medioambientales que pudieran ser establecidos.

Como conclusión, se podría decir que resulta evidente la dificultad que representa adaptar la metodología de ACV a los edificios y a los sistemas constructivos por el tiempo que requiere su desarrollo respecto de los plazos de realización de un edificio y la elevada inversión económica que representaría su aplicación. Por ello, tal y como se ha visto, la mayoría de los estudios que se han analizado al inicio del presente capítulo han simplificado significativamente la metodología de evaluación empleada.

En el apartado siguiente se justificará y definirá cómo aplicar unívocamente la metodología del ACV a los edificios considerando estas posibles simplificaciones.

5.3 Justificación de la aplicación de una metodología simplificada de ACV para edificios

La aplicación del ACV en productos complejos, en los que los límites del sistema se extienden en una multiplicidad de actividades, como el caso de la edificación puede resultar incompatible con evaluaciones fiables del Ciclo de Vida.

Los estudios de ACV sobre edificios que se realizan en España han debido simplificar la metodología empleada así como realizar adaptaciones y aproximaciones respecto de los datos disponibles en las fuentes de información, que en su mayoría proceden de otros países. Aún así, resultan de gran utilidad para la evaluación de la tendencia del impacto ambiental, si bien no lo son para la determinación de impactos en forma cuantitativa y con gran exactitud (Raina, 2009).

El siguiente apartado describe las posibles simplificaciones a realizar para llevar a cabo un ACV en edificios sin modificar los elementos necesarios según la normativa EN-ISO 14040, descritos en el apartado anterior.

5.3.1 Simplificaciones posibles a realizar en la aplicación de la metodología de ACV en edificios.

El estudio de todos los proyectos analizados ha servido como punto de partida, para justificar el procedimiento a desarrollar, las fases del ciclo de vida, las herramientas y bases de datos a utilizar, el caso de estudio, el alcance del estudio, las variables a tener en cuenta, la unidad funcional, el periodo de vida útil y los impactos a evaluar. Pero además también se ha de considerar la necesidad de disponer de suficientes datos estadísticos para desarrollar las fórmulas de los indicadores seleccionados con el fin de calcular el impacto ambiental de las diferentes soluciones constructivas de la envolvente, como información medioambiental a tener en cuenta por el diseñador en la fase inicial del diseño.

A continuación se definen las simplificaciones a realizar teniendo en cuenta las directrices y recomendaciones de la guía ENSLIC desarrollada por el grupo GW3 en el proyecto ENSLIC (2007-2010) sobre cómo llevar a cabo un ACV básico en edificios y las conclusiones del análisis de los proyectos de investigación estudiados al inicio del presente capítulo.

-En cuanto a las fases del ciclo de vida, aunque un ACV debería cubrir el ciclo de vida completo (fabricación y puesta en obra, uso y mantenimiento y disposición final o demolición); sería posible considerar únicamente la fase de fabricación y puesta en obra y la fase de uso, sin contar con la fase de demolición, ya que en la etapa de mantenimiento se ha considerado el impacto producido por la sustitución de todos los materiales cuya vida útil es inferior al periodo de vida útil considerado para el edificio completo. Una vez agotado el periodo de vida útil del edificio, éste será probablemente sometido a una rehabilitación importante, no a una demolición total.

Capítulo 5. DEFINICIÓN DE LA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE LA ENVOLVENTE BASADA EN EL ACV

Como se ha visto la mayoría de los proyectos analizados profundizan el estudio sólo en fases de extracción y puesta en obra de materiales, y de uso y mantenimiento del edificio.

-Respecto del periodo de vida útil del edificio, se podría considerar un valor predeterminado ya que es muy difícil prever la vida útil real del edificio que entre otras cosas dependerá de las acciones de mantenimiento que se llevarán a cabo durante este periodo. Como se ha visto, la mayoría de los proyectos analizados consideran un periodo de vida útil de 50 años.

-En cuanto a las bases de datos, la ISO 14040 establece los requisitos de calidad en términos generales de las bases de datos a utilizar, incluyendo las coberturas geográficas y tecnológicas, la precisión, la exhaustividad y representatividad; pero para cumplir estos requisitos, en el caso de los edificios, en España deberíamos disponer de bases de datos específicas de todos los materiales de construcción. Estos datos se podrían tomar, por ejemplo, de las Declaraciones Ambientales de Producto, declaraciones de tipo III (control a terceros, ISO 14025); aunque, si bien es cierto que algunos materiales de construcción cuentan con su correspondiente DAP; la mayoría de ellos no todavía no. Como se ha visto, algunos de los proyectos analizados obtuvieron los consumos de energía y emisiones de CO₂ de la fase de fabricación y puesta en obra a partir de datos proporcionados por el banco BEDEC, PR/PCT del Instituto de la Construcción de Cataluña (ITeC) ((Argello, T.R. y Cuchí, A., 2008); (Ortiz et al., 2010); (Alonso, et al., 2011)).

-En cuanto a los indicadores seleccionados, se tendrán en cuenta las consideraciones y conclusiones expuestas en el capítulo 4 de esta tesis, donde se ha establecido un listado con los indicadores considerados de mayor interés para a llevar a realizar un ACV en edificios, de los que se ha seleccionado el potencial del calentamiento global o emisiones de efecto invernadero, el consumo de energía primaria, el consumo de agua, los residuos generados, el coste de inversión, el coste de mantenimiento y el coste o valoración del consumo energético.

Como conclusión se podría decir que los resultados obtenidos aplicando un método simplificado podrán no ser tan precisos como los resultados obtenidos aplicando el ACV de manera rigurosa; pero sin embargo todos los cálculos proporcionarán información valiosa para hacer aportaciones al proceso de diseño, garantizando que la toma de decisiones en lo referente a la selección de materiales, y sistemas constructivos involucrados en el proceso de diseño rinda óptimamente de acuerdo a lo esperado. (Acosta, D., Cilento, A., 2005).

A continuación se define la metodología de evaluación simplificada basada en el ACV que se ha empleado para la obtención de datos en esta tesis, para la posterior elaboración de los indicadores

5.4 Descripción de Metodología de ACV simplificado utilizada en esta tesis

El procedimiento para llevar a cabo el ACV simplificado a un caso de estudio según las especificaciones de la normativa UNE-EN ISO 14044 (2006) y los estándares metodológicos publicados por el Comité Técnico 350 considerando todas las simplificaciones descritas en el apartado anterior, se desarrollará siguiendo el esquema de la Figura 5.1, cuyos pasos se describen en los siguientes apartados.

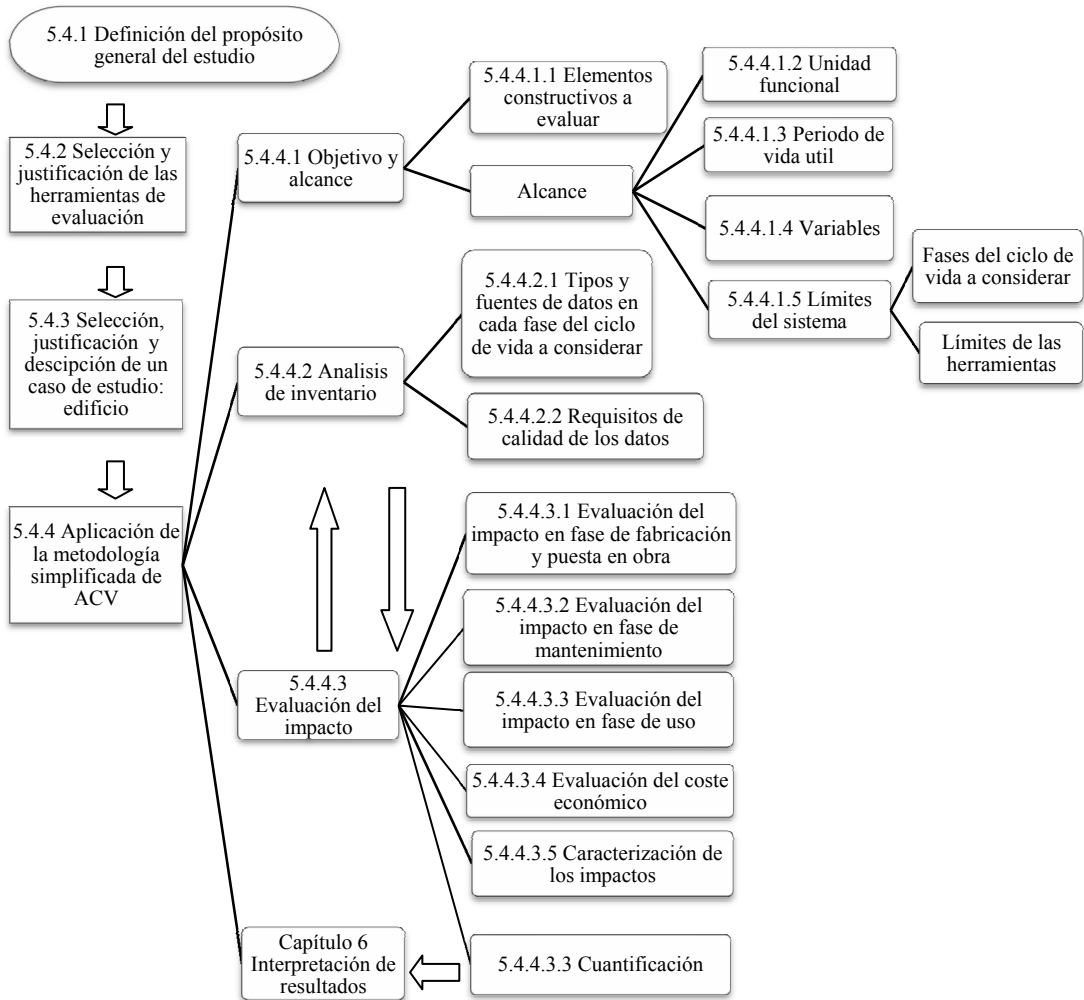


Figura 5.1 Aplicación de la metodología simplificada de ACV a un caso de estudio

5.4.1 Definición del objetivo general

Tal y como se había dicho al inicio del presente capítulo, esta investigación planteará como objetivo la obtención de suficientes datos estimativos de los impactos ambientales de diferentes soluciones constructivas de la envolvente para poder desarrollar fórmulas que contribuyan a la creación de indicadores ambientales. La combinación de resultados podrá dar soporte a las decisiones tomadas en el diseño de edificios.

5.4.2 Selección, justificación y descripción del funcionamiento de las herramientas de evaluación

Como se ha definido en las conclusiones del capítulo 2 de esta Tesis, la elección de una herramienta de evaluación ambiental en el ámbito de la construcción depende de ciertos requisitos, tales como los indicadores de sostenibilidad a evaluar, la posibilidad de apoyar al diseñador en las fases iniciales del diseño, la forma en que se presentan los resultados, etc. Según se ha visto en el capítulo 2, las herramientas de primer nivel son específicas para el ACV y con ellas el usuario puede obtener mayor información del comportamiento ambiental de los edificios; pero por otra parte, requieren mucho tiempo y exigen una gran experiencia para ser utilizadas y poder interpretar sus resultados. También se ha visto que las herramientas de tercer nivel son herramientas de evaluación de materiales y soluciones constructivas, basadas en la metodología de ACV, que parten de bases de datos y catálogos de elementos constructivos aplicables para la evaluación de los impactos ambientales del edificio y que son mucho más fáciles de utilizar por un usuario no experto.

Para llevar a cabo esta investigación se ha optado por seleccionar una herramienta desarrollada en el contexto nacional que cuente con una base de datos con información ambiental de materiales y de productos de construcción españoles. Entre las herramientas de tercer nivel, únicamente EnerbuiLca y TCQ2000 son herramientas desarrolladas en el contexto nacional donde la información es accesible.

Se ha visto que la herramienta EnerBuiLca utiliza como base de datos la información suministrada por los DAP's que si bien es, como se ha dicho anteriormente una información absolutamente rigurosa y contrastada, se ha comprobado que todavía existen pocos productos de construcción en España que cuenten con un DAP. Por otra parte, la herramienta TCQ2000 utiliza la base de datos del BEDEC 2013 del Instituto de la Construcción de Cataluña (ITeC), que incorpora información sobre 550.000 elementos de edificación, rehabilitación y restauración.

Teniendo en cuenta las consideraciones expuestas, para llevar a cabo esta investigación, se ha seleccionado la herramienta TCQ2000 y su módulo de gestión ambiental TCQGMA que se utilizará para analizar los impactos de las fases de fabricación, puesta en obra y mantenimiento del edificio. También se ha valorado que se trata de un software de fácil acceso, ya que existen acuerdos para ser usado por estudiantes e investigadores a bajo coste. Por otra parte, este software ha sido utilizado en algunos de los proyectos de investigación analizados al inicio del presente capítulo ((Argello, T.R. y Cuchí, A. 2008); (Ortiz et al., 2010); (Alonso, et al., 2011)).

Parece lógico contar con la información que nos aportan bases de datos como la del BEDEC 2013, debido a su adaptación a las características y procesos específicos del

Capítulo 5. DEFINICIÓN DE LA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE LA ENVOLVENTE BASADA EN EL ACV

sector de la edificación en España. Esta base de datos tiene información sobre la mayoría de productos de construcción, e incluye elementos simples (mano de obra, materiales y maquinaria), elementos compuestos, partidas de obra y conjuntos de partidas de obra, con definición completa y resumida; considerando también el consumo energético de la maquinaria asociado a la potencia, al tipo de motor y al combustible consumido durante su funcionamiento en el proceso de ejecución del elemento unitario.

Los datos que incorpora la base BEDEC 2013 son los siguientes:

- Los pesos de los diversos materiales que constituyen los elementos unitarios.
- El coste energético y emisiones de CO₂ a la atmósfera de los materiales y de los procesos de ejecución empleados en cada elemento.
- Las cantidades y características de los residuos de obra y de embalaje que genera cada elemento unitario.
- Los precios unitarios, descomposiciones y rendimientos y permite obtener los costes de inversión de cualquier producto de construcción.

En el ANEXO I esta tesis, el apartado 1, se muestra el funcionamiento de la herramienta TCQ2000 y de su módulo de gestión ambiental TCQ GMA.

En la fase uso se han seleccionado las herramientas de simulación energética LIDER y CALENER para el estudio de los consumos de energía y las emisiones de CO₂. Ambas herramientas cuentan con un motor de simulación gratuito y de código abierto.

Estas herramientas han sido desarrolladas por AICIA - Grupo de Termotecnia E.S de Ingenieros Industriales de Sevilla. LIDER realiza una simulación de la demanda energética en base horaria, en régimen transitorio de transferencia de calor y funciona comparando la demanda del edificio objeto durante el periodo de invierno-verano con la que tendría un edificio de referencia en las condiciones estándar requeridas por la certificación energética en España, y permite obtener información sobre la demanda de energía tanto para calefacción como para refrigeración.

La información obtenida con LIDER se traslada posteriormente a CALENER VYP para llevar a cabo el análisis de los consumos de energía primaria y de las emisiones de CO₂ durante la fase de uso del edificio. Se ha comprobado que se pueden obtener resultados estimativos relativos a los consumos energéticos de las instalaciones, así como datos de las emisiones de CO₂ por m² y por año para un periodo de vida útil determinado, manteniendo fijos determinados parámetros y realizando diferentes simulaciones sustituyendo exclusivamente valores relacionados con los materiales y/o las soluciones constructivas de la envolvente, y/o las zonas climáticas.

Las versiones de LIDER y CALENER VYP empleadas en el cálculo son las que estaban en vigor en 30/07/2010. Posteriormente a esta fecha han aparecido dos nuevas versiones de estas herramientas incorporando mejoras en algunos aspectos: la versión 20/12/2010 que incorporaba cambios en el formato de los archivos de resultados y la versión de 11/04/2013 que incorporaba la posibilidad de calificar edificios existentes, mejoraba la descripción de los datos del edificio, también mejoraba la base de datos de materiales y productos de construcción, el cálculo de los indicadores de iluminación y modificaba el formato del informe PDF; sin embargo esta versión eliminaba la importación automática

de datos provenientes de LIDER por no ser compatibles las bases de datos de los dos programas.

Por tanto, los métodos de cálculo utilizados y en consecuencia los valores numéricos de los impactos, son los mismos en las versiones mejoradas de CALENER VYP y en la versión de 2010.

El motor de cálculo del LIDER o del CALENER VYP (la parte de demanda) está basado en su mayor parte en el S3PAS, desarrollado por la Universidad de Sevilla en la década de los 90 y con gran similitud en cuanto a sus fundamentos de cálculo (e incluso lenguaje de definición del edificio) con el DOE-2.

Como alternativas a las herramientas de simulación energética LIDER y CALENER VYP, existen otras herramientas como por ejemplo la herramienta DESIGNBUILDER y su módulo ENERGYPLUS. El software ENERGYPLUS comenzó a desarrollarse en 1998 como el sucesor del motor de simulación DOE-2, por el departamento de energía de EEUU. Desde entonces ha ido evolucionando, hasta la actual versión 8.1, incrementando sus capacidades con cada nueva versión. También se trata de un motor de simulación gratuito y de código abierto, reconocido mundialmente y con diversos interfaces gráficos para su utilización (Campos, 2013).

Si bien es cierto que tanto el DOE-2 como el S3PAS están validados por los BESTEST (Building Energy Simulation Test) y representan el argumento fundamental para defender la validez de estos motores para su uso normativo, parece lógico utilizar las herramientas LIDER y CALENER para llevar a cabo esta investigación, ya que el objetivo planteado por esta tesis es el desarrollo de un modelo de evaluación basado en indicadores de aplicación en España; así pues, los resultados obtenidos tendrán que ser verificados con los documentos reconocidos por la Normativa Española.

En estos momentos LIDER y CALENER constituyen el software específico válido para la verificación de la exigencia de Limitación de Demanda Energética (HE1), establecida en el Documento Básico de Ahorro de Energía del Código Técnico de la Edificación, ofrecida por el Ministerio de la Vivienda y por el IDAE, como respuesta a la Directiva 2002/91/EC. Aun cuando el nuevo DB-HE no establece la obligatoriedad de emplear una herramienta oficial para la verificación de las exigencias de demanda y consumo energético, a partir de 14/03/2014 se ha puesto a disposición de los proyectistas la herramienta unificada LIDER-CALENER que permite la verificación de aquellas exigencias del DB-HE que requieren la evaluación de la demanda energética y del consumo energético de los edificios, así como la adaptación de estas aplicaciones a los cambios introducidos por el DB-HE del año 2013; esta herramienta unificada permite la verificación de las exigencias 2.2.1 de la sección HE0, 2.2.1.1 y el punto 2 del apartado 2.2.2.1 de la sección HE1 del Documento Básico de Ahorro de Energía DB-HE (CTE).

En cualquier caso, los datos obtenidos en el cálculo podrían ser modificados para actualizar los resultados a las nuevas exigencias de la Normativa Española.

El proceso íntegro del funcionamiento de las herramientas LIDER y CLAENER V.1 se desarrolla en el Anexo 1 de esta tesis, apartado 2.

A continuación se procede a la selección y descripción del caso de estudio siguiendo la metodología de evaluación establecida en el esquema de la figura 5.3.2.

5.4.3 Selección, justificación y descripción del caso de estudio

Para llevar a cabo esta parte de la tesis, se ha decidido utilizar como caso de estudio una vivienda unifamiliar entre medianeras.

5.4.3.1 Criterio de la selección del caso de estudio.

Para seleccionar esta tipología edificatoria, se ha llevado a cabo previamente un análisis del parque residencial construido en España entre 2003 y 2010. Según informes del Ministerio de fomento, el parque edificatorio español está constituido mayoritariamente por edificios cuyo uso principal es el residencial. Así por ejemplo, en el año 2005, el 85% de la superficie construida estaba formada por edificios residenciales y el 15% restantes por edificios destinados a otros usos, principalmente administrativo y comercial. Por otra parte, en España, el consumo de energía en la edificación representa el 17% de la energía final nacional, correspondiendo un 10% al sector residencial y 7% al sector terciario.

De acuerdo con las estadísticas sobre licencias municipales publicadas en el Anuario de la Dirección General de Programación Económica y Presupuestos (MF, 2010), entre 2003 y 2010 se han construido en España, aproximadamente 1.123.415 viviendas, de las cuales 598.268 corresponden a viviendas unifamiliares entre medianeras (tabla 5.2).

Las viviendas entre medianeras representaban aproximadamente el 22% de los edificios construidos en este periodo en nuestro país (figura 5.2); si bien es cierto que, esta tendencia ha disminuido considerablemente durante los últimos años debido a la crisis económica.

Así mismo, se ha comprobado que esta clase de vivienda es una forma constructiva tradicional tanto en los cascos urbanos, como en las periferias y barrios residenciales de gran parte de la geografía española.

Obras en edificación								
Visados de dirección de obra. Datos generales								
AÑOS	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010
NÚMERO TOTAL DE VISADOS	221.908	228.625	241.130	221.758	145.840	74.152	39.638	35.763
Destinados a uso residencial	208.755	216.232	227.142	209.752	135.659	65.892	31.576	28.407
Unifamiliares	183.411	186.768	193.479	165.993	101.151	53.031	27.072	24.633
Adosados	131.270	134.241	141.637	105.670	50.695	21.179	7.855	5.721
Aislados	52.141	52.527	51.842	60.323	50.456	31.852	19.217	18.912
En bloque	25.344	29.464	33.503	43.646	34.393	12.763	4.428	3.716
Colectivos	-	-	160	113	115	98	76	58
Servicios comerciales	4.738	4.185	5.050	3.801	2.938	2.525	2.297	1.986
Otros destinos	8.415	8.208	8.938	8.205	7.243	5.735	5.765	5.370

Tabla 5.2 Visados de dirección de obra. D. G. de Programación Económica y Presupuestos. M.º de Fomento. Subdirección General de Estadísticas. (Fuente: ANUARIO ESTADÍSTICO 2010)

porcentaje de tipologías de edificios desde 2003 hasta 2010

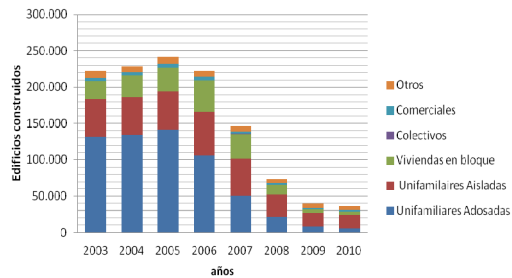
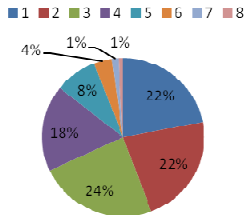


Figura 5.2 Porcentajes de tipologías de edificios entre 2003 y 2010 (Fuente: ANUARIO ESTADÍSTICO 2010)

Este último aspecto se ha tenido muy en cuenta a la hora de seleccionar el caso de estudio, ya que para llevar a cabo esta investigación, se necesitará someter la vivienda a múltiples evaluaciones considerando un gran número de variables con el objetivo de obtener suficientes datos estimativos para poder comparar los resultados y desarrollar las fórmulas de los indicadores.

Así mismo, con la finalidad de poder hacer mediciones in situ para comparar el comportamiento real de la vivienda desde el punto de vista medioambiental, se ha seleccionado un proyecto real que se encuentra en fase de ejecución, por lo que este caso de estudio podrá ser utilizado en investigaciones posteriores para contrastar datos experimentales con mediciones reales de los consumos.

Por todo lo expuesto se ha considerado de interés para esta tesis, utilizar como caso de estudio la vivienda unifamiliar entre medianeras que se describe a continuación.

5.4.3.2 Descripción del caso de estudio

Se trata de una vivienda unifamiliar adosada de geometría sencilla, de dos alturas, con patio en la parte posterior. La vivienda tiene dos fachadas, una que da a la calle y la otra opuesta que da al patio, permitiendo un uso intensivo del terreno, las paredes laterales son medianeras compartidas con otras viviendas, dejando solamente posibilidad de ventilación a través de las fachadas, tal y como se muestra en el planos de emplazamiento de la figura 5.3.

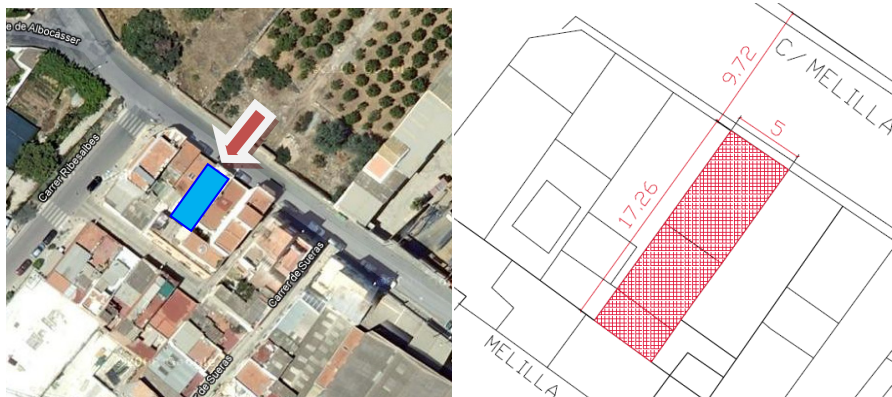


Figura 5.3 Plano de emplazamiento.

Capítulo 5. DEFINICIÓN DE LA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE LA ENVOLVENTE BASADA EN EL ACV

El solar es rectangular, de 89 m², con unas dimensiones de 5 m de ancho y 17,26 m de fondo. Para el cálculo de la demanda, se han considerado las medianeras como cerramientos adiabáticos, las dos fachadas serán los cerramientos a través de los cuales se producirá el intercambio interior-exterior.

La distribución interior responde a un programa de necesidades estándar, que se describe a continuación:

- En planta baja: salón-comedor, cocina, un dormitorio doble y un cuarto de baño.
- En planta primera, dos dormitorios, un cuarto de baño y un pasillo.
- Una escalera interior en el lateral que comunica verticalmente las dos plantas.

Los datos de la vivienda se muestran en la tabla 5.3

	Vivienda caso de estudio				
	Espacios interiores	Denominación de cada espacio	Nº de Planta	Superficies útiles m ²	Altura libre m
Planta Baja	Dormitorio 1	P01_E01	1	11,8	2,7
	Cocina	P01_E02	1	11,8	2,7
	Baño 1	P01_E03	1	4,7	2,7
	Salón-comedor	P01_E04	1	32,9	2,7
Planta Primera	Dormitorio 2	P02_E01	2	9,3	2,7
	Dormitorio 3	P02_E02	2	9,2	2,7
	Baño 2	P02_E03	2	4,6	2,7
	Pasillo	P02_E04	2	9,8	2,7
TOTALES				93,5	2,7

Tabla 5.3 Datos de la vivienda caso de estudio

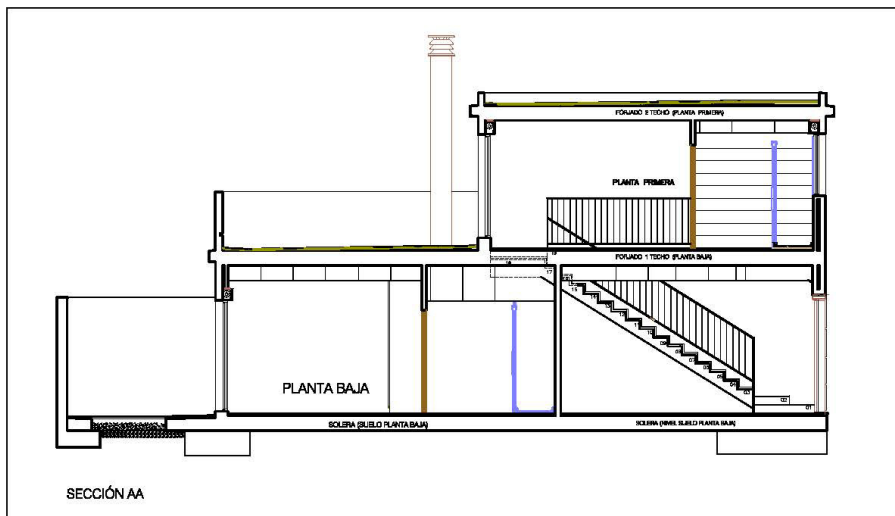


Figura 5.4 Sección de la vivienda utilizada como caso de estudio.

Capítulo 5. DEFINICIÓN DE LA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE LA ENVOLVENTE BASADA EN EL ACV

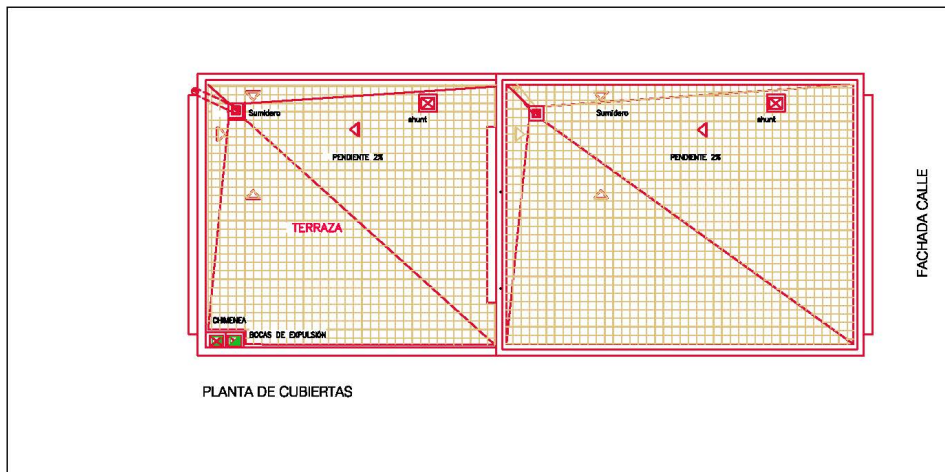


Figura 5.5 Cubierta de la vivienda utilizada como caso de estudio.

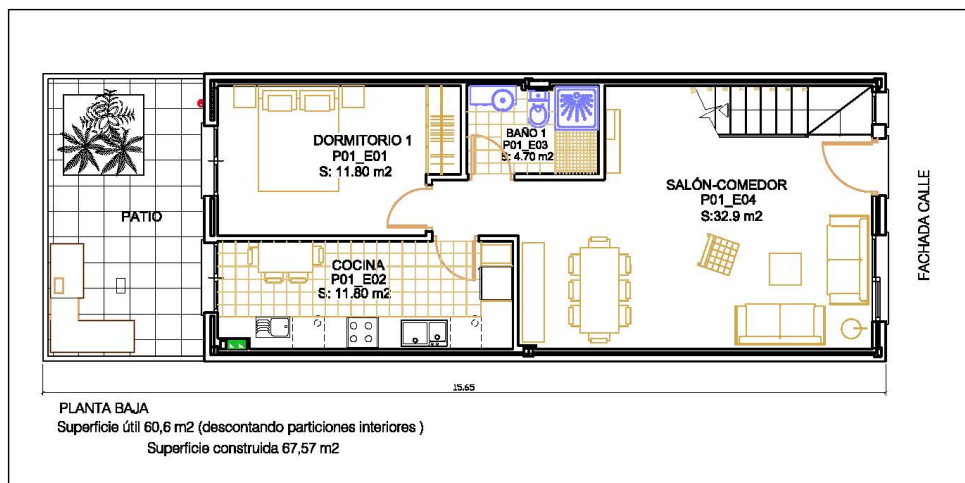
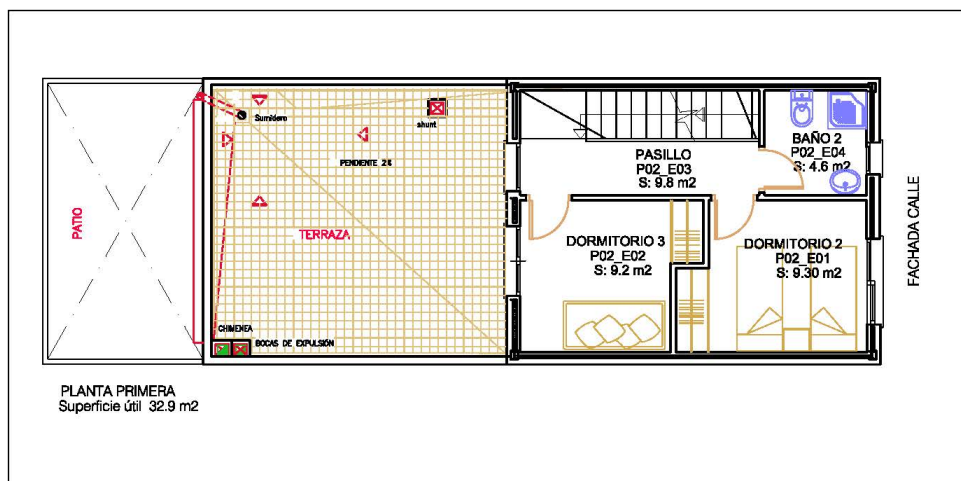


Figura 5.6 Plantas de la vivienda utilizada como caso de estudio.

Una vez seleccionado y descrito el caso de estudio a evaluar y siguiendo la metodología de evaluación establecida en el esquema de la figura 5.1, se procederá a la aplicación de la metodología simplificada de ACV a este caso concreto.

5.4.4 Aplicación de la metodología simplificada de ACV al caso de estudio

Para aplicar la metodología de ACV, se tendrá en cuenta un conjunto de estándares metodológicos publicados por el Comité Técnico 350 del Comité Europeo de Normalización (CEN/TC 350), descrito en el apartado 5.2 de este capítulo, así como las posibles simplificaciones justificadas en el apartado 5.3. Para ello, se describirán los aspectos específicos de esta investigación en cada una de las fases en las que se divide la metodología de ACV (objetivo y alcance, análisis del inventario, evaluación del impacto e interpretación de los resultados), siguiendo el esquema planteado en la figura 5.1.

5.4.4.1 Definición del objetivo y alcance

Como **objetivo**, se pretende cuantificar el impacto medioambiental de una vivienda unifamiliar entre medianeras de 93,5 m² de superficie habitable, a lo largo de su vida útil, comparando el comportamiento medioambiental de diferentes soluciones constructivas de la envolvente (tres tipos de cubierta, cinco tipos de fachada y tres tipos de carpintería). Los resultados permitirán comparar los datos de los impactos ambientales de la fase de fabricación con los datos de los impactos ambientales de la fase de uso.

En cuanto al **alcance**, el ACV se llevará a cabo sobre la mencionada tipología constructiva seleccionada como caso de estudio, considerando como hipótesis de cálculo las diferentes combinaciones obtenidas a partir de los elementos constructivos definidos, considerando dos orientaciones (Noreste y Sureste) y dos zonas climáticas (B3 y E1).

A continuación se justifica la elección de los elementos constructivos de la envolvente que van a ser evaluados y la composición de cada uno de estos elementos.

5.4.4.1.1 Elementos constructivos de la envolvente a evaluar.

Para llevar a cabo la selección de los elementos constructivos de la envolvente se han seguido los siguientes criterios: en primer lugar se ha decidido llevar a cabo el estudio sobre soluciones constructivas convencionales por ser las más usuales en nuestro país; para ello se ha consultado la página Web del Ministerio de Fomento “Estadística de edificación y vivienda” (MF, 2010), que proporciona información en relación a los materiales más empleados en cubierta y fachada en las diferentes tipologías edificatorias; en segundo lugar se ha considerado de interés evaluar otras soluciones de fachada más novedosas por su creciente interés en el ámbito de la construcción como son la fachada ventilada y la fachada ligera para completar el espectro de alternativas constructivas. Para la determinación de las soluciones exactas de cubierta y de fachada convencional, se han seleccionado los elementos constructivos utilizados en el Proyecto Cíclope (Cíclope, 2011), en el que se llevó a cabo una encuesta a los agentes involucrados en el proceso de la construcción sobre las tipologías constructivas más utilizadas (Ortega, 2012).

La definición exacta de la fachada ventilada y de la fachada ligera se ha obtenido a partir de la información suministrada por los principales fabricantes del sector. Ante la diversidad de datos existentes, se ha optado por analizar una solución estándar de fachada ventilada y una solución estándar de fachada ligera.

Capítulo 5. DEFINICIÓN DE LA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE LA ENVOLVENTE BASADA EN EL ACV

Así mismo, los diferentes tipos de carpintería se han seleccionado a partir de modelos estándar de los tres tipos de materiales más usuales en la fabricación de carpinterías (aluminio, PVC y madera).

Todas las soluciones constructivas seleccionadas se relacionan a continuación.

En cuanto a la **cubierta**, se han analizado las siguientes soluciones:

- i. C1 Cubierta plana caliente continua.
- ii. C2 Cubierta plana ventilada.
- iii. C3 Cubierta plana invertida.

En cuanto a la **fachada***, se han analizado las siguientes soluciones:

- iv. F1₅ Fachada convencional de fábrica con cámara de aire ligeramente ventilada, hoja exterior de ladrillo macizo caravista, aislamiento 5cm.
- v. F2₅ Fachada con cámara de aire no ventilada, hoja exterior de ladrillo hueco, acabado enfoscado, aislamiento 5cm.
- vi. F3₁₀ Fachada con cámara de aire no ventilada, hoja exterior de ladrillo hueco, acabado enfoscado, aislamiento 10cm.
- vii. F4₅ Fachada ventilada acabado de gres, subestructura de aluminio aislamiento 5 cm por el exterior.
- viii. F5₀ Fachada ligera tipo muro cortina.

En cuanto a la **carpintería exterior**, se han analizado las siguientes soluciones:

- ix. H1 Carpintería de aluminio con rotura de puente térmico
- x. H2 Carpintería de PVC con rotura de puente térmico
- xi. H3 Carpintería de madera

Seguidamente se detallan los materiales integrantes de cada una de las soluciones constructivas enunciadas junto a las representaciones gráficas de la sección tipo que aparece en el Catálogo de elementos constructivos del CTE (versión preliminar 2010). Los dibujos que aparecen en la tabla junto a cada descripción, deben entenderse como esquemas generales que caracterizan a un tipo constructivo frente a los otros; para aportar una mayor definición en cuanto a la solución constructiva exacta, se ha realizado un detalle constructivo de cada una de las soluciones constructivas analizadas. Se justifica la elección de este catálogo como fuente de datos por haber sido elaborado como un instrumento de ayuda para el cumplimiento de las exigencias generales de diseño de los requisitos de Habitabilidad: Salubridad, Protección frente al ruido y Ahorro de Energía, establecidas en el Código Técnico de la Edificación (Catálogo de elementos constructivos del CTE, 2010).

Soluciones de cubierta:

i. C1 Cubierta plana, caliente, continua, convencional.

* El subíndice hace referencia al espesor del aislamiento. En algunas tablas el subíndice correspondiente aparece precedido por la designación sub (F1_{sub5}, F2_{sub5}, F3_{sub10}, F4_{sub5}, F5_{sub0})

Capítulo 5. DEFINICIÓN DE LA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE LA ENVOLVENTE BASADA EN EL ACV

Consiste en una cubierta plana, caliente, continua, convencional, transitable con protección de pavimento cerámico y una pendiente del 1% al 5%, sobre la base resistente.

Cubierta plana, caliente, continua, convencional. Transitable.	
<p style="text-align: center;">cubierta convencional (sección tipo)</p>	
	Espesor(cm)
1. P_ Capa de protección solado fijo de baldosa de gres	1
2. MA_ Mortero de áridos ligeros de agarre o nivelación	4
3. Csa_ Geotextil de polipropileno de 125 gr/m ²	0,013
4. I_ Membrana impermeabilizante de oxiasfalto	0,7
5. Cs_ Geotextil de polipropileno-polietileno de 125 gr/m ² .	0,013
6. AT_ Aislamiento térmico XPS	5
7. B_ Betún fieltro o lámina (Barrera de vapor)	0,5
8. FP_ Formación de pendiente mediante hormigón celular curado autoclave	4,8
9. SR_ Soporte resistente, con entrevigado cerámico.	30
10. RI_ Enlucido de yeso 100<d<300	1
Espesor total	47,4

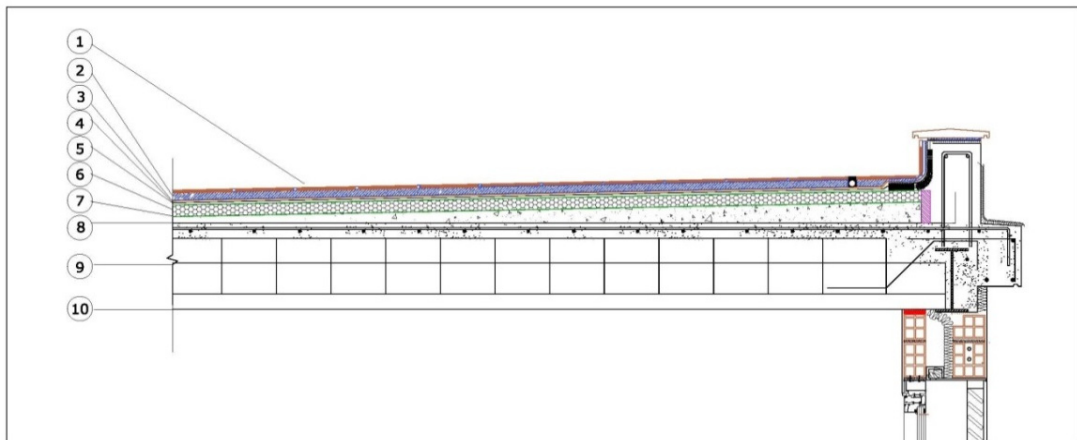
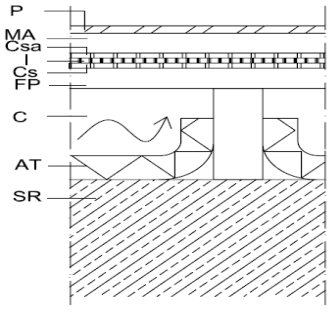


Figura 5.7 Sección constructiva de la cubierta plana, caliente, continua, transitable.

ii C2 Cubierta plana transitable ventilada.

Consiste en una cubierta plana, transitable, ventilada, a la catalana con protección de pavimento cerámico, con una pendiente del 1% al 5%, sobre la base resistente.

Cubierta plana transitable ventilada.	
 <p>(sección tipo)</p>	
	Espesor(cm)
1. P_ Capa de protección solado fijo de baldosa cerámica de gres	1
2. MA_ Mortero de áridos ligeros de agarre o nivelación	4
3. Csa_ Geotextil de polipropileno de 125 g/m ²	0,013
4. I_ Dos láminas de oxiasfalto	0,7
5. Cs_ lámina antiadherente y antipunzonante, geotextil de polipropileno	0,013
6. FP_ Formación de pendientes a base de tablero cerámico machihembrado	35,5
7. Cámara de aire ventilada	30
8. AT_ Aislamiento térmico a base panel de lana mineral	5
9. SR_ Soporte resistente, Entrevigado cerámico. Canto 300mm	30
10. RI_ Enlucido de yeso 100<d<300	1
Espesor total	72,5

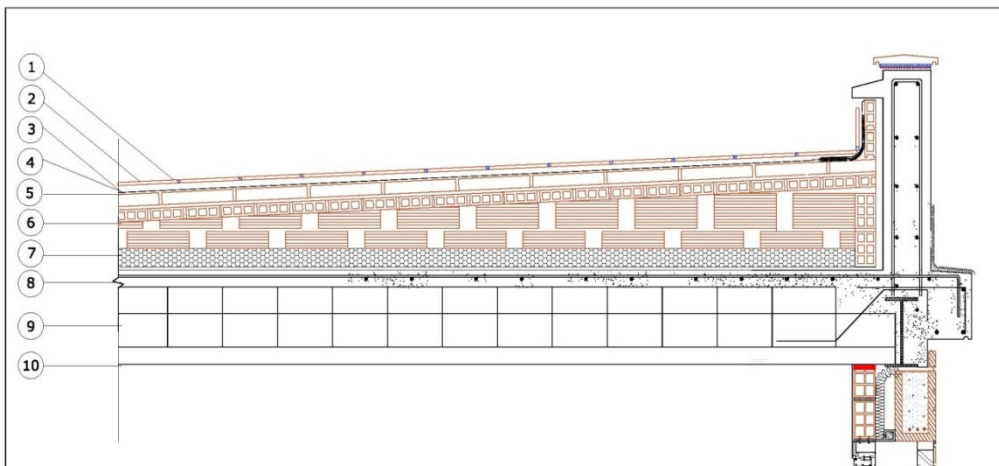
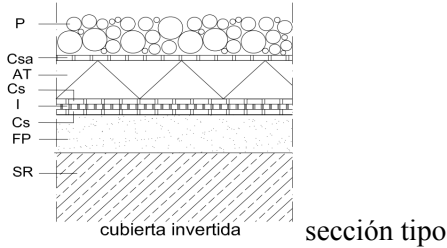


Figura 5.8 Sección constructiva de la cubierta plana ventilada, transitable.

iii C3 Cubierta plana, invertida no transitable.

Consiste en una cubierta plana no transitable con protección de gravas, invertida, con una pendiente del pendiente 5%.

Cubierta plana, invertida, no transitable.	
	
	Espesor(cm)
1. CP capa de grava triturada silícea	2
2. Csa_lámina antipunzonante, geotextil de polipropileno-	0,013
3. AT_Aislamiento térmico XPS	5
4. Cs_Subcapa de fieltro	0,02
5. I_Impermeabilización de betún fieltro o lámina	0,7
6. FP_Formación de pendiente mediante hormigón celular curado autoclave	14 30
7. SR_Soporte resistente, FU Entrevigado cerámico- Canto 300mm	1
8. RI_Enlucido de yeso 100<d<300	
Espesor total	40,3

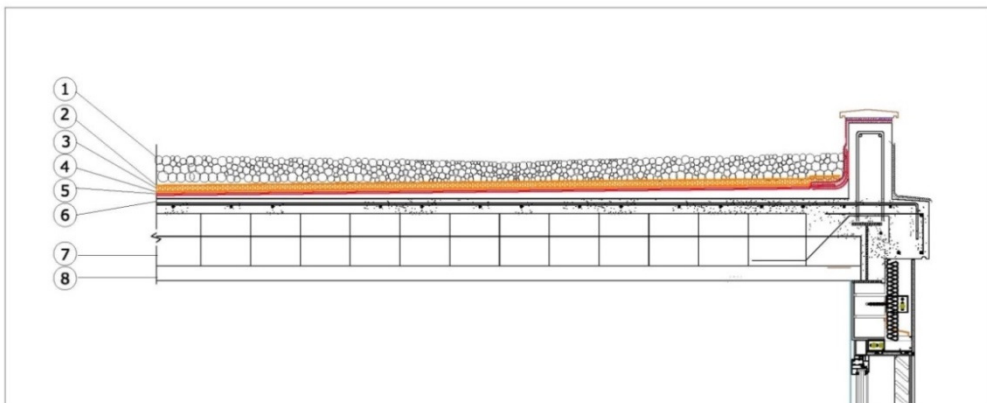


Figura 5.9 Sección constructiva de la cubierta plana, invertida, no transitable.

Soluciones de fachada:

iv. F1 Fachada convencional, hoja exterior de ladrillo cara vista, con cámara de aire ligeramente ventilada.

Se trata de una fachada convencional de fábrica de doble hoja de ladrillo cerámico, siendo la hoja exterior de ladrillo macizo cara vista de 11,5 cm de espesor, enfoscado por la cara interior, con la cámara de aire ligeramente ventilada y el aislamiento de 5 cm de espesor adherido a la hoja de ladrillo hueco cerámico de 7 cm de espesor enlucido por su cara interior,

F1 ₅ Fachada convencional, hoja exterior de ladrillo cara vista	
	Espesor(cm)
1. LC_ Hoja exterior de ladrillo macizo caravista tomado con mortero 1:6 de cemento y arena.	11,5 1,5
2. RM_ Enfoscado por la cara interior de la hoja principal con cemento y arena (1:6).	5 5
3. C_ Cámara de aire ligeramente ventilada ¹⁶ .	7
4. AT_ Aislamiento no hidrófilo, MW Lana mineral [0.04 W[mK]]	
5. LH_ Hoja interior de ladrillo cerámico de hueco doble tomado con mortero 1:6 de cemento y arena.	1,5
6. RI_ Revestimiento interior por un enlucido de yeso 1000 < d	
Espesor total	31,5

¹⁶ Se ha adoptado para el estudio la definición de cámara de aire ligeramente ventilada del DB HS del CTE Apéndice E en donde se establece que las cámaras de aire pueden ser consideradas ligeramente ventiladas si no existe un dispositivo para el flujo de aire limitado a través de ella desde el ambiente exterior pero manteniendo aberturas dentro de los siguientes rangos:

500 mm² < S aberturas ≤ 1500 mm² por m de longitud contado horizontalmente para cámaras de aire verticales.

500 mm² < S aberturas ≤ 1500 mm² por m² de superficie para cámaras de aire horizontales.

La resistencia térmica de una cámara de aire ligeramente ventilada es la mitad de los valores de la tabla E.2.

Capítulo 5. DEFINICIÓN DE LA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE LA ENVOLVENTE BASADA EN EL ACV

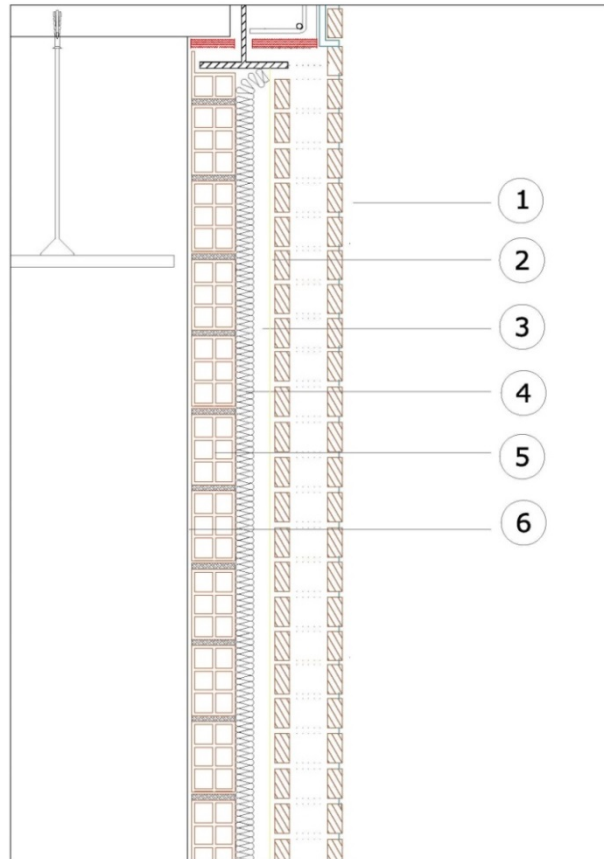


Figura 5.10 Sección tipo de fachada cara vista, cámara de aire no ventilada, aislamiento por el interior.



Figura 5.11 Fachadas de ladrillo caravista.

Capítulo 5. DEFINICIÓN DE LA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE LA ENVOLVENTE BASADA EN EL ACV

LEYENDA	
1	Capa de protección baldosa de gres
2	Mortero de agarre
3	Lámina impermeabilizante LBM(SBS)-40/NA-FP
4	Formación de pendientes
5	Aislamiento térmico de lana mineral
6	Forjado
7	Albardilla
8	Cornisa de hormigón
9	L impermeabilizante autoprotégida LBM(SBS)-40/G-FP
10	goterón
11	Junta de mortero comprensible de 2cm.
12	Junta enrasada (mortero de cemento M-5)
13	Revestimiento enfoscado de mortero
14	Malla de fibra de vidrio
15	Angular de acero galvanizado
16	Pieza especial dintel de ladrillo
17	Conectores de acero
18	Pavimento interior de baldosa gres
19	Mortero de agarre
20	Mortero autonivelante
21	Aisiente (lana mineral)
22	Perfilería acero galvanizado para falso techo
23	Falso techo de cartón-yeso suspendido
24	Pre cerco metálico
25	Carpintería aluminio rotura p. térmico. Microvent.
26	Persiana tipo celosía de lamas de aluminio
27	Acristalamiento tipo climallit 6+6+6
28	Barandilla de acero inoxi. Vidrio de seguridad
29	Ladrillo hueco 7cm
30	Ladrillo hueco 11cm
31	Ladrillo cerámico hueco gran formato
24	Pre cerco metálico
25	Carpintería aluminio rotura p. térmico. Microvent.
26	Vierteaguas de piedra natural e=2cm
27	Cámara de aire e. cm.
28	Barandilla de acero inoxi. Vidrio de seguridad
29	Ladrillo hueco 7cm
30	Ladrillo hueco 11cm
31	Ladrillo cerámico hueco gran formato
32	Lámina de sacrificio LBM(SBS)-40/NA-FP
33	Junta perimetral (EPS)
34	Panel sandwich aluminio + lana mineral
35	Gres cerámico para exterior
36	Puerta acorazada panelada de madera natural
37	Pieza especial de gres para escalón
38	Bloque de hormigón
39	Solera de hormigón ar. reparto
40	Poliuretano
41	Encachado de grava
42	Junta perimetral. hidorexpansiva s. silicona
43	Zapata H. armado
44	Hormigón limpieza
45	Perfil UPN.180

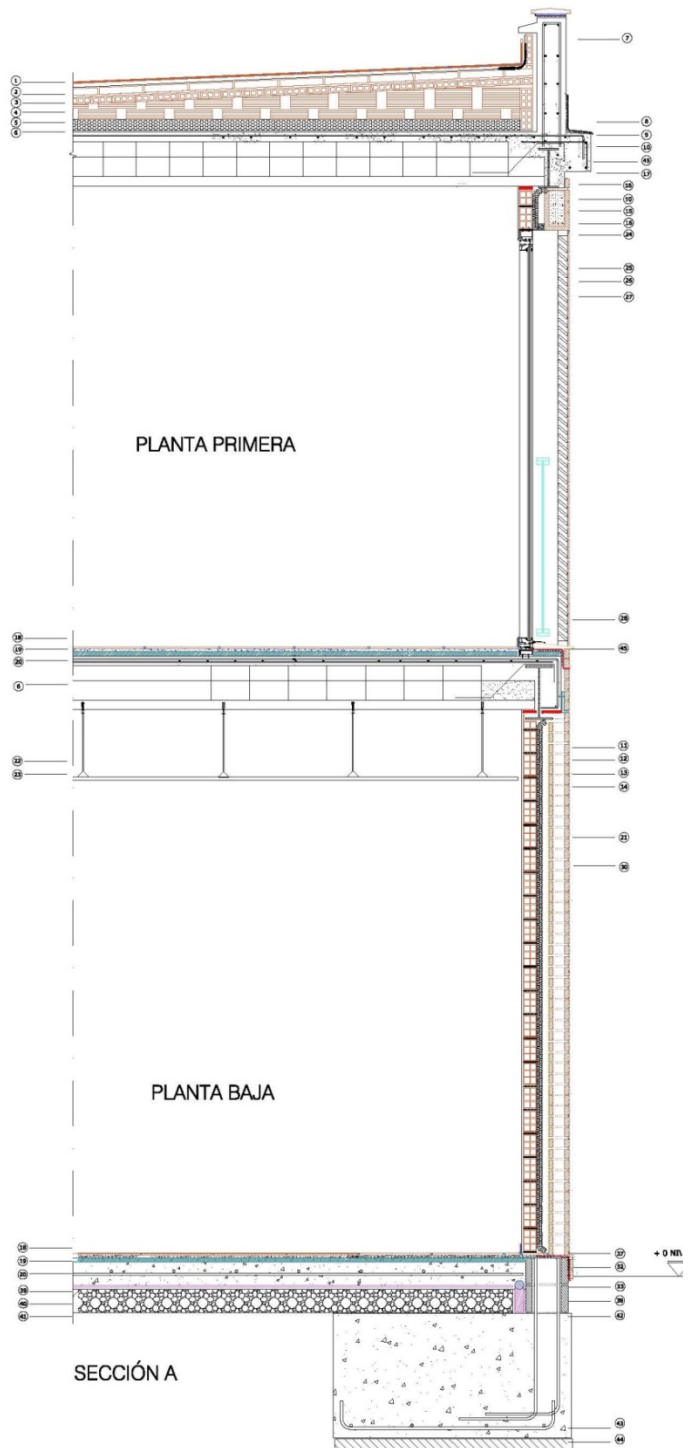
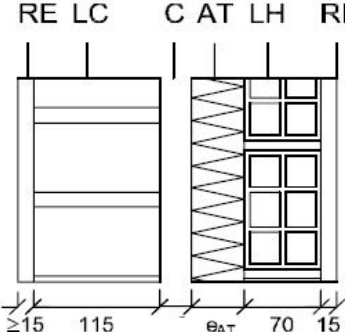


Figura 5.12 Sección constructiva de una fachada de ladrillo caravista y cubierta ventilada.

v. F2 Fachada convencional de fábrica para revestir con cámara de aire no ventilada.

Se trata de una fachada convencional de fábrica de doble hoja de ladrillo cerámico. La hoja exterior es de ladrillo para revestir con cámara de aire no ventilada, el aislamiento es de 5 cm de espesor se coloca adherido a la hoja interior de ladrillo hueco cerámico de 7 cm de espesor enlucido por su cara interior.

F2 ₅ Fachada convencional de fábrica para revestir	
	
sección tipo	
F2 Espesor(cm)	
1. RE_ Enfoscado por la cara exterior de la hoja principal con cemento y arena (1:6).	1,5
2. LC_ Hoja exterior de ladrillo hueco para revestir de 11.5 cm tomados con mortero 1:6 de cemento y arena, enfoscado por la cara exterior.	11,55
3. C_ Cámara de aire no ventilada de 5cm de espesor. ¹⁷	5
4. AT_ Aislamiento no hidrófilo, MW Lana mineral [0.04 W[mK]]	7
5. LH_ Hoja interior de ladrillo cerámico de hueco doble de 7 cm de espesor tomado con mortero 1:6 de cemento y arena.	1,5
6. RI_ Revestimiento interior por un enlucido de yeso.	
Espesor total	31,5

vi. F3 Fachada convencional de fábrica para revestir con cámara de aire no ventilada.

Se trata de una fachada convencional de fábrica de doble hoja de ladrillo cerámico. La hoja exterior es de ladrillo para revestir con cámara de aire no ventilada, el aislamiento es de 10 cm de espesor se coloca adherido a la hoja interior de ladrillo hueco cerámico de 7 cm de espesor enlucido por su cara interior.

¹⁷ Se ha adoptado para el estudio la definición de cámara de aire no ventilada del DB HS del CTE Apéndice E en donde se establece que las cámaras de aire pueden ser consideradas no ventiladas si no existe ningún sistema específico para el flujo del aire a través de ella. La resistencia térmica de las cámaras de aire sin ventilar viene definida en la tabla E.2 en función de su espesor. Los valores son aplicables cuando la cámara esté limitada por dos superficies paralelas entre sí y no tenga intercambio de aire con el ambiente interior.

F3 ₁₀ Fachada convencional de fábrica para revestir	
F2 Espesor(cm)	
1. RE_ Enfoscado por la cara exterior de la hoja principal con cemento y arena (1:6).	1,5
2. LC_ Hoja exterior de ladrillo hueco para revestir de 11.5 cm tomados con mortero 1:6 de cemento y arena, enfoscado por la cara exterior.	11,55
3. C_ Cámara de aire no ventilada de 5cm de espesor. ¹⁸	10
4. AT_ Aislamiento no hidrófilo, MW Lana mineral [0.04 W[mK]]	7
5. LH_ Hoja interior de ladrillo cerámico de hueco doble de 7 cm de espesor tomado con mortero 1:6 de cemento y arena.	1,5
6. RI_ Revestimiento interior por un enlucido de yeso.	
Espesor total	36,5

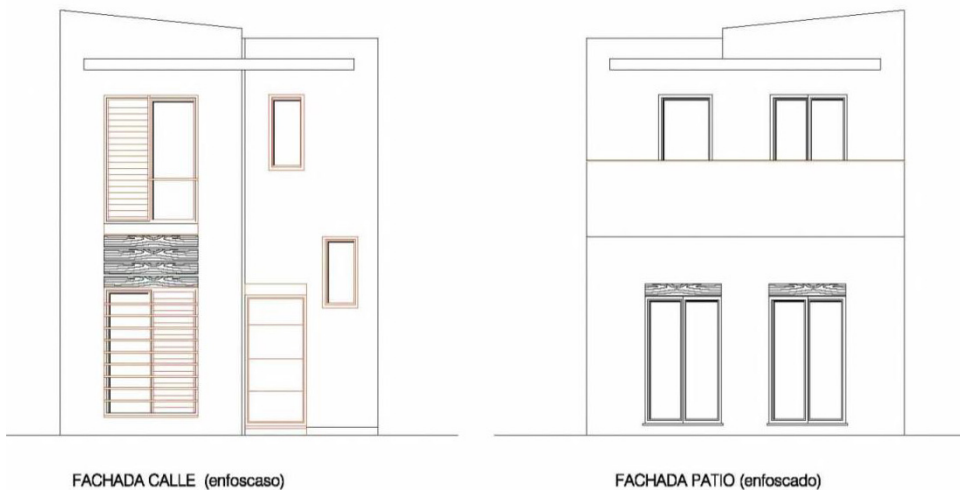


Figura 5.13 Fachadas de fábrica para revestir, con cámara de aire no ventilada, enfoscada.

¹⁸ Se ha adoptado para el estudio la definición de cámara de aire no ventilada del DB HS del CTE Apéndice E al igual que en el caso anterior

Capítulo 5. DEFINICIÓN DE LA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE LA ENVOLVENTE BASADA EN EL ACV

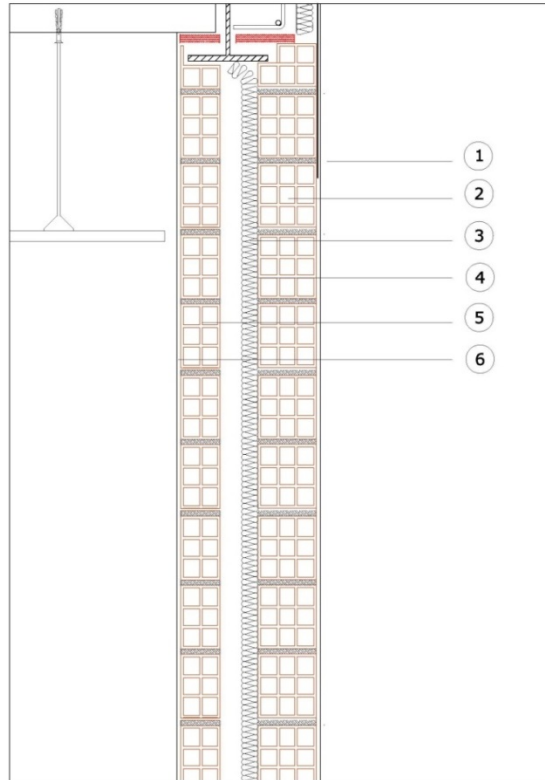


Figura 5.14 Sección tipo de fachada de fábrica para revestir, cámara de aire no ventilada.

Capítulo 5. DEFINICIÓN DE LA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE LA ENVOLVENTE BASADA EN EL ACV

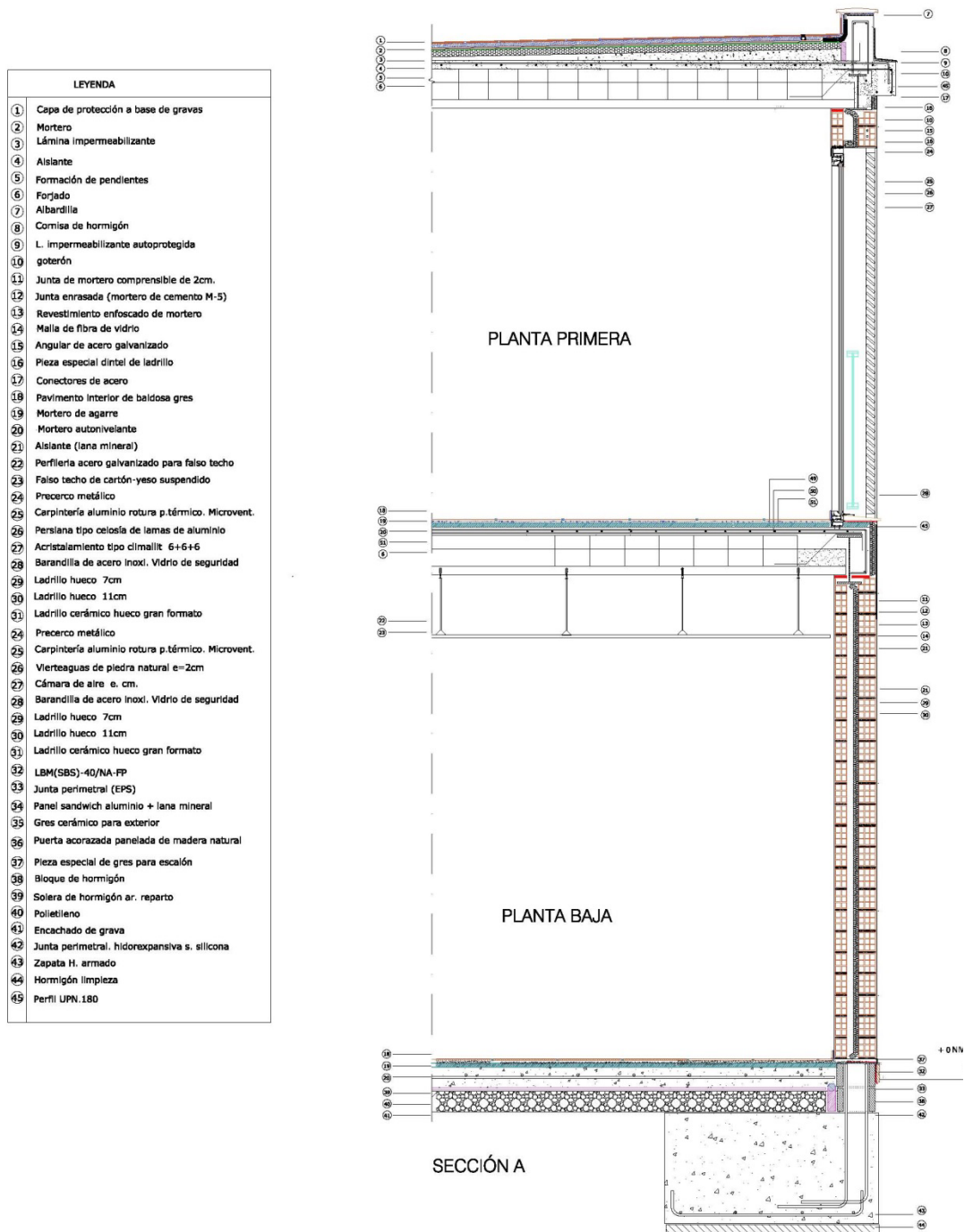


Figura 5.15 Sección constructiva, fachadas de ladrillo hueco acabado enfoscado y cubierta caliente continua transitable.

vii. F4 Fachada ventilada de gres, soporte de fábrica con cámara de aire ventilada.

Se trata de una fachada ventilada con la hoja exterior de gres colocado con junta abierta. La hoja soporte es de fábrica de ladrillo cerámico perforado con aislamiento térmico por el exterior de 5 cm de espesor y enlucido por el interior. La cámara de aire es muy ventilada. La subestructura está compuesta por un entramado de perfiles de aluminio de 1,5 mm de espesor, dispuestos cada 150 cm, y los travesaños están separados 45 cm. Los montantes se colocan perfectamente alineados y aplomados y se fijan, mediante anclajes de aluminio resistentes a la corrosión e idóneos para su aplicación en la pared soporte, siguiendo las recomendaciones de la normativa (DIN 18516).

F4 ₅ Fachada ventilada de gres	
<p style="text-align: center;">sección tipo</p>	
	Espesor(cm)
1. RE_ Hoja exterior de gres	1,5
2. C_ La cámara de aire ventilada.	5
3. Subestructura a base de perfiles verticales y perfiles horizontales de aluminio	5
4. Sistema de anclaje oculto MECANOFÁS Karrat S-7.	11,5
5. AT_ Aislamiento no hidrófilo, MW Lana mineral [0.04 W/mK]	1
6. LC_ Hoja interior, que actuará como soporte, a base de ladrillo perforado de 11.5 cm tomados con mortero 1:6 de cemento y arena	1
7. RI_ Revestimiento interior formado por un enlucido de yeso.	1
Espesor total	24

Capítulo 5. DEFINICIÓN DE LA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE LA ENVOLVENTE BASADA EN EL ACV

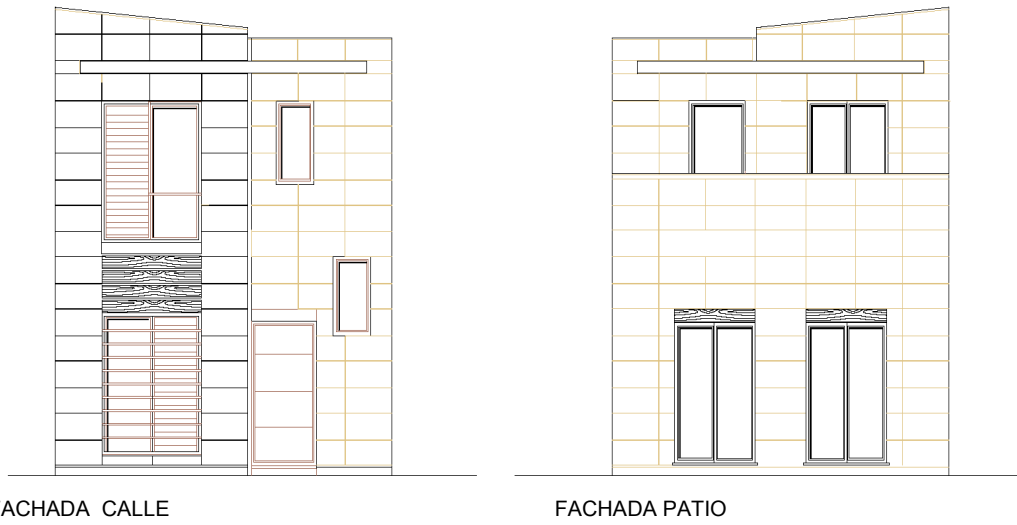


Figura 5.16 Fachadas ventiladas.

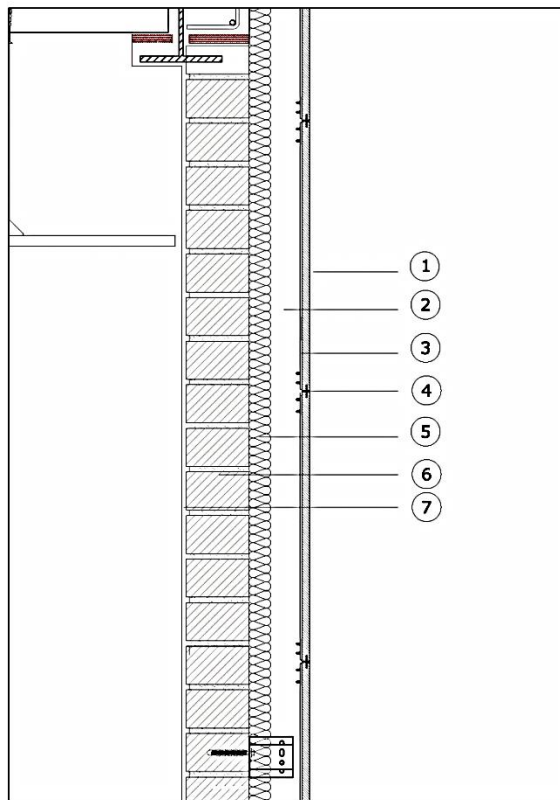


Figura 5.17 Sección tipo fachada ventilada.

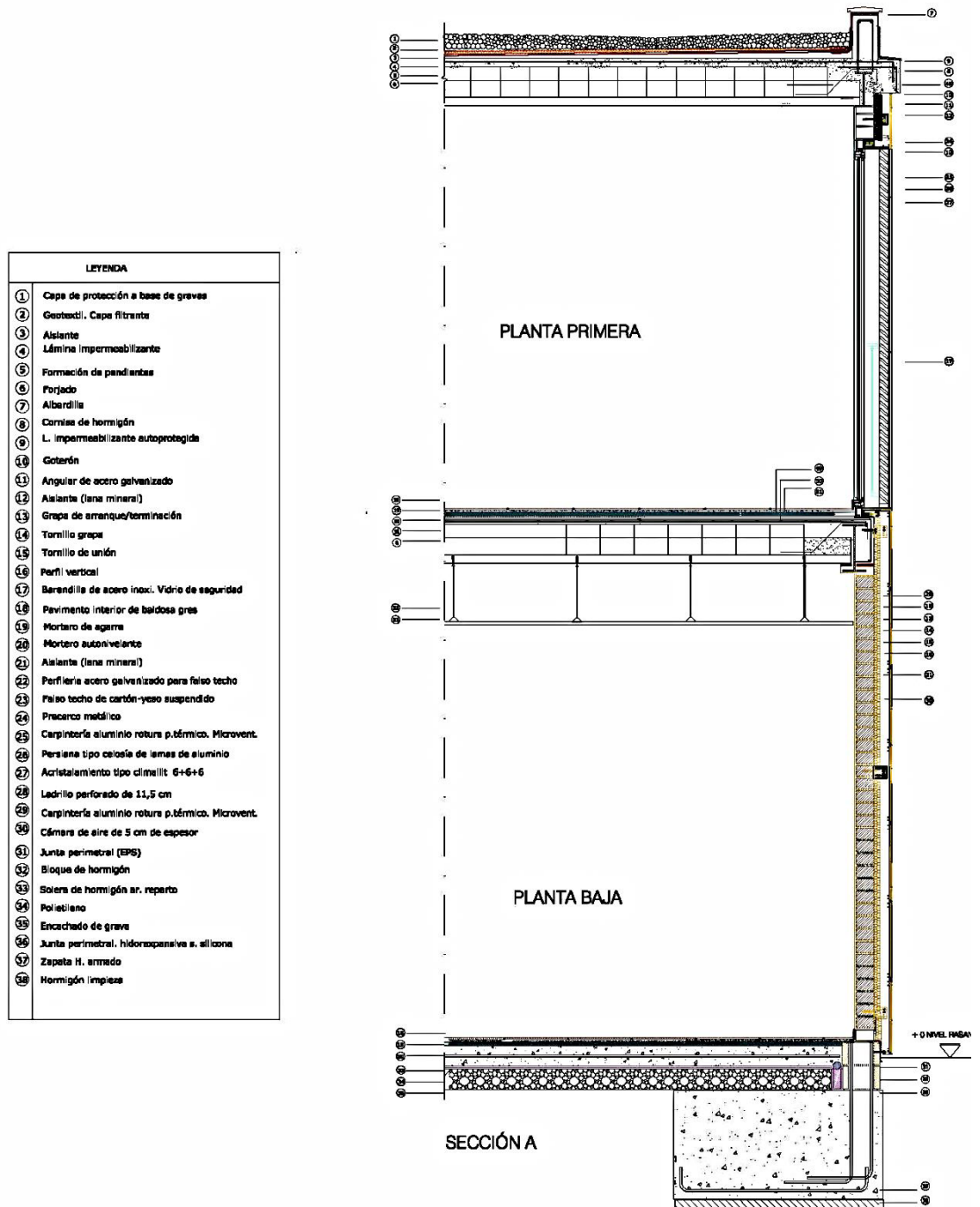


Figura 5.18 Sección constructiva, fachada ventilada y cubierta invertida no transitable.

viii. F5 Fachada ligera de vidrio, estructura portante de aluminio

Se trata de una fachada ligera, tipo muro cortina con rotura de puente térmico, de “TECHNAL”, con estructura portante de aluminio; compuesta por una retícula con una separación entre montantes de 150 cm y una distancia entre puntos de anclaje de 270 cm. Los montantes tienen una sección 100 x52 mm² y los travesaños de 60x52 mm². Los antepechos y el frente de los forjados están compuestos de un panel de chapa de aluminio de 9 mm de espesor y alma aislante de poliestireno extruido; la superficie semitransparente ocupa un 60% de la superficie total del cerramiento y está compuesta de doble acristalamiento formado por un vidrio exterior de 6 mm, la cámara de aire deshidratada de 8 mm, y un vidrio interior incoloro de 4mm de espesor. El sellado de la zona opaca es de silicona neutra; los anclajes de fijación son de acero y están compuestos por una placa unida al forjado y un angular para la fijación de los montantes a la estructura.

F5 ₀ Fachada ligera de vidrio	
<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> Zona de visión Zona opaca </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> UVA UVA </div>	
	Espesor(cm)
1. Paneles de doble acristalamiento 6 + 8+ 6, los vidrios bajo emisivos.	1,2
2. Subestructura a base de perfiles verticales y perfiles horizontales de aluminio tipo T.	0,8
3. Cámara de aire seco de 8 mm de espesor.	
4. AT_ Aislamiento no hidrófilo, MW Lana mineral [0.04 W/mK] 40,00	0,18
5. Paneles opacos a base de aluminio	
6. Aislamiento térmico de XPS de alta densidad (núcleo del sándwich)	2,22
7. Sistema de anclaje de acero inoxidable	
Espesor total	4,5

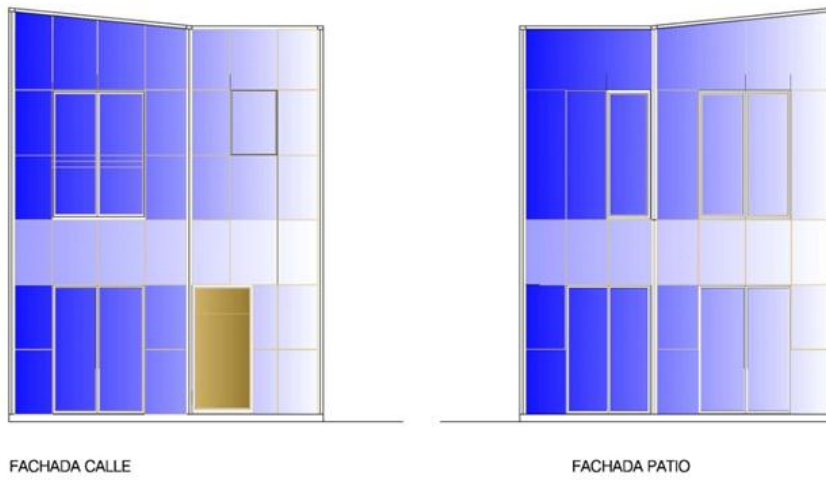


Figura 5.19 Fachada ligera.

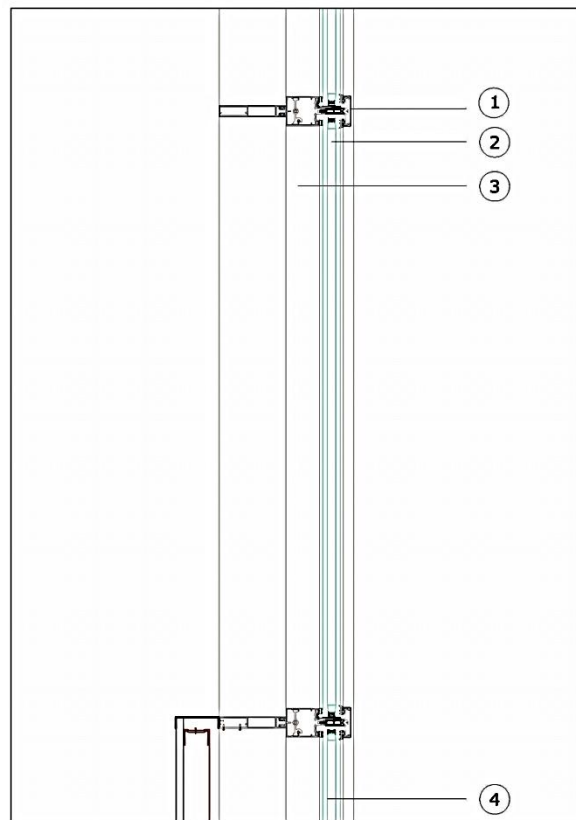


Figura 5.20 Sección tipo fachada ligera.

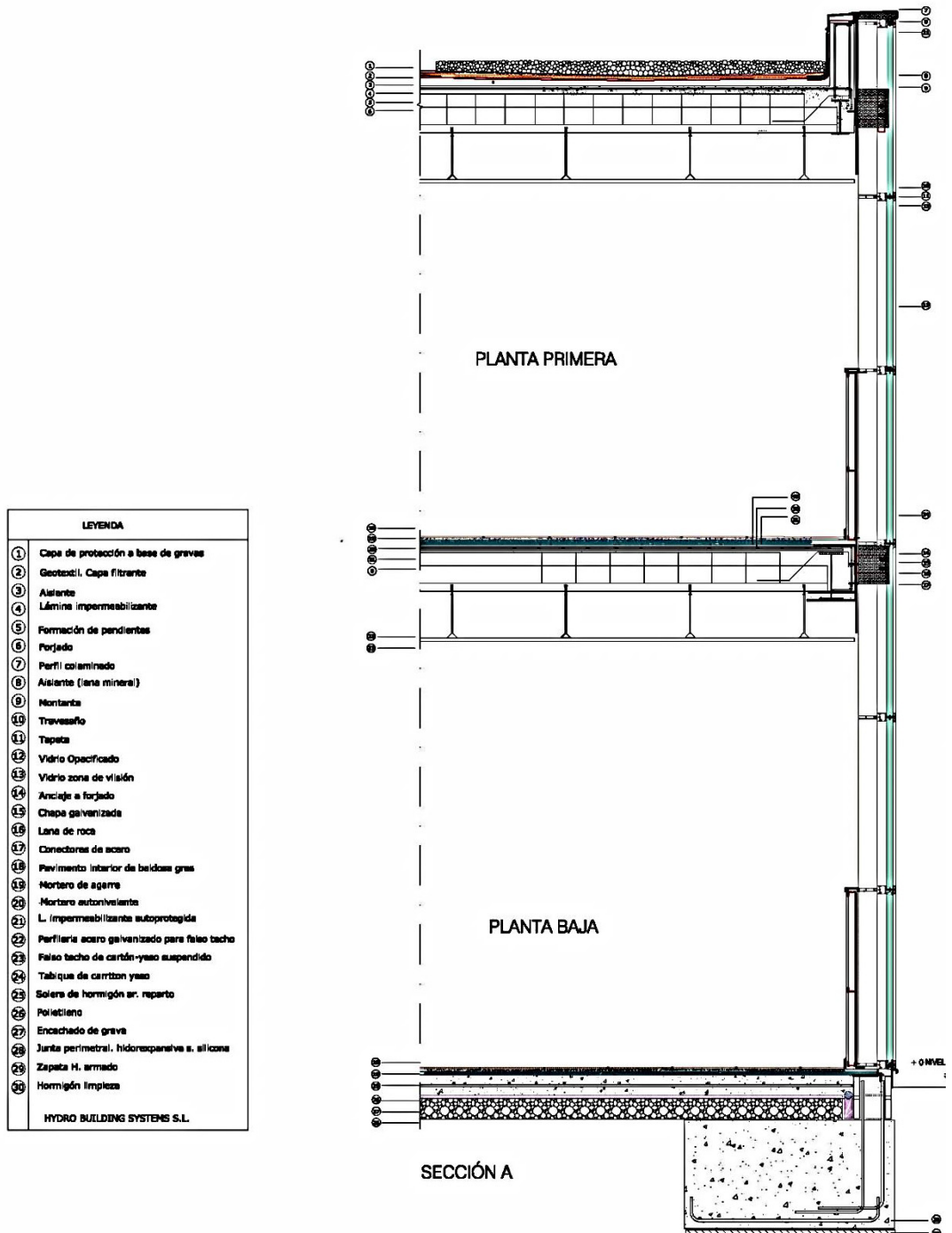


Figura 5.21 Sección constructiva, fachada ligera y cubierta invertida no transitable.

ix. H1 Carpintería de aluminio con rotura de puente térmico

Se trata de una carpintería de aluminio, compuesta por perfiles extrusionados de 1,5 mm de espesor. Los accesorios, herrajes de colgar y apertura, juntas de estanqueidad de EPDM, tornillería de acero inoxidable, accesorios y utillajes de mecanizado son homologados. El premarco es de acero galvanizado, incluso parte proporcional de las garras de fijación. El sellado perimetral de las juntas se realizará por medio de un cordón de silicona neutra.

H1 Carpintería de aluminio con rotura de puente térmico	Espesor cm
Doble acristalamiento 6+6+6, los vidrios bajo emisivos	1,2
Marco de aluminio con rotura de puente térmico 10%	
Masilla de silicona neutra	
Cámara de aire seco de 6 mm de espesor	0,6
Herrajes de acero	
Premarco tubo acero galv.40x20mm	
Espesor total	1,8

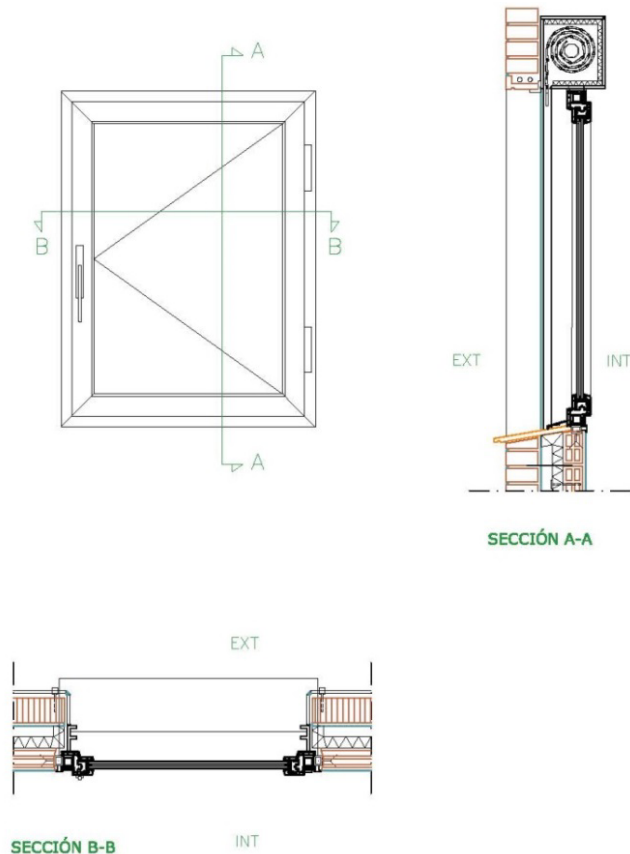


Figura 5.22 Carpintería metálica o de PVC

x. H2 Carpintería de PVC con rotura de puente térmico

Se trata de una carpintería de PVC, compuesta por perfiles de 2,8 mm de espesor, con las juntas de estanqueidad de EPDM. La tornillería es de acero inoxidable, los accesorios y los utillajes de mecanizado están homologados. El premarco es de acero galvanizado, así como, la parte proporcional de garras de fijación. El sellado perimetral de las juntas está realizado con un cordón de silicona neutra.

H2 Carpintería de PVC con rotura de puente térmico	Espesor cm
Doble acristalamiento 6+6+6, los vidrios bajo emisivos	1,2
Marco de P.V.C.	
Masilla de silicona neutra	
Cámara de aire seco de 6 mm de espesor	0,6
Herrajes de acero	
Premarco tubo acero galv.40x20mm	
Espesor total	1,8

xi. H3 Carpintería de madera

Se trata de una carpintería de madera de pino, de 60x120 cm.; con los tapajuntas interiores macizos de 70x15 mm. Los herrajes de colgar y de apertura están hechos con elementos de estanqueidad y accesorios homologados. El premarco es de acero galvanizado, así como la parte proporcional de las garras de fijación. El sellado perimetral de las juntas esta realizado con un cordón de silicona neutra.

Está formada por los siguientes componentes:

H3 Carpintería de madera	Espesor cm
Doble acristalamiento 6+6+6, los vidrios bajo emisivos	1,2
Marco de madera	
Masilla de silicona neutra	
Cámara de aire seco de 6 mm de espesor	0,6
Herrajes de acero	
Premarco tubo acero galv.40x20mm	
Espesor total	1,8

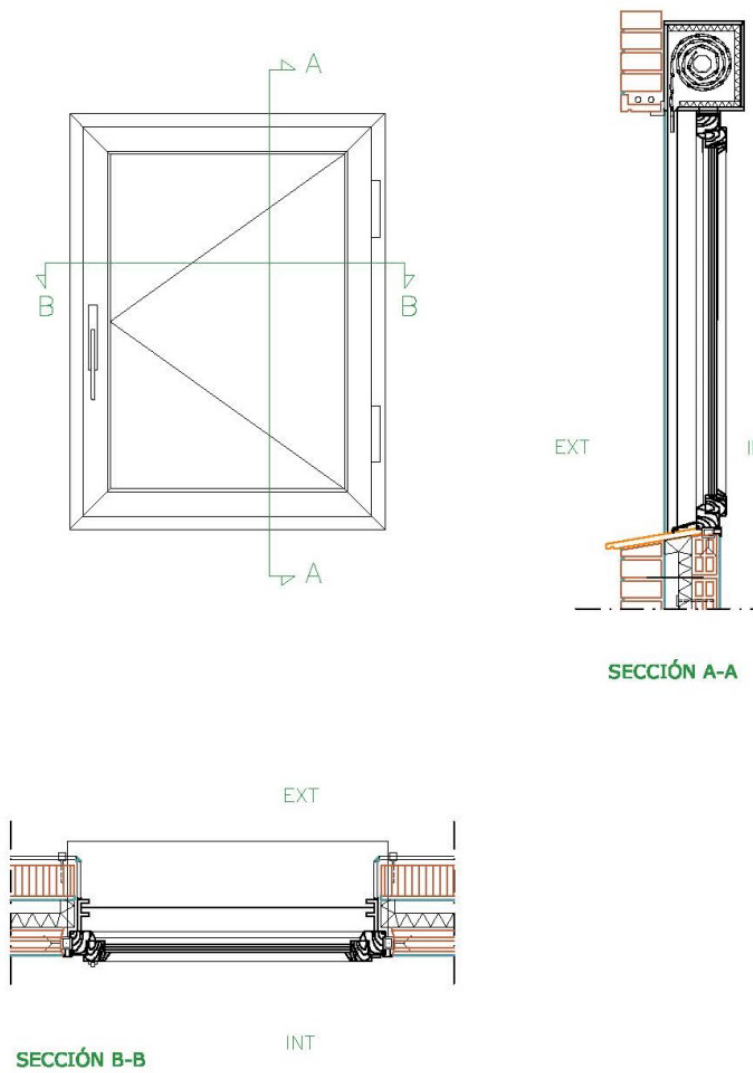


Figura 5.23 Carpintería de madera.

En los tres tipos de carpintería descritos se ha considerado una fracción de marco o de hueco cubierto por el marco del 10% y el mismo tipo de acristalamiento que consiste en doble hoja del tipo 4+6+4.

Capítulo 5. DEFINICIÓN DE LA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE LA ENVOLVENTE BASADA EN EL ACV

Una vez descritas las alternativas de elementos constructivos para la envolvente, se obtienen las posibles combinaciones entre ellas.

	F1 ₅ Fachada convencional, hoja exterior ladrillo cara vista	F2 ₅ Fachada convencional de fábrica para revestir	F2 ₁₀ Fachada convencional de fábrica para revestir	F4 ₅ Fachada ventilada, de gres	F5 Fachada ligera de vidrio
C1 Cubierta plana continua	C1F1 ₅	C1F2 ₅	C1 ₀ F3 ₁₀	C1F4 ₅	C1F5 ₀
C2 Cubierta plana Ventilada	C2F1 ₅	C2F2 ₅	C2F3 ₁₀	C3F4 ₅	C2F5 ₀
C3 Cubierta Plana invertida	C3F1 ₅	C3F2 ₅	C3F3 ₁₀	C3F4 ₃	C3F5 ₀

	H1 (Aluminio)	H2 (Pvc)	H3(Madera)
C1F1 ₅	C1F1 ₅ H1	C1F1 ₅ H2	C1F1 ₅ H3
C1F2 ₅	C1F2 ₅ H1	C1F2 ₅ H2	C1F2 ₅ H3
C1F3 ₁₀	C1F3 ₁₀ H1	C1F3 ₁₀ H2	C1F3 ₁₀ H3
C1F4 ₅	C1F4 ₅ H1	C1F4 ₅ H2	C1F4 ₅ H3
C1F5 ₀	C1F5 ₀ H1	C1F5 ₀ H2	C1F5 ₀ H3
C2F1 ₅	C2F1 ₅ H1	C2F1 ₅ H2	C2F1 ₅ H3
C2F2 ₅	C2F2 ₅ H1	C2F2 ₅ H2	C2F2 ₅ H3
C2F3 ₁₀	C2F3 ₁₀ H1	C2F3 ₁₀ H2	C2F3 ₁₀ H3
C2F4 ₅	C2F4 ₅ H1	C2F4 ₅ H2	C2F4 ₅ H3
C2F5 ₀	C2F5 ₀ H1	C2F5 ₀ H2	C2F5 ₀ H3
C3F1 ₅	C3F1 ₅ H1	C3F1 ₅ H2	C3F1 ₅ H3
C3F2 ₅	C3F2 ₅ H1	C3F2 ₅ H2	C3F2 ₅ H3
C3F3 ₁₀	C3F3 ₁₀ H1	C3F3 ₁₀ H2	C3F3 ₁₀ H3
C3F4 ₅	C2F4 ₅ H1	C2F4 ₅ H2	C2F4 ₅ H3
C3F5 ₀	C2F5 ₀ H1	C2F5 ₀ H2	C2F5 ₀ H3

Tabla 5.4 Combinaciones constructivas analizadas de cubiertas, fachadas y carpinterías con su codificación.

Una vez definidos los elementos constructivos a evaluar se establecerán otros aspectos que configuran el límite del sistema, según se ha establecido en el esquema de la figura 5.1.

5.4.4.1.2 Unidad funcional del sistema.

Tal y como se ha definido en el apartado 5.2.1, la unidad funcional define la cuantificación de la función de un sistema del producto, que se utiliza como unidad de referencia en el estudio de ACV; es decir se trata de comparar servicios y/o cantidades de producto que lleven a cabo la misma función. En este caso concreto se ha seleccionado como unidad funcional 1m² de superficie útil de vivienda, considerando que la función desempeñada por las diferentes soluciones constructivas es la de actuar como envolvente para garantizar unas condiciones de confort en una superficie.

5.4.4.1.3 Periodo de vida útil considerado.

También, se ha definido en el apartado 5.2.1 que la vida útil del edificio es la previsión del período de tiempo durante el cual éste es susceptible de ser utilizado en las condiciones de calidad requeridas. Para establecer el periodo de vida del caso de estudio, se ha partido de dos parámetros considerados como esenciales y que son la durabilidad o expectativas de que un elemento pueda cumplir las funciones encomendadas y la mantenibilidad, entendida como facilidad para poder realizar las funciones de inspección, limpieza, reparación o sustitución (Casanovas, 2009).

Por otra parte, se han consultado las recomendaciones de las siguientes normas en vigor en España respecto del periodo de vida útil de las edificaciones.

- La Orden ECO/805/2003, de 27 de marzo, sobre normas de valoración de bienes inmuebles y de determinados derechos para ciertas finalidades financieras, establece que la vida útil de un inmueble deberá ser estimada por el tasador siendo como máximo para edificios de uso residencial, de 100 años.
- El Real Decreto 1777/2003, de 30 de julio, por el que se aprueba el Reglamento del Impuesto sobre Sociedades, en la “Tabla de coeficientes de amortización”, establece un periodo de vida útil de 50 años.
- La Norma ISO 15686-1 define la vida útil, como el periodo de tiempo, durante el cual los edificios o sus partes cumplen los requisitos de rendimiento para los que fueron diseñados y construidos (ISO, 2000). Así mismo, esta Norma describe en su anexo 1, el método de los factores a utilizar para poder integrar la vida útil en el proceso de diseño de los edificios. Según este método, la vida útil estimada de un edificio o de cada elemento constructivo se puede modificar en función de los siguientes factores:
 - Factor A: Calidad de los componentes
 - Factor B: Nivel de diseño
 - Factor C: Nivel de calidad en la ejecución
 - Factor D: Condiciones interiores
 - Factor E: Condiciones exteriores
 - Factor F: Condiciones de uso
 - Factor G: Nivel de Mantenimiento

V_{UE} = vida útil estimada
 V_{UR} = vida útil de referencia

- La Instrucción Española del hormigón estructural EHE-08 y el CTE DB-SE, define la vida útil de una estructura como el período de tiempo, a partir de su puesta en servicio, durante el que debe mantenerse unas condiciones de seguridad, funcionalidad y aspecto aceptables. Según esta norma, la vida útil nominal nunca debería ser inferior en edificios de viviendas y oficinas a 50 años.

Teniendo en cuenta las consideraciones expuestas, se podría decir que las edificaciones plantean una expectativa de vida aproximada entre 50 y 100 años, pero las envolventes requieren para su sobrevivencia una intervención general que resultará necesaria como máximo en un periodo de cincuenta o sesenta años, por supuesto dependiendo del edificio que se trate (Hernandez, 2011).

Así pues, conocer la vida útil propuesta para cada elemento de la construcción permitirá estimar la vida útil de la edificación y con ello determinar los ciclos de mantenimiento en años, las inspecciones en años, las reparaciones cíclicas en años, etc. que cada elemento componente del edificio deberá recibir en función de sus características, ubicación, materiales, etc.

Para establecer la durabilidad de cada componente dentro de las soluciones constructivas analizadas, se han seguido las recomendaciones de la Norma ISO 15686-1. La vida útil mínima y máxima de cada sistema constructivo se ha obtenido a partir de la durabilidad mínima y máxima de cada componente. Para la obtención de estos valores se han consultado diferentes bases de datos (Hernandez, (2002), Ortega, (2012); sin considerar los factores que pueden modificar la expectativa de vida y la durabilidad de los diversos materiales y componentes usados en la construcción (calidad, condiciones en su instalación y construcción, nivel de mantenimiento, condiciones climatológicas y de humedad, intensidad en su uso, etc.), dado que las condiciones a las que hacen referencia pueden variar en cada caso.

Por otra parte, a la hora de determinar el periodo de vida útil a considerar en un ACV se deberá tener en cuenta la incertidumbre inherente a largo plazo, a la hora de definir medidas políticas que generalmente no tienen en cuenta los objetivos más allá del año 2050. (Nemry et al., 2008).

Así mismo, se ha visto que la mayoría de los proyectos analizados al inicio del presente capítulo establecía un periodo de vida útil de 50 años o menos.

Como conclusión, para llevar a cabo esta investigación, se considerará un periodo de vida útil del edificio de 50 años. Para alcanzar esta expectativa de vida, se considerarán los costes correspondientes del mantenimiento sustitutivo de los componentes de las soluciones constructivas de la envolvente que duran menos de 50 años, teniendo en cuenta la durabilidad de cada componente dentro de las soluciones constructivas analizadas, siguiendo las recomendaciones de la Norma ISO 15686-1.

5.4.4.1.4. Variables de partida

Para determinar el grado de influencia existente entre los elementos constructivos de la envolvente durante la fase de uso y los condicionantes exteriores del edificio (clima y

Capítulo 5. DEFINICIÓN DE LA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE LA ENVOLVENTE BASADA EN EL ACV

radiación solar), en las condiciones de confort interior requeridas; esta tesis llevará a cabo la evaluación de diferentes soluciones constructivas de la envolvente, en las diferentes zonas climáticas y las distintas orientaciones variables explicativas, manteniendo fijos los parámetros del resto de las variables necesarias para el cálculo. Todas las variables y parámetros utilizados en los cálculos y análisis proceden de fuentes oficiales a excepción de aquellas que, debidamente indicadas, se han estimado para realizar esta tesis.

En este caso se utilizan como datos de partida de la aplicación del ACV simplificado, las siguientes (tabla 5.5):

- La composición de los elementos constructivos de la envolvente descritos en el apartado 5.4.4.1.5.

- Las zonas climáticas: B3 y E1, según la nomenclatura definida en el CTE.

- Las orientaciones: Noreste (NE) y Sureste (SE).

Los cálculos se llevarán a cabo combinando las diferentes variables explicativas y manteniendo fijas el resto de las variables a considerar; analizando siempre el mismo edificio.

El resto de las variables a considerar son las requeridas por los programas de simulación energética LIDER Y CÁLENER (tabla 5.6), que mantendrán fijos sus parámetros en este caso y que son las siguientes:

- En los que respecta a los huecos: el porcentaje y la geometría, las protecciones solares, la superficie de marco y de vidrio, el tipo de vidrio, la permeabilidad al aire y las sombras que pueden arrojar los obstáculos de fachada.

- En los que respecta al edificio: puentes térmicos, la clase de higrometría, el caudal de aire requerido para la ventilación, el tipo de solera, la temperatura superficial interior y exterior de la vivienda, las instalaciones de climatización y las fuentes de energía.

La notación de dichas variables, se indica en las siguientes tablas:

VARIABLES EXPLICATIVAS															
ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS DE LA ENVOLVENTE															
VARIABLE	SISTEMAS DE CUBIERTA			SISTEMAS DE FACHADA					SISTEMAS DE CARPINTERÍAS			ZONAS CLIMÁTICAS		ORIENTACIONES	
NOTACIONES	C1	C2	C3	F1	F2	F3	F4	F5	H1	H2	H3	B3	E1	NE	SE
UNIDADES	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²				

Tabla 5.5 Variables explicativas

VARIABLES QUE SE MANTENDRÁN FIJAS DURANTE EL CÁLCULO												
VARIABLES QUE AFECTAN A LOS HUECOS											VARIABLES QUE AFECTAN AL EDIFICIO	
VARIABLE	Porcentaje de huecos de la envolvente	Porcentaje de marco	Factor solar del vidrio	Factor de sombra	Factor solar modificado	Permeabilidad al aire	Absortividad	Clase de higrometría	Factor de temperatura superficial interior mínimo	Renovaciones hora		
NOTACIONES		FM	g _L	FS	FH				t _{si, min}			
UNIDADES	%	%				m ³ /h m ²				h ₋₁		
PARÁMETROS	0,26	10	0,5	1	1	27	0,75	3	0,52-0,64	1,5		

Tabla 5.6 Variables utilizadas para el cálculo que mantendrán fijos sus parámetros

A continuación se detallan las variables y los parámetros utilizados, así como la fuente utilizada o en su caso los criterios adoptados para su adopción.

-Variables relativas a los elementos constructivos de la envolvente

Las variables relativas a la composición de elementos constructivos requeridos por las herramientas de evaluación dependerán en cada caso del tipo de elemento constructivo a evaluar y se obtendrán de la base de datos del BEDEC o del catálogo de elementos constructivos del CTE. La composición de los elementos constructivos a evaluar se ha definido en el apartado 5.4.4.1.1 de este capítulo. A continuación se definen las propiedades de los materiales integrantes a considerar, así como las notaciones y unidades.

- Densidad ρ , en kg/m^3

Densidad es una magnitud escalar referida a la cantidad de masa en un determinado volumen de una sustancia

- Espesor e , de una capa, el espesor es el grueso de las capas que integran la solución constructiva
- Transmitancia térmica de la parte opaca U , en $\text{W/m}^2 \text{K}$

Transmitancia térmica es el flujo de calor, en régimen estacionario, para un área y diferencia de temperaturas unitarias de los medios situados a cada lado del elemento que se considera.

Transmitancia térmica de la parte semitransparente de los cerramientos y de los marcos U_H , en $\text{W/m}^2 \text{K}$;

- La conductividad térmica λ , en W/m K

Conductividad térmica es el flujo de calor que se transmite a través de la unidad de espesor de un material, cuando la diferencia de temperatura entre ambas caras es de 1°C .

- Resistencia térmica R , en $\text{m}^2 \text{K/W}$;

La resistencia térmica de un material representa la capacidad del material de oponerse al flujo del calor.

-Zona climática

Zona climática es el lugar en donde se definen unas solicitaciones exteriores comunes a efectos de cálculo de la demanda energética. Se identifica mediante una letra, correspondiente a la severidad climática de invierno, y un número, correspondiente a la severidad climática de verano.

El actual Código Técnico de la Edificación (CTE) en su Documento Básico DB-HE 1, tabla 2.3, define los valores límite de transmitancia térmica U ($\text{W/m}^2\text{K}$) máxima en cada una de las zonas climáticas, definidas en función de las severidades de invierno α, A, B, C, D, E y de verano 1,2,3,4, para cada elemento de la envolvente de la edificación (cubiertas, fachadas y huecos). La severidad climática combina la temperatura y la radiación solar de la localidad, de forma que cuando dos localidades tienen la misma severidad climática de invierno (SCI) la demanda energética de calefacción de un mismo edificio situado en ambas localidades es sensiblemente igual. Lo mismo es aplicable para la severidad climática de verano (SCV) en el caso de la refrigeración.

A los efectos de este estudio, para poder obtener resultados comparables se han seleccionado dos de las zonas climáticas en el DB-HE del Código Técnico de la

Edificación, Castellón B3 y Ávila E1. La zona B3 se corresponde con la ubicación real del proyecto y la zona E1 representa una severidad climática opuesta tanto para invierno como para verano.

La zona climática B3 tiene una temperatura media anual de unos 17,8 °C. Los valores medios oscilan entre los 10.4 °C y los 25.0 °C.

La zona climática E1, tiene una temperatura media anual de unos 12,2°C. Los valores medios oscilan entre los 5,5° y los 17,6°.

Para las zonas B1 y B2 se considerarán a todos los efectos, las mismas exigencias correspondientes a la zona climática B3.

Para las zonas E2, E3, E4 se considerarán a todos los efectos, las mismas exigencias correspondientes a la zona climática E1.

Todos los parámetros específicos relativos a los materiales y a los elementos constructivos se recogerán en el apartado correspondiente al análisis de inventario (tablas 5.11) la conductividad térmica λ , en W/m K, o la resistencia térmica R, en m² K/ W a excepción de la resistencia térmica de la solera que se describe a continuación

-Resistencia térmica de la solera Ra

La solera es el elemento constructivo de la envolvente en contacto con el terreno. Aunque la solera forma parte de la envolvente térmica, en este estudio la composición de la solera se ha considerado como un elemento invariable con un aislamiento perimetral en todas las opciones evaluadas. El aislamiento de la solera estará formado por una banda de aislante térmico de lana mineral de 1m de anchura, para minimizar la transferencia de calor a través del terreno. En cuanto a la resistencia térmica de la solera se adoptarán los siguientes valores de cálculo obtenidos de la base de datos del programa LIDER

La $R_{a,B3}$ de la solera para la Zona B3 será 1 m² k/W

La $R_{a,E1}$ de la solera para la Zona E1 será 1,5 m² k/W

A continuación se describen y justifican las zonas climáticas y las orientaciones, que se utilizarán como hipótesis de cálculo.

-Orientación del edificio

En el presente estudio se realizarán todos los cálculos considerando la vivienda ubicada en las dos orientaciones siguientes (figura 5.30)

Orientación Noreste (NE) $22,5 < \alpha_0 < 60^\circ$

Orientación Sureste (SE) $111 < \alpha_0 < 162^\circ$

obtenidas a partir de las orientaciones establecidas en el CTE que se muestran en la figura 5.37

Capítulo 5. DEFINICIÓN DE LA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE LA ENVOLVENTE BASADA EN EL ACV

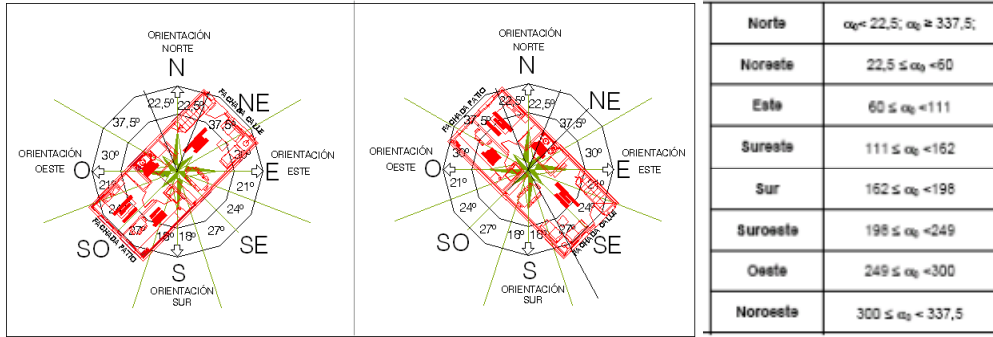


Figura 5.24 Orientaciones de las fachadas (Fuente CTE DB-HE1)

Para seleccionar las orientaciones a analizar se ha tenido en cuenta que la transmitancia límite con la que se debe comparar la transmitancia de los huecos de la vivienda depende de las orientaciones en cada zona climática; siendo la orientación Noreste y la orientación Sureste, las que se comparan con los valores más extremos según se muestra en la tabla 5.7.

D.2.7 ZONA CLIMÁTICA B3

Transmitancia límite de muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno	$U_{\text{MUR}}: 0,82 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
Transmitancia límite de suelos	$U_{\text{SUELO}}: 0,52 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
Transmitancia límite de cubiertas	$U_{\text{CUBIERTA}}: 0,45 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
Factor solar modificado límite de lucernarios	$F_{\text{LIM}}: 0,30$

% de huecos	Transmitancia límite de huecos $U_{\text{HUECO}} \text{ W/m}^2 \text{ K}$				Factor solar modificado límite de huecos F_{HUECO}					
	N/NE/NO	E/O	S	SE/EO	Baja carga interna			Alta carga interna		
	E/O	S	SE/EO	E/O	S	SE/EO	E/O	S	SE/EO	
de 0 a 10	5,4	5,7	5,7	5,7	-	-	-	-	-	
de 11 a 20	3,8	4,9	5,7	5,7	-	-	-	-	-	
de 21 a 30	3,3	4,3	5,7	5,7	-	-	-	0,57	-	
de 31 a 40	3,0	4,0	5,6	5,6	-	-	-	0,45	0,50	
de 41 a 50	2,8	3,7	5,4	5,4	0,53	-	0,59	0,38	0,57	0,43
de 51 a 60	2,7	3,6	5,2	5,2	0,46	-	0,52	0,33	0,51	0,38

D.2.16 ZONA CLIMÁTICA E1

Transmitancia límite de muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno	$U_{\text{MUR}}: 0,57 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
Transmitancia límite de suelos	$U_{\text{SUELO}}: 0,48 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
Transmitancia límite de cubiertas	$U_{\text{CUBIERTA}}: 0,35 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
Factor solar modificado límite de lucernarios	$F_{\text{LIM}}: 0,36$

% de huecos	Transmitancia límite de huecos $U_{\text{HUECO}} \text{ W/m}^2 \text{ K}$				Factor solar modificado límite de huecos F_{HUECO}					
	N/NE/NO	E/O	S	SE/EO	Baja carga interna			Alta carga interna		
	E/O	S	SE/EO	E/O	S	SE/EO	E/O	S	SE/EO	
de 0 a 10	3,1	3,1	3,1	3,1	-	-	-	-	-	
de 11 a 20	3,1	3,1	3,1	3,1	-	-	-	-	-	
de 21 a 30	2,6	3,0	3,1	3,1	-	-	-	-	-	
de 31 a 40	2,2	2,7	3,1	3,1	-	-	-	0,54	0,56	
de 41 a 50	2,0	2,4	3,1	3,1	-	-	-	0,45	0,60	0,49
de 51 a 60	1,9	2,3	3,0	3,0	-	-	-	0,40	0,54	0,43

Tabla 5.7 Valores de comparación de las transmitancias límites y del factor solar modificado en cada una de las zonas climáticas consideradas (Fuente CTE DB-HE)

A continuación se procede a detallar las variables estimadas para la evaluación medioambiental que se mantendrán fijas en todos los casos (tabla 5.7).

Capítulo 5. DEFINICIÓN DE LA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE LA ENVOLVENTE BASADA EN EL ACV

En primer lugar se definirán las variables que afectan a los huecos y seguidamente las que afectan al edificio así como los parámetros adoptados, notaciones y unidades para el cálculo en cada caso.

Los huecos están constituidos por ventanas, lucernarios, claraboyas y puertas acristaladas. El comportamiento térmico del edificio puede verse afectado por el porcentaje de huecos existente, por sus características geométricas, por la composición del elemento constructivo y por las protecciones solares que estos puedan tener.

En el presente estudio se han considerados las características geométricas de los huecos y las protecciones solares se corresponden con las del proyecto real de la vivienda definida en el apartado 5.4.3.2. Como se ha visto, en este edificio no existen obstáculos de fachada, ni retranqueos, ni voladizos, ni cualquier otro elemento de control solar exterior que figure explícitamente en la memoria del proyecto y con efecto de sombra sobre los huecos. Las variables que afectan a los huecos son las siguientes.

-Porcentaje de huecos de la envolvente hace referencia a la proporción de estos elementos en la envolvente y será del 26 %.

El porcentaje de huecos se mantendrá como parámetro fijo ya que el caso de estudio seleccionado responde a los estándares establecidos para esta tipología y cumple con los requisitos mínimos de habitabilidad establecidos por la Normativa Autonómica en vigor DC/09 (Condiciones de diseño y calidad. ORDEN de 7 de diciembre de 2009 de la Comunidad Valenciana). Se tendrá en cuenta que en ninguna de las zonas climáticas analizadas se establece un factor solar modificado límite para los huecos en los espacios de baja carga interna como es el caso de la vivienda caso de estudio.

-Porcentaje de hueco cubierto por el marco F_M hace referencia a la proporción de hueco que ocupa el marco de la ventana. En todos los casos el porcentaje de hueco cubierto por el marco se ha considerado del 10%.

-Factor solar del vidrio g_{\perp} es el cociente entre la radiación solar a incidencia normal que se introduce en el edificio a través del acristalamiento y la que se introduciría si el acristalamiento se sustituyese por un hueco perfectamente transparente.

-Factor de sombra es la fracción de la radiación incidente en un hueco que no es bloqueada por la presencia de obstáculos de fachada tales como retranqueos, voladizos, toldos, salientes laterales u otros.

-Factor solar modificado de huecos es el producto del factor solar por el factor de sombra.

Notaciones y unidades:

g_{\perp} Factor solar del vidrio: 0,5 para todos los tipos, excepto para el muro cortina en el que ha aplicado un corrector del Factor solar del 0,7.

F_S Factor de sombra: 1

F_H Factor solar modificado de huecos: 1

Los datos relativos al factor solar de los acristalamientos que se han adoptado para el cálculo se han seleccionado de la base de datos del programa LIDER y son los siguientes

-Permeabilidad al aire de las carpinterías, es una propiedad de una ventana o puerta de dejar pasar el aire cuando se encuentra sometida a una presión diferencial. La permeabilidad al aire se caracteriza por la capacidad de paso del aire, expresada en m^3/h , en función de la diferencia de presiones.

En cuanto a permeabilidad de las carpinterías según el DB-HE1, se considerarán válidos los huecos clasificados según la norma UNE EN 12 207:2000 y ensayados según la norma UNE EN 1 026:2000. Para cumplir con la limitación que establece el CTE DB-HE, se podrán utilizar únicamente elementos con clase 2, 3 o 4 en todas las zonas climáticas.

Se limitará por tanto la carpintería a clase ≥ 2 .

La permeabilidad al aire de las carpinterías, medida con una sobrepresión de 100 Pa, será de un valor inferior a $27 \text{ m}^3/\text{h m}^2$.

-Absortividad: es la fracción de la radiación solar incidente a una superficie que es absorbida por la misma. La absortividad dependerá del color del marco obtenida de la tabla E.10 del DB-HE, su valor va de 0,0 (0%) hasta 1,0 (100%). El valor adoptado para el cálculo es de 0,75 para un color marrón medio.

A continuación se detallan las variables que se mantendrán fijas para el cálculo y que afectan a todo el edificio.

-Clase de higrometría, define la cantidad de vapor de agua que se produce en un espacio, de acuerdo con la clasificación que se expresa en la norma EN ISO 13788: 2002 todos los espacios de edificios residenciales se considerarán de clase de higrometría 3 o inferior. El valor adoptado para el cálculo es 3.

-El factor de temperatura de la superficie interior f_{Rsi} : es el cociente entre la diferencia de temperatura superficial interior y la del ambiente exterior y la diferencia de temperatura del ambiente interior y exterior.

i. f_{Rsi} Factor de temperatura de la superficie interior, adimensional

ii. Factor de temperatura de la superficie interior mínimo, adimensional.

El valor $f_{Rsi,min}$ adoptado para el cálculo será 0,52 en la zona climática B y 0,64 en la zona climática E. Estos valores se han obtenido de la tabla 3.2 del DB-HE (tabla 5.8)

Tabla 3.2 Factor de temperatura de la superficie interior mínimo $f_{Rsi,min}$

Categoría del espacio	ZONAS A	ZONAS B	ZONAS C	ZONAS D	ZONAS E
Clase de higrometría 5	0.80	0.80	0.80	0.90	0.90
Clase de higrometría 4	0.66	0.66	0.69	0.75	0.78
Clase de higrometría 3 o inferior a 3	0.50	0.52	0.56	0.61	0.64

Tabla 5.8 Valores de $f_{Rsi,min}$ en cada una de las zonas climáticas consideradas (Fuente CTE DB-HE)

-Puentes térmicos: Son las zonas de la envolvente térmica del edificio en las que se evidencia una variación de la uniformidad de la construcción, ya sea por un cambio del espesor del cerramiento o de los materiales empleados, por la penetración completa o parcial de elementos constructivos con diferente conductividad, por la diferencia entre el área externa e interna del elemento, etc., que conllevan una minoración de la resistencia térmica respecto al resto del cerramiento.

Capítulo 5. DEFINICIÓN DE LA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE LA ENVOLVENTE BASADA EN EL ACV

Los puentes térmicos más comunes en la edificación, que se tendrán en cuenta en el análisis, se clasifican en:

- a) puentes térmicos integrados en los cerramientos:
 - i) pilares integrados en los cerramientos de las fachadas;
 - ii) contorno de huecos y lucernarios;
 - iii) cajas de persianas;
 - iv) otros puentes térmicos integrados;

- b) puentes térmicos formados por encuentro de cerramientos:
 - i) frentes de forjado en las fachadas;
 - ii) uniones de cubiertas con fachadas;
 - iii) uniones de fachadas con cerramientos en contacto con el terreno;
 - unión de fachada con losa o solera;
 - unión de fachada con muro enterrado o pantalla;
 - iv) esquinas o encuentros de fachadas, dependiendo de la posición del ambiente exterior

Los valores que se han adoptado para los puentes térmicos de la vivienda se han obtenido directamente a partir de los valores que ofrece el programa LIDER, que coinciden con los valores el Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja publicados en la página web CTE WEB.

-Ventilación: Otra de las variables requeridas para el cálculo por el programa LIDER es la ventilación entendida como las renovaciones por hora del aire interior de la vivienda necesarias para alcanzar las condiciones de confort exigibles según el CTE, es. Las renovaciones por hora se obtienen a partir del caudal de ventilación mínimo exigido para una vivienda en metros cúbicos por hora (m³/h), según el documento básico de salubridad DBHS3 del CTE (tabla 5.9). Seguidamente se calcula el volumen del edificio para las zonas habitables. El número de renovaciones por hora se obtiene dividiendo el total del caudal requerido por el volumen habitable tal y como se muestra a continuación. La siguiente tabla indica el caudal mínimo exigido en l/s para toda la vivienda según el DB HS3 (tabla 5.9) m².

Locales	Caudal de ventilación mínimo exigido qv en l/s				
	Por ocupante	Por m ² útil	Por local	Nº de locales	Qv en l/s
Dormitorios	5			4	20
Sala de estar y comedores	3			4	12
Aseos y cuarto de baño			15 por local	2	30
Cocinas		2	50 por local	9,6	19,2
Trasteros y zonas comunes		0,7		8	5,6
Total					87,4

Tabla 5.9 Cálculo por del caudal de ventilación de la vivienda

A continuación calculará el caudal total requerido en m³/h

$$87,4 \text{ l/s} \times 3600\text{s/h} \times 1\text{dm}^3/\text{l} \times 0,001 \text{ m}^3/\text{dm}^3 = 314,64 \text{ m}^3/\text{h} \quad [1]$$

Seguidamente se calculará el volumen de la vivienda (tabla 5.10)

Localización	Medición	Volumen
Planta baja	61,2 m ² x 2,5 m	153 m ³
Planta 1º	23,1 m ² x 2,5 m	57,75 m ³
Total		210,75 m ³

Tabla 5.10 Cálculo del volumen de la vivienda

Las renovaciones por hora se obtienen dividiendo el caudal por el volumen.

$$\text{Renovaciones hora} = \text{Caudal} / \text{Volumen} = 314,64 / 210,75 = 1,5 \text{ h}^{-1} \quad [2]$$

El resultado de la expresión [2] es el parámetro adoptado para el cálculo.

5.4.4.1.5 Límites del sistema

Para definir los límites del sistema se establecen qué etapas del ciclo de vida serán consideradas y qué etapas serán excluidas. Así mismo, se determinan los límites de las herramientas seleccionadas en cada una de estas etapas y qué tipo de impactos van a ser evaluados.

Para establecer los límites del sistema en esta tesis, se han tenido en cuenta las directrices y recomendaciones de la guía ENSLIC desarrollada por el grupo GW3 en el proyecto ENSLIC (2007-2010) que se han descrito en el apartado 5.3.1, así como las conclusiones del análisis de los proyectos de investigación estudiados al inicio del presente capítulo.

En cuanto a las etapas del ciclo de vida que formarán parte del análisis:

- Las etapas del ciclo de vida a analizar serán la fase de fabricación y puesta en obra y la fase de uso y mantenimiento. Se ha decidido centrar la investigación en estas etapas, siguiendo el modelo de la mayoría de los proyectos analizados al inicio del presente capítulo, excluyendo la etapa de demolición por dos motivos: de un lado se ha comprobado que la participación de los impactos de la fase de demolición en el total del ciclo de vida tiene una incidencia mucho menor respecto de los impactos producidos durante todo el ciclo de vida del edificio ya que las cargas ambientales de los materiales se valoran en la fase de extracción y de fabricación; por otra parte se ha considerado que en una auténtica arquitectura sostenible, el concepto de “demolición” no debería existir (Garrido, 2010); sino que se debería hablar de “rehabilitación”. El concepto de rehabilitación se englobaría en el apartado del mantenimiento corrector que si qué ha sido considerado en esta tesis.
- En la fase de mantenimiento, únicamente se han calculado los impactos vinculados al mantenimiento corrector, es decir se han calculado los impactos vinculados a la sustitución o reemplazamiento de los elementos constructivos cuando estos elementos han agotado su vida útil, pero no así el edificio en su globalidad. No se han tenido en cuenta los impactos vinculados al mantenimiento preventivo referidos a las operaciones periódicas necesarias para el correcto funcionamiento de cada uno de los elementos constructivos como limpieza de fachadas, pintura, etc., ya que afectan en una proporción muy pequeña en cuanto a la totalidad de valores obtenidos (Ruá, 2010).

En relación a las herramientas de evaluación seleccionadas para analizar los impactos en cada una de estas fases del ciclo de vida, se han establecido los siguientes límites:

-Para el cálculo de los impactos durante la fase de fabricación y puesta en obra, se utilizará según se ha justificado en el apartado 5.4.2, el programa TCQ2000.

- Esta herramienta aporta información sobre el peso de los materiales constitutivos de un sistema constructivo a fin de proporcionar una referencia de la cantidad de materias primas utilizadas, pero no tiene en cuenta los sobrantes de los procesos de extracción ni de fabricación. Así mismo, esta herramienta muestra el consumo energético y las emisiones de CO₂ equivalentes considerando exclusivamente este material constitutivo. Se considera que esta ausencia es asumible ya que en la medida de lo posible, los sobrantes en los procesos de extracción y de fabricación intentarán ser reutilizados.
- En cuanto a la distribución y transporte de los materiales y componentes a obra, el programa TCQ2000 contempla el proceso de extracción, el transporte del origen a la fábrica y el proceso de transformación en fábrica de sus materiales constitutivos; pero no considera el coste energético que supone la transformación del material en un elemento específico (por ejemplo, la transformación del acero en un tubo, perfil o plancha) ni el transporte del material del almacén del fabricante hasta la obra. En cuanto al coste energético de la maquinaria utilizada, la herramienta TCQ2000 solo tiene en cuenta la maquinaria que interviene en la justificación de precios de los elementos unitarios, no considera otras herramientas o medios auxiliares que no intervengan en la justificación del precio. Tampoco considera las cargas ambientales relativas a la producción de maquinaria e infraestructuras, ni la fabricación de medios auxiliares de obra ni los equipos de protección. La no consideración de estos datos es asumible, ya que como se ha dicho en la introducción de este capítulo, no se pretende llegar a resultados de gran exactitud sino, obtener datos estimativos de los impactos ambientales de las diferentes soluciones constructivas de la envolvente para generar información que permita establecer las bases para contribuir al desarrollo de una herramienta de calificación medioambiental.

En el caso de las edificaciones y en particular si se analizan los impactos vinculados a la envolvente, será necesario diferenciar el mantenimiento de la envolvente propiamente dicho, del uso del edificio y de sus instalaciones. La fase de mantenimiento hace referencia al estado de conservación de las soluciones constructivas mientras que la fase de uso hace referencia a los consumos y emisiones de las instalaciones de climatización a lo largo de la vida útil del edificio. A continuación se identifican las limitaciones de las herramientas en cada una de estas fases.

- Límite de las herramientas de evaluación en la fase de mantenimiento

- La herramienta de evaluación TCQ 2000 no aporta datos por defecto de los costes ambientales derivados del mantenimiento de la envolvente; así que estos impactos tendrán que ser calculados por separado según el procedimiento que se describirá en el apartado 5.4.2 correspondiente al análisis de inventario.

- Límite de las herramientas de evaluación en la fase de uso.

- El programa LIDER no contiene los algoritmos de la fachada ventilada, por lo que se utilizará la aproximación propuesta en la norma UNE-EN ISO 6946, que consiste en crear un material denominado “Efecto térmico cámara de aire ventilada” (figura 5.30), y que se definirá como una resistencia térmica cuyo valor es la diferencia entre el valor de la resistencia térmica superficial exterior ($0,04 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$) y la resistencia superficial interior ($0,13 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$), es decir igual a $0,09 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$, despreciando las capas comprendidas entre la cámara ventilada y el exterior (estos datos se encuentran en la base de datos del programa LIDER). Se debe tener en cuenta que esta aproximación no contempla los efectos de la cámara de aire en función de la zona climática, orientación o características de la cámara y revestimiento cerámico; pero aún así la aproximación adoptada es suficiente para comparar esta solución de fachada con las otras.

La figura 5.25 ilustra cómo se define la fachada ventilada en el programa LIDER.

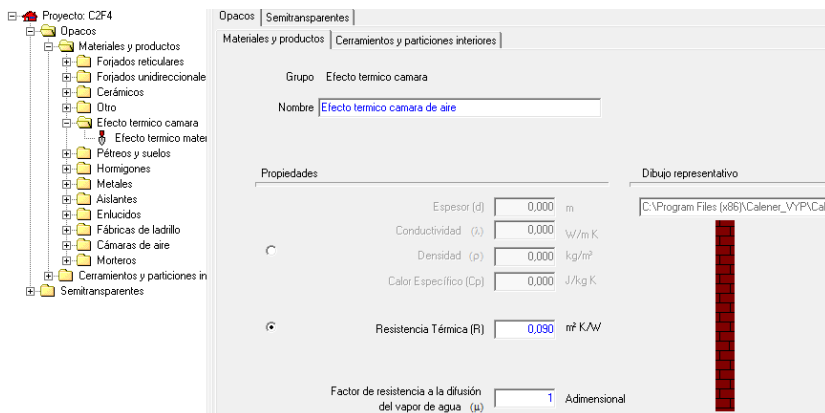


Figura 5.25 Cálculo del comportamiento de la fachada ventilada en el programa LIDER

- El programa LIDER no incorpora en su base de datos los algoritmos de la fachada ligera como sistema envolvente; así pues será necesario generar un cerramiento, considerando la parte opaca del muro cortina como un cerramiento tipo panel sandwich y la parte semitransparente como una ventana con carpintería de aluminio con rotura de puente térmico y vidrio doble bajo emisivo 4-9-6.
- Asimismo debe tenerse en cuenta que las condiciones del motor de cálculo del programa LIDER pueden diferir de las condiciones reales del edificio (hábitos de los usuarios, climatología, instalaciones térmicas, etc.). Por ejemplo LIDER considera que la vivienda está siendo usada el 100% del tiempo, lo que no es real. Por este motivo, el programa trabaja con valores relativos, comparando las demandas de energía del edificio con un edificio de referencia.

Finalmente los límites establecidos en cuanto a los impactos a evaluar son los siguientes:

- No se han considerado los impactos relativos a los residuos generados durante las fases de mantenimiento y uso, dado que los resultados afectan en una proporción muy reducida respecto del total de residuos generados.
- Tampoco se ha tenido en cuenta el consumo de agua durante la fase de mantenimiento y de uso ya que el consumo de agua durante la fase de uso del edificio no se considera vinculado a las soluciones constructivas de la envolvente.
- Únicamente se han tenido en cuenta los costes de inversión y los costes correspondientes a los consumos energéticos de las fases de fabricación, puesta en obra, mantenimiento y uso. No se han considerado los costes derivados de otros impactos como el consumo de agua o la extracción de recursos.

5.4.4.2 Análisis de inventario

Esta parte del ACV, como se ha explicado en el apartado 5.2.2, comprende la obtención de datos y los procedimientos utilizados para identificar y cuantificar todas las entradas y salidas de energía y materia junto con las emisiones generadas que deberán identificarse y cuantificarse para cada una de las fases a evaluar.

Por otra parte, tal y como se ha definido en los límites del sistema, esta tesis ha centrado su evaluación en las etapas de fabricación y puesta en obra y en las etapas de uso y mantenimiento. Las entradas serán las materias primas, la energía y el agua consumidas y las salidas serán las emisiones y los residuos generados, ya que en este estudio, tal y como se ha justificado en el apartado 5.4.4 no se considerará la fase de demolición (figura 5.26).

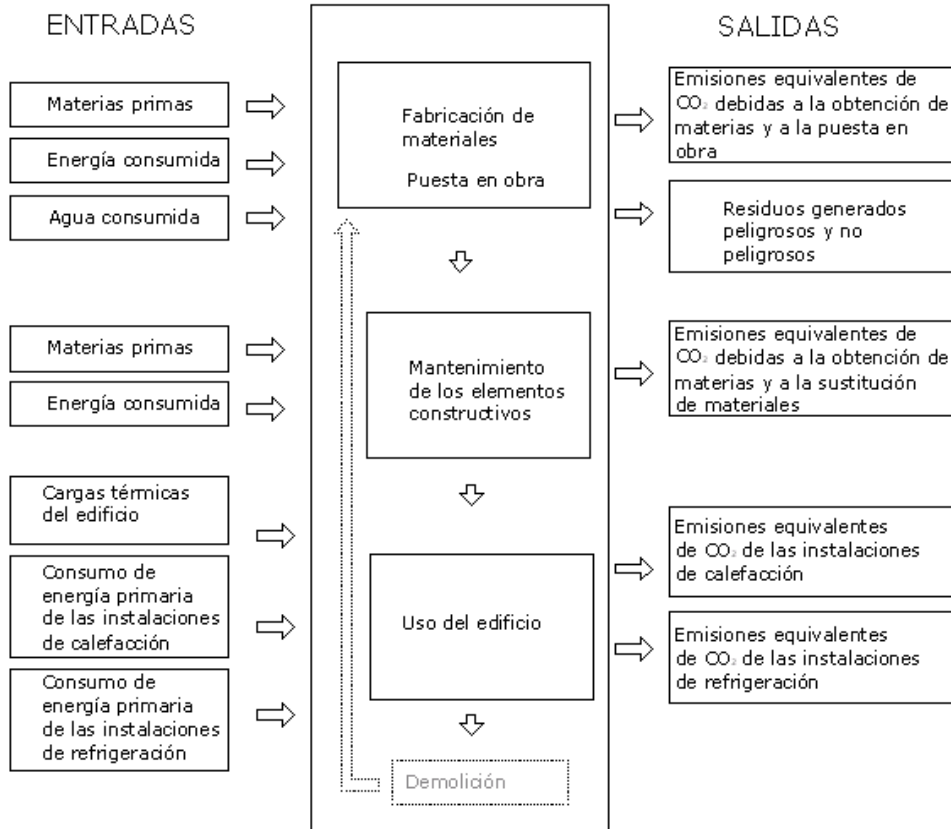


Figura 5.26 Esquema del análisis de inventario.

A continuación se justificará el origen de los datos utilizados, las fuentes y los tipos de datos utilizados para el cálculo. Posteriormente se mostrarán los datos recopilados en forma de tablas, correspondientes a las entradas y salidas de cada una de las fases a evaluar.

5.4.4.2.1 Tipos y fuentes de datos en cada una de las fases del ciclo de vida.

-Fase de fabricación y puesta en obra.

En la fase de fabricación y puesta en obra las entradas serán las materias primas que integran cada elemento constructivo a evaluar, el consumo de energía primaria y el consumo de agua, mientras que las salidas serán las emisiones de CO₂ y los residuos generados.

En el apartado 5.4.4.1.1 se ha justificado la selección de los elementos constructivos que forman parte de la envolvente térmica del edificio que serán analizados en esta tesis, es decir las tres soluciones de cubierta, las cinco soluciones del paño ciego de la fachada y las tres soluciones de carpinterías, así como la composición de cada uno de los estos elementos constructivos en diferentes capas formadas por distintos materiales

Capítulo 5. DEFINICIÓN DE LA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE LA ENVOLVENTE BASADA EN EL ACV

constitutivos. A continuación se muestran las características a tener en cuenta en la recopilación de datos relativos a los materiales constitutivos de cada capa (densidad, espesor, peso específico) que se han obtenido del catálogo de elementos constructivos del CTE (tabla 5.11). La elección de este catálogo como fuente de datos se ha justificado en el apartado 5.4.4.1.1.

PROPIEDADES DE LOS ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS Y DE SUS MATERIALES CONSTITUTIVOS							
VARIABLE	Densidad	Espesor	Transmitancia térmica parte opaca	Transmitancia térmica hueco	Conductividad térmica	Resistencia térmica de la solera	
NOTACIONES	ρ	e	U	UH	λ	Ra,B3	Ra,E1
UNIDADES	kg/m ³	m	W/m ² K	W/m ² K	W/m K	m ² k/W	m ² k/W
PARÁMETROS	tabla 5.12	tabla 5.12	tabla 5.12	tabla 5.12	tabla 5.12	1	1,5

Tabla 5.11 Variables que afectan a los elementos utilizados como hipótesis de cálculo

Los parámetros específicos adoptados respecto de las propiedades de los elementos constructivos y de sus materiales constitutivos que se han recogido para el inventario de la fase de fabricación y puesta en obra, se indican en la tabla 5.12. En la primera fila se indica el código asignado a cada elemento constructivo y la designación de dicho elemento, así por ejemplo C1 es el código asignado para identificar la cubierta plana, caliente, continua, convencional, transitable.

C1	Cubierta plana, caliente, continua, convencional, transitable				
	material	densidad Kg/m ³	Espesor m	Peso (kg/m ²) construido	Conductividad W/m·K
1	P_Capa de protección solado fijo mediante baldosa de gres	2500,000	0,010	25,000	1,00
2	MA_Mortero de áridos ligeros de agarre o nivelación	1800,000	0,040	72,000	1,80
3	Csa_Geotextil de polipropileno de 125 gr/m ²	980,000	0,00013	0,125	0,50
4	I_Dos láminas de oxiasfalto la primera LO-40/FV	600,000	0,007	4,200	0,23
5	Cs_Geotextil de polipropileno de 125 gr/m ²	980,000	0,00013	0,125	0,50
6	AT_Aislamiento térmico de XPS con CO ₂ [0.038 W/mK]	60,000	0,050	3,000	0,04
7	B_Betún fieltro o lámina (Barrera de vapor)	1100,000	0,005	5,500	0,23
8	FP_Formación de pendiente hormigón celular	1000,000	0,048	48,000	0,41
9	SR_Soporte resistente con entrevigado cerámico	1110,000	0,300	333,000	60,00
10	RI_Enlucido de yeso	800,000	0,010	8,000	0,57
Totales			0,470	498,951	

C1	Cubierta plana, caliente, continua, convencional, transitable				
	material	densidad Kg/m ³	Espesor m	Peso (kg/m ²) construido	Conductividad W/m·K
1	P_Capa de protección solado fijo mediante baldosa de gres	2500,000	0,010	25,000	1,00
2	MA_Mortero de áridos ligeros de agarre o nivelación	1800,000	0,040	72,000	1,80
3	Csa_Geotextil de polipropileno de 125 gr/m ²	980,000	0,00013	0,125	0,50
4	I_Dos láminas de oxiasfalto la primera LO-40/FV	600,000	0,007	4,200	0,23
5	Cs_Geotextil de polipropileno de 125 gr/m ²	980,000	0,00013	0,125	0,50
6	AT_Aislamiento térmico de XPS con CO ₂ [0.038 W/mK]	60,000	0,050	3,000	0,04
7	B_Betún fieltro o lámina (Barrera de vapor)	1100,000	0,005	5,500	0,23
8	FP_Formación de pendiente hormigón celular	1000,000	0,048	48,000	0,41
9	SR_Soporte resistente con entrevigado cerámico	1110,000	0,300	333,000	60,00
10	RI_Enlucido de yeso	800,000	0,010	8,000	0,57
Totales			0,470	498,951	

Capítulo 5. DEFINICIÓN DE LA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE LA ENVOLVENTE BASADA EN EL ACV

C3 Cubierta plana, invertida, no transitable					
	material	densidad Kg/m ³	Espesor m	Peso (kg/m ²) construido	Conductividad W/m·K
1	P_Capa de grava triturada silícea	1700,000	0,020	34,000	1,00
2	Csa_Geotextil de polipropileno de 125 gr/m ²	980,000	0,00013	0,125	0,50
3	AT_Aislamiento térmico de XPS con CO ₂ [0.038 W/mK]	60,000	0,050	3,000	0,04
4	Cs_Subcapa de fieltro	200,000	0,002	0,400	0,06
5	I_Dos láminas de oxiasfalto la primera LO-40/FP	600,000	0,007	4,200	0,23
6	FP_Formación de pendiente hormigón celular	1000,000	0,048	48,000	0,41
7	SR_Soporte resistente con entrevigado cerámico	1110,000	0,300	333,000	60,00
8	RI_Enlucido de yeso	800,000	0,010	8,000	0,57
Totales			0,437	430,725	

F1 Fachada convencional, hoja exterior de ladrillo, aislamiento de 5cm					
	material	densidad Kg/m ³	Espesor m	Peso (kg/m ²)	Conductividad W/m·K
1	LC_Hoja exterior de ladrillo macizo caravista tomado con mortero 1:6 de cemento y arena.	2100,00	0,12	241,50	1/0,12
2	RM_Enfoscado por la cara interior de la hoja principal con cemento y arena (1:6)	1000,00	0,02	15,00	0,55
3	C_Cámara de aire ligeramente ventilada		0,05		
4	AT_Aislamiento no hidrófilo, MW Lana mineral [0.04 W/mK] 40,00	40,00	0,05	2,00	0,04
5	LH_Hoja interior de ladrillo cerámico de hueco tomado con mortero 1:6 de cemento y arena	600,00	0,07	42,00	1/0,16
6	RI_Enlucido de yeso	800,00	0,02	12,00	0,57
Totales			0,32	312,50	

F2 Fachada convencional de fábrica para revestir y aislamiento de 5 cm					
	material	densidad Kg/m ³	Espesor m	Peso (kg/m ²)	Conductividad W/m·K
1	RM_Enfoscado por la cara exterior de la hoja principal con cemento y arena (1:6)	1000,00	0,02	15,00	0,55
2	con mortero 1:6 de cemento y arena, enfoscado por la cara exterior	920,00	0,12	105,80	1/0,23
3	C_Cámara de aire ligeramente no ventilada		0,05		
4	AT_Aislamiento no hidrófilo, MW Lana mineral [0.04 W/mK] 40,00	40,00	0,05	2,00	0,04
5	LH_Hoja interior de ladrillo cerámico de hueco doblado con mortero 1:6 de cemento y arena	600,00	0,07	42,00	1/0,16
6	RI_Enlucido de yeso	800,00	0,02	12,00	0,57
Totales			0,32	176,80	

F3 Fachada convencional de fábrica para revestir y aislamiento de 10 cm					
	material	densidad Kg/m ³	Espesor m	Peso (kg/m ²)	Conductividad W/m·K
1	RM_Enfoscado por la cara exterior de la hoja principal con cemento y arena (1:6)	1000,00	0,02	15,00	0,55
2	LC_Hoja exterior de ladrillo hueco para revestir tomado con mortero 1:6 de cemento y arena	920,00	0,12	105,80	1/0,23
3	C_Cámara de aire ligeramente ventilada		0,05		
4	AT_Aislamiento no hidrófilo, MW Lana mineral [0.04 W/mK] 40,00	40,00	0,10	4,00	0,04
5	LH_Hoja interior de ladrillo cerámico de hueco tomado con mortero 1:6 de cemento y arena	600,00	0,07	42,00	1/0,16
6	RI_Enlucido de yeso	800,00	0,02	12,00	0,57
Totales			0,37	178,80	

Capítulo 5. DEFINICIÓN DE LA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE LA ENVOLVENTE BASADA EN EL ACV

F4 Fachada ventilada de gres, soporte de fábrica					
	material	densidad Kg/m ³	Espesor m	Peso (kg/m ²)	Conductividad W/m·K
1	RE_ Hoja exterior de gres porcelánico	2500,00	0,02	50,00	2,30
2	C_ Cámara de aire ventilada		0,05		
3	Subestructura a base de perfiles verticales y perfiles horizontales de aluminio tipo T	2694,00		15,00	
4	Sistema de anclaje de acero inoxidable	7870,00		1,50	
5	AT_ Aislamiento no hidrófilo, MW Lana mineral [0.04 W/mK] 40,00	40,00	0,10	4,00	0,04
	RM_ Enfoscado por la cara exterior de la hoja principal con cemento y arena (1:6)	1000,00	0,02	15,00	0,55
6	LC_ Hoja interior de ladrillo hueco para revestir tomado con mortero 1:6 de cemento y arena.	920,00	0,12	105,80	1/0,23
7	RI_ Enlucido de yeso	800,00	0,02	12,00	0,57
Totales			0,32	203,30	

F5 Fachada ligera de vidrio, estructura portante de aluminio					
	material	densidad Kg/m ³	Espesor m	Peso (kg/m ²)	Conductividad W/m·K
1	Paneles de doble acristalamiento 6+8+6, los vidrios bajo emisivos	2000,00	0,01	24,00	2,70
2	Subestructura a base de perfiles verticales y perfiles horizontales de aluminio tipo T.	2694,00		35,00	
3	Cámara de aire seco de 8 mm de espesor.	1,29	0,01		
4	AT_ Aislamiento no hidrófilo, MW Lana mineral [0.04 W/mK]	40,00		40,00	0,03
5	Paneles opacos a base de bandejas de aluminio	2694,00	0,00	4,85	1/0,23
6	Aislamiento de XPS de alta densidad (núcleo del sandwich)	35,00	0,02	0,80	0,17
7	Sistema de anclaje de acero inoxidable	7870,00		3,00	
Totales			0,04	107,65	

H1 Carpintería de aluminio con rotura de puente térmico					
	material	densidad Kg/m ³	Espesor m	Peso kg/m ²	UH transmitancia W/m ² K
1	Doble acristalamiento 6+6+6, los vidrios bajo emisivos	2000,00	0,01	22,00	2,70
2	Marco de aluminio con rotura de puente térmico 10%	2694,00	0,00	12,24	2,20
3	Masilla de silicona neutra	1450,00	0.005	0,30	
4	Cámara de aire seco de 6 mm de espesor	1,29	0,01		
5	Herrajes de acero	7000,00	0,02	1,00	
6	Prearco tubo acero galv.40x20mm	7000,00	0,02	0,70	
Totales			0,05	34,54	

H2 Carpintería de PVC con rotura de puente térmico					
	material	densidad Kg/m ³	Espesor m	Peso kg/m ²	UH transmitancia W/m ² K
1	Doble acristalamiento 6+6+6, los vidrios bajo emisivos	2000,00	0,01	22,00	2,70
2	Marco de pvc con tres cámaras	1390,00	0,00	12,24	1,80
3	Masilla de silicona neutra	1450,00	0.005	0,30	
4	Cámara de aire seco de 6 mm de espesor.	1,29	0,01		
5	Herrajes de acero	7000,00	0,02	1,00	
6	Prearco tubo acero galv.40x20mm	7000,00	0,02	0,70	
Totales			0,02	34,54	

Capítulo 5. DEFINICIÓN DE LA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE LA ENVOLVENTE BASADA EN EL ACV

H3	Carpintería de madera con rotura de puente térmico				
	material	densidad Kg/m ³	Espesor m	Peso kg/m ²	UH transmitancia W/m ² K
1	Doble acristalamiento 6+6+6, los vidrios bajo emisivos	2000,00	0,01	22,00	2,70
2	Marco de madera de densidad media alta	500,00	0,02	9,50	2,00
3	Masilla de silicona neutra	1450,00	0,005	0,30	
4	Cámara de aire seco de 6 mm de espesor.	1,29	0,01		
5	Herrajes de acero	7000,00	0,02	1,00	
6	Prearco de madera 40x20mm	500,00	0,02	0,50	
Totales			0,04	31,80	

Tabla 5.12 Información de de las características de los elementos constructivos recogida para el inventario.

En cuanto a las entradas correspondientes al consumo de energía primaria y a las salidas correspondientes a las emisiones de CO₂ durante la fase de fabricación y puesta en obra; es, tal y como se ha explicado en el apartado 5.4.2, el módulo TCQGMA el que asocia los datos introducidos en el programa TCQ 2000 con los datos existentes en la base de datos del BEDEC 2013. Este módulo ofrece los resultados desplegando una tabla con los valores correspondientes (tabla 5.13).

Energía	MJ fabricación	MJ/m ²	%N	%T	MJ construcción	MJ/m ²	%N	%T
TOTAL	9.108,64	9.108,64	100,00	100,00	7,75	7,75	100,00	100,00
cubierta plana caliente continua transitable	4.523,06	4.523,06	49,66	49,66				
Fachada enfoscada camara no ventila aislamiento 5	476,23	476,23	5,23	5,23	7,75	7,75	100,00	100,00
Carpinteria aluminio rotura pt	4.109,35	4.109,35	45,11	45,11				
Emisiones de CO ₂	kg CO ₂ fabricación	kg CO ₂ /m ²	%N	%T	kg CO ₂ construcción	kg CO ₂ /m ²	%N	%T
TOTAL	1.277,93	1.277,93	100,00	100,00	1,13	1,13	100,00	100,00
cubierta plana caliente continua transitable	631,79	631,79	49,44	49,44				
Fachada enfoscada camara no ventila aislamiento 5	41,75	41,75	3,27	3,27	1,13	1,13	100,00	100,00
Carpinteria aluminio rotura pt	604,40	604,40	47,29	47,29				

Tabla 5.13 Resultados del programa TCQGMA relativos a los consumos energéticos y a las emisiones de CO₂ por m² del elemento constructivo en la fase de fabricación y puesta en obra

En cuanto a los datos relativos a los residuos generados, el módulo TCQGMA asocia los datos de la base de datos del BEDEC, diferenciando los datos de los residuos peligrosos, inertes y no peligrosos durante el proceso de fabricación y puesta en obra (todos ellos referidos a las unidades m³ y kg), de los datos de los residuos peligrosos, inertes y no peligrosos debidos a los embalajes utilizados. Este módulo ofrece los resultados desplegando una tabla con los valores correspondientes (tabla 5.14)

Capítulo 5. DEFINICIÓN DE LA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE LA ENVOLVENTE BASADA EN EL ACV

Residuos obra (peso)	kg inertes	kg/m ²	%N	%T	kg no peligrosos (no especiales)	kg/m ²	%N	%T	kg peligrosos (especiales)	kg/m ²	%N	%T
TOTAL	12,35	12,35	100,00	71,89	4,83	4,83	100,00	28,11				
cubierta plana caliente continua transitable	4,98	4,98	40,34	29,00	3,05	3,05	63,13	17,74				
Fachada enfoscada cámara no ventilada aislamiento 5	7,37	7,37	59,66	42,89	1,78	1,78	36,87	10,36				
Residuos obra (volumen)	m ³ inertes	m ³ /m ²	%N	%T	m ³ no peligrosos (no especiales)	m ³ /m ²	%N	%T	m ³ peligrosos (especiales)	m ³ /m ²	%N	%T
TOTAL	0,018	0,018	100,00	67,14	0,0088	0,0088	100,00	32,86				

Tabla 5.14 Resultados del programa TCQGMA relativos a los residuos generados peligrosos y no peligrosos por m² del elemento constructivo en la fase de fabricación y puesta en obra

- Fase de mantenimiento.

Tal y como se ha explicado en el apartado 5.4.4.1.5, en esta investigación se ha considerado únicamente el mantenimiento corrector de la envolvente en referencia a la sustitución o reemplazamiento de los elementos constructivos, cuando estos elementos han agotado su vida útil, pero no así el edificio en su globalidad.

Para determinar los impactos de los materiales durante la fase de mantenimiento, se ha utilizado el concepto de factor de reacondicionamiento F_R siguiendo las recomendaciones del estudio Impro-Building. En este estudio se determinó que se puede establecer un factor de reacondicionamiento F_R equivalente al número de veces que cada elemento constructivo tendrá que ser sustituido a lo largo de la vida útil del edificio (Nemry et al., 2008).

Para llevar a cabo la evaluación de los impactos correspondientes a la fase del mantenimiento corrector, se ha asignado a cada uno de los componentes de cada elemento constructivo, un factor de reacondicionamiento F_R en función del número de veces que dicho material tendrá que ser sustituido en 50 años. Así por ejemplo, si se asigna un factor de reacondicionamiento igual a uno, significa que el elemento de construcción será sustituido una vez durante toda la vida útil del edificio y si un material tiene una durabilidad de 10 años, se le asignará un factor de reacondicionamiento de 5, es decir se contabilizará 5 veces en el inventario de impactos.

Para establecer la durabilidad de cada elemento dentro de las soluciones constructivas analizadas, se han seguido las recomendaciones de la Norma ISO 15686-1. Según esta norma, la vida útil mínima y máxima de cada sistema constructivo se obtendrá considerando un promedio entre la durabilidad mínima y máxima de cada componente.

Para la obtención de los valores relativos a la durabilidad de cada uno de los materiales integrantes de cada elemento constructivo que permita calcular su F_R , se han consultado diferentes fuentes y bases de datos (Hernandez, (2002) Ortega, (2012)); pero no se han

Capítulo 5. DEFINICIÓN DE LA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE LA ENVOLVENTE BASADA EN EL ACV

considerado los factores que pueden modificar la expectativa de vida y la durabilidad de estos (calidad, condiciones en su instalación y construcción, nivel de mantenimiento, condiciones climatológicas y de humedad, intensidad en su uso, etc.), dado que las condiciones a las que hacen referencia pueden variar en cada caso (Ortega, 2012).

A continuación se muestra la recopilación de los datos relativos a las entradas y salidas relativas a los materiales constitutivos recogidos para el inventario de la fase de mantenimiento. Las emisiones de CO₂ y los consumos energéticos corresponden a m² construido (tabla 5.15).

C1	Cubierta plana, caliente, continua, convencional, transitable			Entradas y salidas mantenimiento corector			
	material	Vida útil	FR	emisiones kg CO ₂ /m ²	emisiones kg CO ₂ /m ² en 50 años	consumo energético kWh/m ²	consumo e. kWh/m ² 50 años
1	P_Capa de protección solado fijo mediante baldosa de gres	50	1				
2	MA_Mortero de áridos ligeros de agarre o nivelación	37	1,351	7,02	9,49	10,51	14,20
3	Csa_Geotextil de polipropileno de 125 gr/m ²	30	1,667	1,67	2,78	3,15	5,25
4	I_Dos láminas de oxiasfalto la primera LO-40/FV	23	2,174	34,69	75,41	67,57	146,89
5	Cs_Geotextil de polipropileno de 125 gr/m ²	30	1,667	1,67	2,78	3,15	5,25
6	AT_Aislamiento térmico de XPS con CO ₂ [0.038 W/mK]	60	1				
7	B_Betún fieltro o lámina (Barrera de vapor)	61	1				
8	FP_Formación de pendiente hormigón celular	50	1				
9	SR_Soporte resistente con entrevigado cerámico	50	1				
10	RI_Enlucido de yeso	46	1,087	1,7	1,85	5,33	1,09
Totales		78		46,75	92,31	89,71	172,68

C2	Cubierta plana, ventilada, transitable			Entradas y salidas mantenimiento corector			
	material	Vida útil	FR	emisiones kg CO ₂ /m ²	emisiones kg CO ₂ /m ² en 50 años	consumo energético kWh/m ²	consumo e. kWh/m ² 50 años
1	P_Capa de protección solado fijo mediante baldosa de gres	50	1				
2	MA_Mortero de áridos ligeros de agarre o nivelación	37	1,351	7,02	9,49	10,51	14,20
3	Csa_Geotextil de polipropileno de 125 gr/m ²	30	1,667	1,67	2,78	3,15	5,25
4	I_Dos láminas de oxiasfalto LO-40/FV	23	2,174	34,69	75,41	67,57	146,89
5	Cs_Geotextil de polipropileno-polietileno de 125 gr/m ²	30	1,667	1,67	2,78	3,15	5,25
6	FP_Formación de pendientes, tablero cerámico, bardo de 3,5	60	1				
7	C_Cámara de aire ventilada						
8	AT_Aislamiento no hidrófilo, MW Lana mineral [0.04 W/mK]	50	1				
9	SR_Soporte resistente con entrevigado cerámico	50	1				
10	RI_Enlucido de yeso	46	1,087	1,7	1,85	5,33	1,09
Totales		78		46,75	92,31	89,71	172,68

C3	Cubierta plana, invertida, no transitable			Entradas y salidas mantenimiento corector			
	material	Vida útil	FR	emisiones kg CO ₂ /m ²	emisiones kg CO ₂ /m ² en 50 años	consumo energético kWh/m ²	consumo e. kWh/m ² 50 años
1	P_Capa de grava triturada silíceas	50	1				
2	Csa_Geotextil de polipropileno de 125 gr/m ²	30	1,67	1,67	2,78	3,15	5,25
3	AT_Aislamiento térmico de XPS con CO ₂ [0.038 W/mK]	60	1				
4	Cs_Subcapa de fieltro	30	1,67	34,69	57,82	67,57	112,62
5	I_Dos láminas de oxiasfalto la primera LO-40/FP	23	2,17	1,67	3,63	3,15	6,85
6	FP_Formación de pendiente hormigón celular	60	1				
7	SR_Soporte resistente con entrevigado cerámico	50	1				
8	RI_Enlucido de yeso	46	1,09	1,7	1,85	5,33	5,79
Totales		78		39,73	66,08	79,2	130,51

Capítulo 5. DEFINICIÓN DE LA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE LA ENVOLVENTE BASADA EN EL ACV

F1	Fachada convencional, hoja exterior de ladrillo, aislamiento de 5cm	Entradas y salidas mantenimiento corector					
	material	Vida útil	FR	emisiones kg CO ₂ /m ²	emisiones kg CO ₂ /m ² en 50 años	consumo energético kWh/m ²	consumo e. kWh/m ² 50 años
	LC_Hoja exterior de ladrillo macizo caravista tomado con mortero 1:6 de cemento y arena.	81	1,00				
	RM_ Enfoscado por la cara interior de la hoja principal con cemento y arena (1:6)	37	1,35	4,1	5,54	6,14	8,30
	3 C_Cámara de aire ligeramente ventilada						
	4 AT_Aislamiento no hidrófilo, MW Lana mineral [0.04 W/mK]	50	1,00				
	LH_Hoja interior de ladrillo cerámico de hueco tomado con mortero 1:6 de cemento y arena	81	1,00				
	6 RI_Enlucido de yeso	46	1,09	1,7	1,85	5,33	5,79
	Totales	78		5,80	7,39	11,47	14,09

F2	Fachada convencional de fábrica para revestir y aislamiento de 5 cm	Entradas y salidas mantenimiento corector					
	material	Vida útil	FR	emisiones kg CO ₂ /m ²	emisiones kg CO ₂ /m ² en 50 años	consumo energético kWh/m ²	consumo e. kWh/m ² 50 años
	1 RM_ Enfoscado por la cara exterior de la hoja principal con cemento y arena (1:6)	37	1,35	4,1	5,54	6,14	8,30
	2 mortero 1:6 de cemento y arena, enfoscado por la cara exterior	81	1,00				
	3 C_Cámara de aire ligeramente no ventilada						
	4 AT_Aislamiento no hidrófilo, MW Lana mineral [0.04 W/mK]	50	1,00				
	5 LH_Hoja interior de ladrillo cerámico de hueco doblotomado con mortero 1:6 de cemento y arena	81	1,00				
	6 RI_Enlucido de yeso	46	1,09	1,7	1,85	5,33	5,79
	Totales	81		5,80	7,39	11,47	14,09

F3	Fachada convencional de fábrica para revestir y aislamiento de 10 cm	Entradas y salidas mantenimiento corector					
	material	Vida útil	FR	emisiones kg CO ₂ /m ²	emisiones kg CO ₂ /m ² en 50 años	consumo energético kWh/m ²	consumo e. kWh/m ² 50 años
	1 RM_ Enfoscado por la cara exterior de la hoja principal con cemento y arena (1:6)	37	1,35	4,1	5,54	6,14	8,30
	2 LC_Hoja exterior de ladrillo hueco para revestir tomado con mortero 1:6 de cemento y arena	81	1,00				
	3 C_Cámara de aire ligeramente ventilada						
	4 AT_Aislamiento no hidrófilo, MW Lana mineral [0.04 W/mK]	50	1,00				
	5 LH_Hoja interior de ladrillo cerámico de hueco tomado con mortero 1:6 de cemento y arena	81	1,00				
	6 RI_Enlucido de yeso	46	1,09	1,7	1,85	5,33	5,79
	Totales	81		5,80	7,39	11,47	14,09

F4	Fachada ventilada de gres, soporte de fábrica	Entradas y salidas mantenimiento corector					
	material	Vida útil	FR	emisiones kg CO ₂ /m ²	emisiones kg CO ₂ /m ² en 50 años	consumo energético kWh/m ²	consumo e. kWh/m ² 50 años
	1 RE_Hoja exterior de gres porcelánico	81	1,00	4,1	4,10	6,14	6,14
	2 C_Cámara de aire ventilada						
	3 Subestructura a base de perfiles verticales y perfiles horizontales de aluminio tipo T ²¹	50	1,00				
	4 Sistema de anclaje de acero inoxidable ²²	50	1,00				
	5 AT_Aislamiento no hidrófilo, MW Lana mineral [0.04 W/mK]	50	1,00				
	RM_ Enfoscado por la cara exterior de la hoja principal con cemento y arena (1:6)	37	1,35	1,7	2,30	5,33	7,20
	6 LC_Hoja interior de ladrillo hueco para revestir tomado con mortero 1:6 de cemento y arena.	81	1,00				
	7 RI_Enlucido de yeso	46	1,09	1,7	1,85	5,33	5,79
	Totales	81		3,40	4,15	10,66	13,00

Capítulo 5. DEFINICIÓN DE LA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE LA ENVOLVENTE BASADA EN EL ACV

F5	Fachada ligera de vidrio, estructura portante de aluminio	Entradas y salidas mantenimiento corrector					
material	Vida útil	FR	emisiones kg CO ₂ /m ²	emisiones kg CO ₂ /m ² en 50 años	consumo energético kWh/m ²	consumo e. kWh/m ² 50 años	
1 Paneles de doble acristalamiento 6+8+6, los vidrios bajo emisivos	40	1,25	51,07	63,84	235,93	294,91	
2 Subestructura a base de perfiles verticales y perfiles horizontales de aluminio tipo T.	50	1,00					
3 Cámara de aire seco de 8 mm de espesor.							
4 AT_Aislamiento no hidrófilo, MW Lana mineral [0.04 W/mK]	50	1,00					
5 Paneles opacos a base de bandejas de aluminio	50	1,00					
6 Aislamiento de XPS de alta densidad (núcleo del sandwich)	60	1,00					
7 Sistema de anclaje de acero inoxidable	50	1,00					
Totales	50		51,07	63,84	235,93	294,91	

H1	Carpintería de aluminio con rotura de puente térmico	Entradas y salidas mantenimiento corrector					
material	Vida útil	FR	emisiones kg CO ₂ /m ²	emisiones kg CO ₂ /m ² en 50 años	consumo energético kWh/m ²	consumo e. kWh/m ² 50 años	
1 Doble acristalamiento 6+6+6, los vidrios bajo emisivos	40	1,25	51,07	63,84	235,93	294,91	
2 Marco de aluminio con rotura de puente térmico 10%	50	1,00					
3 Masilla de silicona neutra	20	2,50	1,29	3,23	2,43	6,08	
4 Cámara de aire seco de 6 mm de espesor							
5 Herrajes de acero	50	1,00					
6 Premarco tubo acero galv.40x20mm	50	1,00					
Totales	30		52,36	67,06	238,36	300,99	

H2	Carpintería de PVC con rotura de puente térmico	Entradas y salidas mantenimiento corrector					
material	Vida útil	FR	emisiones kg CO ₂ /m ²	emisiones kg CO ₂ /m ² en 50 años	consumo energético kWh/m ²	consumo e. kWh/m ² 50 años	
1 Doble acristalamiento 6+6+6, los vidrios bajo emisivos	40	1,25	51,07	63,84	235,93	294,91	
2 Marco de pvc con tres cámaras	60	1,00					
3 Masilla de silicona neutra	20	2,50	1,29	3,23	2,43	6,08	
4 Cámara de aire seco de 6 mm de espesor.							
5 Herrajes de acero	50	1,00					
6 Premarco tubo acero galv.40x20mm	50	1,00					
Totales	30		52,36	67,06	238,36	300,99	

H3	Carpintería de madera con rotura de puente térmico	Entradas y salidas mantenimiento corrector					
material	Vida útil	FR	emisiones kg CO ₂ /m ²	emisiones kg CO ₂ /m ² en 50 años	consumo energético kWh/m ²	consumo e. kWh/m ² 50 años	
1 Doble acristalamiento 6+6+6, los vidrios bajo emisivos	40,00	1,25	51,07	63,84	235,93	294,91	
2 Marco de madera de densidad media alta	40,00	1,25	3,85	4,81	20,75	25,94	
3 Masilla de silicona neutra	20,00	2,50	1,29	3,23	2,43	6,08	
4 Cámara de aire seco de 6 mm de espesor.							
5 Herrajes de acero	50,00	1,00					
6 Premarco de madera 40x20mm	50,00	1,00					
Totales	30,00		56,21	71,88	259,11	326,93	

Tabla 5.15 Datos de inventario de la fase de mantenimiento.

-Fase de uso

En la fase de uso las entradas son el consumo de las instalaciones de calefacción y de refrigeración y las cargas térmicas del edificio; las salidas son las emisiones de CO₂ producidas por estas instalaciones. Para el cálculo de las emisiones de CO₂ y de los consumos energéticos, se utilizarán las herramientas LIDER y CALENER VYP tal y como se ha justificado en el apartado 5.4.2, que comparan el funcionamiento de un edificio completo con un edificio de referencia.

En lo que respecta a los datos necesarios para el cálculo de las entradas y salidas de esta fase, se utiliza la vivienda descrita en el apartado 5.4.3.2 definida como caso de estudio.

Capítulo 5. DEFINICIÓN DE LA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE LA ENVOLVENTE BASADA EN EL ACV

En primer lugar se recopilarán los datos necesarios para el inventario de la fase de uso que se introducen en la herramienta LIDER y a continuación se identifican los datos necesarios para el funcionamiento de la herramienta CALENER.

Los datos a introducir en el programa LIDER son básicamente los correspondientes a la descripción geométrica del edificio, a su ubicación geográfica y a su orientación. En la figura 5.40 se muestra la modelización de la vivienda caso de estudio.

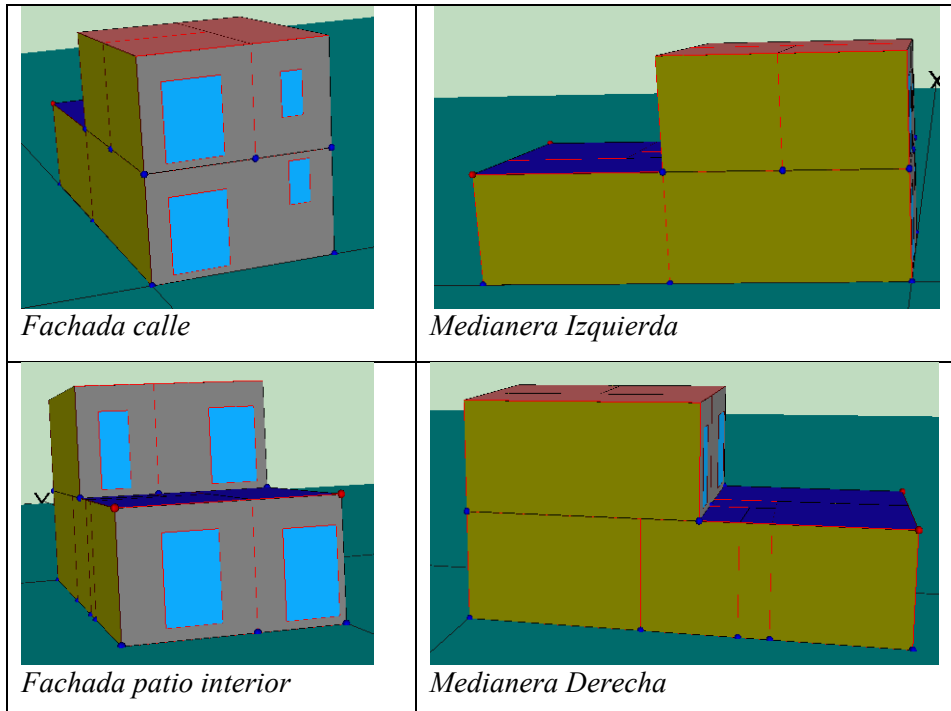


Figura 5.27 Modelización de la vivienda en el programa LIDER

A continuación se introducen los datos relativos a los espacios interiores del caso de estudio recopilados en la tabla 5.3.

Para la selección de las instalaciones necesarias en esta fase, se tienen en cuenta los requisitos mínimos establecidos por el IDAE en cuanto a rendimientos y consumos en una vivienda unifamiliar. En el inventario se recopilan los datos de los equipos y sistemas utilizados para agua caliente sanitaria, calefacción y refrigeración.

En primer lugar, se calculan las cargas térmicas de la vivienda en cada una de las zonas climáticas analizadas (tablas 5.16 y 5.17), que se corresponden con la cantidad de energía térmica, en la unidad de tiempo (potencia térmica) que la vivienda intercambia con el exterior debido a las diferentes condiciones higrotérmicas del interior y del exterior. El cálculo de estas cargas permite disponer los sistemas adecuados de calefacción o refrigeración para compensarlas.

Las cargas se han obtenido a partir del software Calcaire de la Empresa Saunier Duval. Esta herramienta se ha seleccionado por ser un programa de difusión gratuita difundido por una marca de reconocido prestigio en materia de instalaciones.

Capítulo 5. DEFINICIÓN DE LA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE LA ENVOLVENTE BASADA EN EL ACV

A continuación se adjuntan las tablas (tabla 5.16 y 5.17) con los resultados de las cargas térmicas obtenidas en función de cada zona climática.

Vivienda caso de estudio. Zona B3					Refrigeración				Calefacción			Impulsión	
Espacios interiores	Denominación	Nº de Planta	Superficies útiles	Altura libre	Pot. Refrig nominal (kW)	Refrig. sensible (kW)	EER	Consumo refrigeración (kWh)	Calor nominal (kW)	COP	Consumo nominal (kWh)	Ratio aire impulsión	Caudal impulsión (m ³ /h)
			m ²	m									
Dormitorio 1	P01_E01	1	11,8	2,7	1	0,44	3	0,33	0,76	3,2	0,24	200	152
Cocina	P01_E02	1	11,8	2,7	1,6	1,3	3	0,53	1,4	3,2	0,44	200	280
Baño 1	P01_E03	1	4,7	2,7	0,25	0,25	3	0,08	0,37	3,2	0,12	200	74
Salón-comedor	P01_E04	1	32,9	2,7	2,2	2	3	0,73	2	3,2	0,63	200	400
Dormitorio 2	P02_E01	2	9,3	2,7	1,7	1,1	3	0,57	1,7	3,2	0,53	200	340
Dormitorio 3	P02_E02	2	9,2	2,7	1,7	1,4	3	0,57	1,3	3,2	0,41	200	260
Baño 2	P02_E03	2	4,6	2,7	0,54	0,26	3	0,18	0,4	3,2	0,13	200	80
Pasillo	P02_E04	2	9,8	2,7	0,71	0,71	3	0,24	0,75	3,2	0,23	200	150
			93,5	2,7	7,1	5,72		3,23	6,52		2,71		1736

Tabla 5.16 Cálculo de cargas térmicas de la vivienda en la zona B3

Resumen de datos.

- Potencia total de refrigeración nominal: 7,10kW.
- Potencia sensible de refrigeración nominal: 5,72 kW
- Potencia eléctrica nominal consumida en refrigeración (consumo): 3,23 kW
- Potencia calorífica nominal (capacidad): 6,52 kW
- Potencia eléctrica nominal absorbida en calefacción (consumo): 2,71 kW
- Caudal de aire de impulsión nominal: 1736 m³/h.

Vivienda caso de estudio. Zona E1					Refrigeración				Calefacción			Impulsión	
Espacios interiores	Denominación de cada espacio	Nº de Planta	Superficies útiles	Altura libre	Pot. Refrig nominal (kW)	Refrig. sensible (kW)	EER	Consumo refrigeración (kWh)	Calor nominal (kW)	COP	Consumo nominal (kWh)	Ratio aire impulsión	Caudal impulsión (m ³ /h)
			m ²	m									
Dormitorio 1	P01_E01	1	11,8	2,7	0,51	0,44	3	0,17	1,15	3,2	0,36	200	230
Cocina	P01_E02	1	11,8	2,7	0,48	0,38	3	0,16	0,73	3,2	0,23	200	146
Baño 1	P01_E03	1	4,7	2,7	0,24	0,23	3	0,08	0,4	3,2	0,13	200	80
Salón-comedor	P01_E04	1	32,9	2,7	2,3	2,1	3	0,77	2,4	3,2	0,75	200	480
Dormitorio 2	P02_E01	2	9,3	2,7	1,45	1,39	3	0,48	2,3	3,2	0,72	200	460
Dormitorio 3	P02_E02	2	9,2	2,7	0,84	0,81	3	0,28	1,7	3,2	0,53	200	340
Baño 2	P02_E03	2	4,6	2,7	0,29	0,25	3	0,1	0,6	3,2	0,19	200	120
Pasillo	P02_E04	2	9,8	2,7	0,45	0,44	3	0,15	0,9	3,2	0,28	200	180
			93,5	2,7	5,57	5,22		1,86	8,3		2,59		2036

Tabla 5.17 Cálculo de cargas térmicas de la vivienda en la zona E1

Resumen de datos.

- Potencia total de refrigeración nominal: 5,57kW.
- Potencia sensible de refrigeración nominal: 5,22 kW
- Potencia eléctrica nominal consumida en refrigeración (consumo): 1,86 kW
- Potencia calorífica nominal (capacidad): 8,30 kW
- Potencia eléctrica nominal absorbida en calefacción (consumo): 2,59 kW
- Caudal de aire de impulsión nominal: 2036 m³/h.

Se han considerado las capacidades de las máquinas en las condiciones EUROVENT (temperatura exterior, temperatura interior, etc.) utilizadas en Europa por todos los fabricantes de sistemas de climatización y que son para refrigeración: temperatura interior 27°CBS (bulbo seco), 19°CBS (bulbo húmedo); temperatura exterior 35°CBS y para calefacción: temperatura interior 20°CBS; temperatura exterior 7°CBS, 6°CBS.

A continuación se describen los equipos seleccionados para las instalaciones para llevar a cabo el estudio:

- Para el agua caliente sanitaria se ha elegido una caldera de gas natural de caudal instantáneo con una potencia de 24 kW.
- Para la calefacción se ha seleccionado un sistema de calefacción multizona por agua y una caldera de condensación. Se crearán tantas unidades terminales de agua caliente como espacios a calefactar existen en la vivienda.
- Para la refrigeración se ha elegido un sistema unizona de expansión directa aire-aire solo frío, consistente en un solo equipo que suministra energía a las unidades terminales ubicadas en cada espacio. Se instalará la unidad exterior en la terraza y las unidades terminales de expansión directa en cada uno de los espacios interiores de la vivienda.

Una vez definidas las instalaciones, mediante la opción “Calcular”, el programa ofrece resultados relativos al consumo energético (kWh/m² y kWh/año) y a las emisiones (kg CO₂/m² y kg CO₂/año).

Los resultados obtenidos con las herramientas de simulación energética vinculados a las soluciones constructivas analizadas, se incorporan como datos de inventario en la fase uso.

5.4.4.2.2 Requisitos de calidad de los datos

Según el Instituto tecnológico de la edificación de Catalunya (ITeC), la obtención de los datos relativos a los consumos energéticos y a las emisiones de CO₂ de la base de datos del BEDEC 2013 ha sido posible gracias a la colaboración del Instituto Catalán de la Energía (ICAEN), los Departamentos de Construcción arquitectónica I y II de la UPC y el Centro Tecnológico de la Construcción (IMat), quien realizó una revisión de los datos a partir del análisis de diferentes bases de datos europeas y de estudios relativos a la energía contenida en los materiales y las emisiones de CO₂ asociadas.

En cuanto a los datos relativos a los residuos generados; el módulo TCQGMA recoge datos de los residuos generados peligrosos, inertes y no peligrosos durante el proceso de fabricación y puesta en obra (todos ellos referidos a las unidades m³ y kg), diferenciando entre los residuos de los materiales de los residuos debidos a los embalajes utilizados.

En este caso, los datos que utiliza la herramienta TCQ 2000 se han obtenido gracias a la colaboración de la Junta de Residuos de la Generalitat de Cataluña.

Los datos que utiliza la herramienta LIDER, para la verificación de la exigencia de Limitación de Demanda Energética (HE1), establecida en el Documento Básico de Ahorro de Energía del Código Técnico de la Edificación se han obtenido del catálogo de elementos constructivos del CTE. Tal y como se ha explicado en el apartado 5.4.2, LIDER realiza una simulación de la demanda energética, comparando la demanda del edificio objeto con la que tendría un edificio de referencia en las condiciones estándar requeridas por la certificación energética en España, y permite obtener información sobre la demanda de energía tanto para calefacción como para refrigeración.

Todos los equipos seleccionados para las instalaciones cumplen la normativa vigente en España (CTE y RITE), garantizando el confort de los usuarios y una adecuada relación calidad precio equivalente entre ellos y todos han sido seleccionados de la base de datos de CALENER.

Capítulo 5. DEFINICIÓN DE LA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE LA ENVOLVENTE BASADA EN EL ACV

5.4.4.3 Evaluación del impacto en cada fase.

A continuación se define el método de evaluación del impacto utilizado en cada fase.

5.4.4.3.1 Evaluación del impacto en fase fabricación y puesta en obra.

Para llevar a cabo la evaluación del impacto de la fase de fabricación y puesta en obra, se ha utilizado según se ha justificado en el apartado 5.4.2, el programa TCQ2000.

El programa TCQ2000 se inicia definiendo tantos capítulos como elementos constructivos van a ser evaluados. A cada capítulo se le ha asignado el nombre del elemento constructivo según el código establecido en el análisis de inventario descrito en el apartado 5.4.4.2.1. Por ejemplo C1 es la cubierta plana caliente convencional.

A continuación se muestra el procedimiento seguido para evaluar la cubierta C1. En la base de datos BEDEC 2013, que el programa tiene instalada por defecto, se seleccionan uno a uno todos los elementos que componen esta cubierta.

Para obtener los datos correspondientes a los componentes del elemento constructivo, se ha considerado 1m^2 de superficie construida de dicho elemento. La herramienta TCQ2000 asocia a cada elemento, la tipología y la cantidad de los materiales constitutivos que lo componen. Para visualizar los componentes de la cubierta C1, se selecciona este elemento y se despliega una pantalla con la cantidad de baldosa, adhesivo y lechada necesarios para constituir la unidad de obra indicada; en cada uno de los niveles aparecerá la descripción correspondiente de los componentes, medios auxiliares, mano de obra y rendimientos que conforman esta cubierta (figura 5.28).

The screenshot shows the TCQ 4.0.184 software interface. The main window displays a list of materials for the selected element 'C1 - cubierta plana caliente continua transitable'. The materials are listed with their codes, units, and descriptions. A detailed view of the selected material 'B0542203' (Lechada p/cerámica CG2 UNE) is shown, including its composition and associated costs.

Código	U.M.	Descripción	Precio	Cantidad	Importe
A0144000	h	Peón	16,70000	0,0000	0,49500
A0137000	h	Ayudante colocador	17,16000	0,2000	3,43200
A0127000	h	Oficial 1º colocador	18,43000	0,5000	9,21500
B0542203	m2	Baldosa gris porcelanada	15,33000	1,0000	15,32640
B0711025	kg	Adhesivo cementoso C2 E S1 JL	0,90000	7,0035	6,30315
B0542203	kg	Lechada p/cerámica CG2 UNE	0,82000	1,4250	1,16650

Figura 5.28 Materiales constitutivos que la integran la cubierta C1

El consumo de agua aparece como un dato más en la descomposición de los materiales que integran cada elemento constructivo, tal y como se observa en la figura 5.29.

Capítulo 5. DEFINICIÓN DE LA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE LA ENVOLVENTE BASADA EN EL ACV

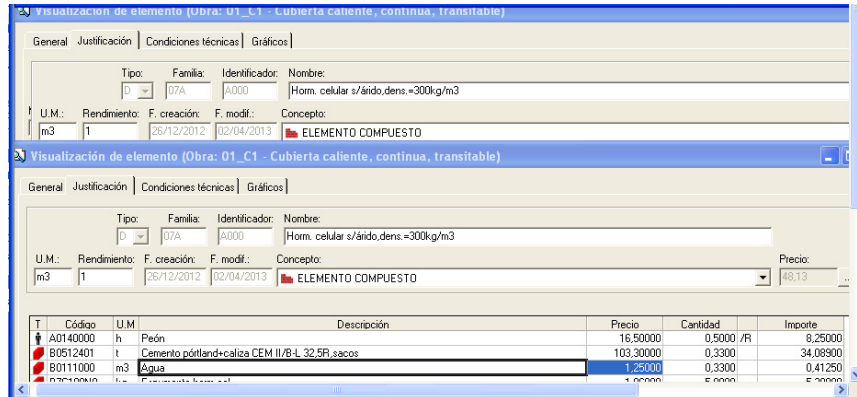


Figura 5.29 Obtención del consumo de agua.

El módulo TCQ GMA se inicia seleccionando cada uno de los elementos constructivos a evaluar. Siguiendo con el ejemplo de la cubierta C1; se ha seleccionado este elemento y se ha dado a la opción “Adaptar” con la finalidad de que este elemento se adapte a la información ambiental de la base BEDEC 2013. Los resultados correspondientes a los impactos: consumo de energía, emisiones de CO₂ por unidad de peso, residuos peligrosos y no peligrosos generados durante las fases de fabricación y puesta en obra se obtienen en forma de tablas que son exportables a Excel (Tabla 5.18)

Energía	MJ fabricación	MJ/m ²	%N	%T	MJ construcción	MJ/m ²
TOTAL	967,16	967,16	100,00	100,00	24,69	24,69
Fachada ventilada, ext gres	967,16	967,16	100,00	100,00	24,69	24,69
Emisiones de CO2	kg CO2 fabricación	kg CO2/m ²	%N	%T	kg CO2 construcción	kg CO2/m ²
TOTAL	72,53	72,53	100,00	100,00	3,60	3,60
Fachada ventilada, ext gres	72,53	72,53	100,00	100,00	3,60	3,60

Residuos obra (peso)	kg inertes	kg/m ²	%N	%T	kg no peligrosos (no especiales)	kg/m ²	%N	%T	kg peligrosos (especiales)
TOTAL	9,78	9,78	100,00	99,36	0,063	0,063	100,00	0,64	
Fachada ventilada, ext gres	9,78	9,78	100,00	99,36	0,063	0,063	100,00	0,64	
Residuos obra (volumen)	m ³ inertes	m ³ /m ²	%N	%T	m ³ no peligrosos (no especiales)	m ³ /m ²	%N	%T	m ³ peligrosos (especiales)
TOTAL	0,0079	0,0079	100,00	11,10	0,063	0,063	100,00	88,90	
Fachada ventilada, ext gres	0,0079	0,0079	100,00	11,10	0,063	0,063	100,00	88,90	
Embalaje (peso)	kg inertes	kg/m ²	%N	%T	kg no peligrosos (no especiales)	kg/m ²	%N	%T	kg peligrosos (especiales)
TOTAL					1,14	1,14	100,00	87,37	0,16
Fachada ventilada, ext gres					1,14	1,14	100,00	87,37	0,16
Embalaje (volumen)	m ³ inertes	m ³ /m ²	%N	%T	m ³ no peligrosos (no especiales)	m ³ /m ²	%N	%T	m ³ peligrosos (especiales)
TOTAL					0,0054	0,0054	100,00	96,89	1,75E-04
Fachada ventilada, ext gres					0,0054	0,0054	100,00	96,89	1,75E-04

Tabla 5.18 Obtención de resultados medioambientales de la cubierta C1 fase de fabricación.

Normalmente, los indicadores desarrollados para evaluar el impacto debido a los residuos en el sector de la edificación han relacionado el volumen de los residuos generados (m³) con la superficie del elemento construido (m²). Esto es lógico ya que permite estimar para obras de similares características, cuál es el residuo total generado una vez conocida la superficie construida del proyecto (Del Río et al., 2010). Ahora bien, dado que esta tesis pretende desarrollar un modelo de evaluación basado en indicadores para obtener puntuaciones que se puedan cuantificar sobre una base de unidad funcional, incluyendo la fase uso del edificio, se ha calculado un Factor de superficie (Fs), para cada elemento constructivo dividiendo la superficie total del

Capítulo 5. DEFINICIÓN DE LA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE LA ENVOLVENTE BASADA EN EL ACV

elemento constructivo por la superficie útil total de la vivienda, para obtener los resultados sobre la unidad funcional considerada, es decir, 1 m² de superficie útil. En la tabla 5.19 se muestran los resultados obtenidos para el Factor de superficie de la vivienda adosada utilizada como caso de estudio.

TIPOLOGÍA	Superficie útil en m ²	Superficie construida de cubierta en m ²	Superficie construida de fachada en m ²	Superficie construida de huecos en m ²	Fscub	Fsfac	Fscar
Vivienda adosada (caso de estudio)	93,5	67,5	50	15,65	0,72	0,53	0,17

Tabla 5.19 Obtención del factor de superficie a partir de las superficies construidas.

El procedimiento descrito para evaluar los impactos de la fase de fabricación y puesta en obra de la cubierta C1 se ha realizado para los 11 elementos constructivos descritos en el apartado 5.4.4.1.1. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 6.1 del capítulo 6 y se han utilizado como datos de inventario en la fase de fabricación y puesta en obra.

5.4.4.3.2 Evaluación del impacto en fase de mantenimiento

Para llevar a cabo la evaluación de los impactos correspondientes a la fase del mantenimiento corrector se ha utilizado el programa TCQ2000; ahora bien, esta herramienta no incorpora datos por defecto relativos a los impactos de la fase de mantenimiento; así pues, los datos de inventario se han obtenido aparte según se ha explicado en el apartado 5.4.4.2.1 asignando a cada uno de los materiales componentes del elemento constructivo, un factor de reacondicionamiento F_R . Para obtener los impactos producidos durante la fase de mantenimiento de cada elemento constructivo; se han identificado los materiales integrantes de este elemento cuyo F_R es superior a 1. Así pues, continuando con el ejemplo de la cubierta C1, se observa que los materiales que tienen esta característica son: el mortero de áridos ligeros de agarre, el Geotextil de polipropileno de 125 gr/m², y las láminas de oxiasfalto LO-40/FV (tabla 5.20)

C1	Cubierta plana, caliente, continua, convencional, transitable		
	material	Vida útil	FR
1	P_ Capa de protección solado fijo mediante baldosa de gres	50	1
2	MA_ Mortero de áridos ligeros de agarre o nivelación	37	1,351
3	Csa_ Geotextil de polipropileno de 125 gr/m ²	30	1,667
4	I_ Dos láminas de oxiasfalto LO-40/FV	23	2,174
5	Cs_ Geotextil de polipropileno de 125 gr/m ²	30	1,667
6	AT_ Aislamiento térmico de XPS con CO ₂ [0.038 W/mK]	60	1
7	B_ Betún fieltro o lámina (Barrera de vapor)	61	1
8	FP_ Formación de pendiente hormigón celular	50	1
9	SR_ Soporte resistente con entrevigado cerámico	50	1
10	RI_ Enlucido de yeso	46	1,087
Totales		78	

Tabla 5.20 Materiales integrantes de la Cubierta C1 y su factor de reacondicionamiento.

Cada uno de estos materiales se ha introducido como un capítulo independiente en TCQ2000, a continuación cada material se ha seleccionado desde el módulo TCQGMA y se ha adaptado a la base BEDEC 2013 para evaluar sus impactos. Los resultados

obtenidos del impacto de la fabricación del material se han multiplicado por el correspondiente F_R y se han incorporado como datos de inventario para la fase de mantenimiento (tabla 5.15)

5.4.4.3.3 Evaluación del impacto en fase de uso

Para llevar a cabo la evaluación del impacto de la fase de uso, se ha utilizado el programa LIDER y el programa CALENER VYP, según se ha explicado en el apartado 5.4.2 de este capítulo. El programa LIDER se ha iniciado introduciendo la información requerida del caso de estudio utilizando los datos de inventario recopilados en las tablas 5.11 y 5.12.

CALENER VYP se inicia desde una opción que existe en la propia herramienta LIDER. Al seleccionar esta opción, se conservan todos los datos introducidos hasta el momento, tanto los datos geométricos del edificio, como los datos relativos a la definición de los elementos constructivos, así como todas las variables consideradas para el cálculo. A continuación se han introducido las instalaciones: en primer lugar las del agua caliente sanitaria y seguidamente se han definido los sistemas de climatización (calefacción y refrigeración), habiendo calculado previamente las cargas térmicas del edificio en cada uno de sus espacios interiores tal y como se ha explicado en el apartado 5.4.4.2.1.

Seguidamente, para determinar el grado de influencia existente entre los elementos constructivos de la envolvente durante la fase de uso y los condicionantes exteriores del edificio, esta evaluación se ha repetido para las 45 combinaciones de soluciones constructivas descritas en el apartado 5.4.4.1.1, en las dos zonas climáticas y en las dos orientaciones definidas realizando un total de 180 simulaciones. Esta evaluación se realiza considerando fijos los parámetros correspondientes a las variables definidas en el apartado 5.4.4.1.4 y resumidas en la tabla 5.6.

La herramienta CALENER VYP se utilizará para determinar las demandas energéticas de calefacción y refrigeración, los consumos de energía final y primaria y las emisiones de CO₂ del edificio en estudio durante su fase uso. La demanda energética estimada será atendida mediante el uso de sistemas y dispositivos que consumen una determinada cantidad de energía y dependiendo del tipo de recurso a consumir, tendrán unos determinados impactos ambientales asociados.

En la tabla 5.21 se muestra una parte de los resultados obtenidos con el programa CALENER VYP para las diferentes combinaciones de la envolvente en la zona climática B3 y orientación Noreste; estos resultados se incorporarán al análisis de inventario.

Capítulo 5. DEFINICIÓN DE LA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE LA ENVOLVENTE BASADA EN EL ACV

ZONA CLIMÁTICA B3- $\alpha=45^\circ$ orientación NE-SO											
C1F1₅H1				C1F1₅H2				C1F1₅H3			
		Edificio Objeto				Edificio Objeto				Edificio Objeto	
Demandas	kWh/m²	kWh/año		Demandas	kWh/m²	kWh/año		Demandas	kWh/m²	kWh/año	
Calefacción	39,7	3714,1		Calefacción	38,7	3620,6		Calefacción	38,7	3620,6	
Refrigeración	14,1	1319,1		Refrigeración	14,2	1328,5		Refrigeración	14,2	1328,5	
		Edificio Objeto				Edificio Objeto				Edificio Objeto	
Consumos Energía Final	kWh/m²	kWh/año		Consumos Energía Final	kWh/m²	kWh/año		Consumos Energía Final	kWh/m²	kWh/año	
Calefacción	42,5	3973,5		Calefacción	41,4	3877,1		Calefacción	41,4	3877,1	
Refrigeración	7,4	688,9		Refrigeración	7,4	693,3		Refrigeración	7,4	693,3	
ACS	11,7	1096,5		ACS	11,7	1096,5		ACS	11,7	1096,5	
Total	61,6	5758,8		Total	60,6	5666,8		Total	60,6	5666,8	
		Edificio Objeto				Edificio Objeto				Edificio Objeto	
Consumos Energía Primaria	kWh/m²	kWh/año		Consumos Energía Primaria	kWh/m²	kWh/año		Consumos Energía Primaria	kWh/m²	kWh/año	
Calefacción	42,9	4017,2		Calefacción	41,9	3919,8		Calefacción	41,9	3919,8	
Refrigeración	19,2	1793,2		Refrigeración	19,3	1804,6		Refrigeración	19,3	1804,6	
ACS	11,9	1108,5		ACS	11,9	1108,5		ACS	11,9	1108,5	
Total	74,0	6918,9		Total	73,0	6832,9		Total	73,0	6832,9	
		Edificio Objeto				Edificio Objeto				Edificio Objeto	
Emisiones	kgCO₂/m²	kgCO₂/año		Emisiones	kgCO₂/m²	kgCO₂/año		Emisiones	kgCO₂/m²	kgCO₂/año	
Calefacción	8,7	813,9		Calefacción	8,5	795,2		Calefacción	8,5	795,2	
Refrigeración	4,8	449,1		Refrigeración	4,8	449,1		Refrigeración	4,8	449,1	
ACS	2,4	224,5		ACS	2,4	224,5		ACS	2,4	224,5	
Total	15,9	1487,5		Total	15,7	1468,8		Total	15,7	1468,8	
C1F2₅H1				C1F2₅H2				C1F2₅H3			
		Edificio Objeto				Edificio Objeto				Edificio Objeto	
Demandas	kWh/m²	kWh/año		Demandas	kWh/m²	kWh/año		Demandas	kWh/m²	kWh/año	
Calefacción	39,0	3646,6		Calefacción	38,0	3555,1		Calefacción	38,0	3555,1	
Refrigeración	14,1	1319,1		Refrigeración	14,2	1328,5		Refrigeración	14,2	1328,5	
		Edificio Objeto				Edificio Objeto				Edificio Objeto	
Consumos Energía Final	kWh/m²	kWh/año		Consumos Energía Final	kWh/m²	kWh/año		Consumos Energía Final	kWh/m²	kWh/año	
Calefacción	41,7	3904,6		Calefacción	40,8	3815,8		Calefacción	40,8	3815,8	
Refrigeración	7,4	689,7		Refrigeración	7,4	693,9		Refrigeración	7,4	693,9	
ACS	11,7	1096,5		ACS	11,7	1096,5		ACS	11,7	1096,5	
Total	60,8	5690,8		Total	59,9	5606,2		Total	59,9	5606,2	
		Edificio Objeto				Edificio Objeto				Edificio Objeto	
Consumos Energía Primaria	kWh/m²	kWh/año		Consumos Energía Primaria	kWh/m²	kWh/año		Consumos Energía Primaria	kWh/m²	kWh/año	
Calefacción	42,2	3947,6		Calefacción	41,2	3857,8		Calefacción	41,2	3857,8	
Refrigeración	19,2	1795,3		Refrigeración	19,3	1806,3		Refrigeración	19,3	1806,3	
ACS	11,9	1108,5		ACS	11,9	1108,5		ACS	11,9	1108,5	
Total	73,2	6851,4		Total	72,4	6772,6		Total	72,4	6772,6	
		Edificio Objeto				Edificio Objeto				Edificio Objeto	
Emisiones	kgCO₂/m²	kgCO₂/año		Emisiones	kgCO₂/m²	kgCO₂/año		Emisiones	kgCO₂/m²	kgCO₂/año	
Calefacción	8,5	795,2		Calefacción	8,3	776,5		Calefacción	8,3	776,5	
Refrigeración	4,8	449,1		Refrigeración	4,8	449,1		Refrigeración	4,8	449,1	
ACS	2,4	224,5		ACS	2,4	224,5		ACS	2,4	224,5	
Total	15,7	1468,8		Total	15,5	1450,1		Total	15,5	1450,1	
C1F2₁₀H1				C1F2₁₀H2				C1F2₁₀H3			
		Edificio Objeto				Edificio Objeto				Edificio Objeto	
Demandas	kWh/m²	kWh/año		Demandas	kWh/m²	kWh/año		Demandas	kWh/m²	kWh/año	
Calefacción	34,8	3255,7		Calefacción	33,9	3171,5		Calefacción	33,9	3171,5	
Refrigeración	13,5	1263,0		Refrigeración	13,9	1300,4		Refrigeración	13,9	1300,4	
		Edificio Objeto				Edificio Objeto				Edificio Objeto	
Consumos Energía Final	kWh/m²	kWh/año		Consumos Energía Final	kWh/m²	kWh/año		Consumos Energía Final	kWh/m²	kWh/año	
Calefacción	37,7	3527,9		Calefacción	36,6	3425,3		Calefacción	36,6	3425,3	
Refrigeración	7,1	667,9		Refrigeración	7,3	685,1		Refrigeración	7,3	685,1	
ACS	11,7	1096,5		ACS	11,7	1096,5		ACS	11,7	1096,5	
Total	56,6	5292,2		Total	55,7	5206,9		Total	55,7	5206,9	
		Edificio Objeto				Edificio Objeto				Edificio Objeto	
Consumos Energía Primaria	kWh/m²	kWh/año		Consumos Energía Primaria	kWh/m²	kWh/año		Consumos Energía Primaria	kWh/m²	kWh/año	
Calefacción	38,1	3566,7		Calefacción	37,0	3463,0		Calefacción	37,0	3463,0	
Refrigeración	18,6	1738,6		Refrigeración	19,1	1783,4		Refrigeración	19,1	1783,4	
ACS	11,9	1108,5		ACS	11,9	1108,5		ACS	11,9	1108,5	
Total	68,6	6413,8		Total	67,9	6354,9		Total	67,9	6354,9	
		Edificio Objeto				Edificio Objeto				Edificio Objeto	
Emisiones	kgCO₂/m²	kgCO₂/año		Emisiones	kgCO₂/m²	kgCO₂/año		Emisiones	kgCO₂/m²	kgCO₂/año	
Calefacción	7,7	720,4		Calefacción	7,5	701,7		Calefacción	7,5	701,7	
Refrigeración	4,6	430,4		Refrigeración	4,8	449,1		Refrigeración	4,8	449,1	
ACS	2,4	224,5		ACS	2,4	224,5		ACS	2,4	224,5	
Total	14,7	1375,3		Total	14,7	1375,3		Total	14,7	1375,3	

Tabla 5.21 Resultados obtenidos con el programa CALENER para diferentes combinaciones de la envolvente en la zona climática B3

5.4.4.3.4 Evaluación del coste económico

Para poder tomar decisiones en cuanto a la sostenibilidad de una determinada solución constructiva es de gran interés poder comparar el coste generado en fase de fabricación y puesta en obra y el coste del mantenimiento de las soluciones constructivas evaluadas. Un edificio sostenible, para serlo realmente, debe tener un coste económico menor que un edificio convencional y debe tener menos coste de mantenimiento (Garrido, L. 2010); así mismo es interesante comparar estos costes con los vinculados a los consumos energéticos debidos a las soluciones constructivas a lo largo del ciclo de vida completo del edificio.

A continuación se define el procedimiento que se ha seguido para la valoración de los costes en fase de fabricación, puesta en obra y mantenimiento; así como el procedimiento que se ha seguido para la valoración de los costes energéticos vinculados a las soluciones constructivas de la envolvente durante todo el ciclo de vida considerado.

i. El coste de inversión en fase de fabricación y puesta en obra

Para la obtención del valor de la inversión de la construcción, se puede hablar de dos procedimientos:

1. Sintético: Se obtiene un valor por m² construido de la tipología constructiva que se valora.
2. Analítico: Mediante presupuesto de obra. Es el método que se ajusta más a la realidad, puesto que se adapta al caso particular a valorar, pero es el más costoso y además es difícil de obtener en obras ya realizadas.

Para obtener la valoración de las diferentes soluciones constructivas mediante el procedimiento analítico, se podría aplicar el método de coste, que permite calcular el Presupuesto de contrata (PEC).

El PEC tiene tres componentes, definidos a continuación, y se calcula según la siguiente expresión:

$$PEC = PEM + GG + BI \quad [1]$$

siendo,

PEM= Presupuesto de Ejecución Material

GG= Gastos Generales de la construcción

BI= Beneficio Industrial de la construcción

En este estudio no se tiene en cuenta el IVA.

El Presupuesto de Ejecución Material (PEM) se obtiene como consecuencia de los materiales, maquinaria y mano de obra necesarios para llevar a cabo la construcción.

Los componentes de gastos GG y beneficios BI de la promoción, no están relacionados con los costes de construcción propiamente dichos. Por tanto, para estimar el coste de

Capítulo 5. DEFINICIÓN DE LA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE LA ENVOLVENTE BASADA EN EL ACV

la inversión se utiliza el PEM, que resultará de la aplicación de unos precios a unas mediciones

PEM = Precio x Medición

En la determinación de los precios hay que analizar dos componentes:

- Costes directos
- Costes indirectos

Los costes directos son los que inciden directamente en el proceso constructivo y son imputables directamente a las diferentes unidades de obra. Están compuestos por la mano de obra directa, maquinaria directa y materiales. Se obtienen aplicando al coste unitario de cada componente el rendimiento o cantidad en que interviene en el mismo. La suma de los valores obtenidos de todos los elementos que lo componen, dará su precio de coste directo. Los costes indirectos lo forman aquellos, que siendo necesarios para la obra, no se imputan directamente a las unidades de obra, sino que se repercuten en forma de porcentaje a cada una de ellas. Lo habitual en la fase de proyecto es asignar un porcentaje estimativo sobre los costes directos. Los gastos que debemos incluir en este apartado son: mano de obra indirecta, medios auxiliares y gastos generales de obra.

El precio de ejecución material se calcula aplicando al coste directo el porcentaje de costes indirectos. Si a estos precios resultantes se les aplica la correspondiente medición se consigue el Presupuesto de Ejecución Material. Así pues, para la valoración del coste de inversión de cada solución constructiva, se realiza un presupuesto valorativo detallado, que se estructura en los siguientes apartados:

Estado nº 1 - Mediciones

Estado nº 2 - Precios

- Cuadro nº 1- Precios unitarios y complejos de todas las unidades de obra
- Cuadro nº 2- Descomposición precios unitarios y complejos
- Cuadro nº 3- Precios de los materiales
- Cuadro nº 4- Precios de la mano de obra
- Cuadro nº 5- Precios de la maquinaria a utilizar para la ejecución de la obra

Estado nº 3 - Aplicación de precios

- Cuadro nº 1- Aplicación precios a la medición
- Cuadro nº 2- Resumen general por capítulos que nos dará el Presupuesto de Ejecución Material

Los presupuestos se organizan en una estructura jerárquica de niveles siendo el último de ellos la línea de presupuesto. A cada línea se le asigna un precio procedente de una base de datos y una medición.

La elección de la herramienta TCQ2000 para la valoración de los costes de inversión y de mantenimiento de las soluciones constructivas se ha justificado en el apartado 5.4.2. En este programa, los presupuestos se organizan en una estructura jerárquica de niveles siendo el último de ellos la línea de presupuesto. A cada línea se le asigna un precio

Capítulo 5. DEFINICIÓN DE LA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE LA ENVOLVENTE BASADA EN EL ACV

procedente del banco o base de datos BEDEC 2013 y una medición (directa o detallada).

Las diferentes soluciones constructivas analizadas podrían variar de precio en función de la base de datos utilizada e incluso de la zona climática, pero la variación no resulta significativa para la obtención de los resultados que se pretenden alcanzar en este estudio. En cualquier caso, la misma base de datos se va a aplicar a todos los presupuestos y es la comparación entre ellos lo que interesa en esta investigación.

Los resultados se han obtenido para 1m² de superficie construida de cada uno de los elementos que componen la envolvente.

El importe total de los costes de fabricación y puesta en obra es calculado automáticamente por la herramienta TCQ2000 una vez se han seleccionado los componentes de la base de datos del BEDEC2012 y se han introducido las mediciones correspondientes. En la tabla 5.22 se muestra el coste de inversión de 1m² de cubierta plana caliente continua convencional C1 listado directamente por el programa.

NUM	CÓDIGO	UM	DESCRIPCIÓN	PRECIO	MEDICIÓN	IMPORTE
1	E9DCAP3H	m2	Pavimento exterior, de baldosa de gres porcelánico prensado esmaltado, grupo B1a (UNE-EN 14411), de forma rectangular o cuadrada, precio medio, de 16 a 25 piezas/m ² , colocadas con adhesivo para baldosa cerámica C2-E S1 (UNE-EN 12004) y rejuntado con lechada C62 (UNE-EN 13888) (P - 10)	36.44	1.000	36.44
2	E71W864	m2	Membrana para impermeabilización de cubiertas PA-3 según UNE 104402 de 12.9 kg/m ² de tres láminas bituminosas LD-30-FV con armadura de fieltro de fibra de vidrio de 60 g/m ² , adheridas con oxiasfalto OA 90/40 previa imprimación (P - 3)	33.12	1.000	33.12
3	E78C378D	m2	Geotextil formado por filetro de polipropileno/polietileno no tejido ligado térmicamente de 110 a 130 g/m ² , colocado sin adherir (P - 6)	2.14	1.000	2.14
4	E7C2B531	m2	Aislamiento de plancha de poliestireno extruido (XPS) UNE-EN 13164 de 50 mm de espesor y resistencia a compresión >= 500 kPa, resistencia térmica entre 1.471 y 1.351 m ² .K/W, con la superficie lisa y con canto machihembrado, colocada sin adherir (P - 7)	8.20	1.000	8.20
5	E784518D	m2	Geotextil formado por filetro de poliéster no tejido ligado mecánicamente de 110 a 130 g/m ² , colocado sin adherir (P - 5)	1.58	1.000	1.58
6	E7A1210N	m2	Barrera de vapor/estanqueidad con una película de emulsión bituminosa tipo EB, con una dotación <= 2 kg/m ² , aplicada en dos capas (P - 4)	4.62	1.000	4.62
7	ESZ15N30	m2	Formación de pendientes con hormigón celular sin árido, de densidad 300 kg/m ³ , de 12.5 cm de espesor medio (P - 2)	10.16	1.000	10.16
8	14LHN68F	m2	Forjado de 25+5 cm, para una sobrecarga (uso+permanentes) de 4 a 5 kN/m ² , con bovedilla de cerámica y semiviguetas de hormigón pretensado, interejos 0.7 m, luz 5 a 7 m, con una cuantía de 5 kg/m ² de armadura AP500 S de acero en barras corrugadas, AP500 T en mallas electrosoldadas de 15x30 cm, 6 y 6 mm de D, y una cuantía de 0.09 m ³ /m ² de hormigón HA-25/P/20/1 vertido con cubilote (P - 1)	42.71	1.000	42.71
9	EB1Z131Z	m2	Enyesado a buena vista sobre paramento horizontal interior, a 3.00 m de altura, como máximo, con yeso B1 acabado enlucido con yeso C6 según la norma UNE-EN 13279-1 (P - 8)	5.64	1.000	5.64
10	E93AH175	m2	Recrecido y nivelación del soporte de 30 mm de espesor, con pasta autonivelante de cemento tipo CT-C40-F6-A22 según UNE-EN 13813, aplicada manualmente (P - 9)	92.21	1.000	92.21
TOTAL CAPÍTULO			01.C1			236.82

Tabla 5.22 Coste de fabricación y puesta en obra de 1m² de cubierta planta caliente continua convencional C1 listado directamente por el programa TCQ2000

ii. El coste de mantenimiento

Mantenimiento y coste de mantenimiento son conceptos inseparables. Los costes de mantenimiento son bastante menores que los costes de fabricación y puesta en obra. Para calcular adecuadamente los costes del mantenimiento de un edificio se deberían considerar los costes administrativos, los costes de funcionamiento (explotación), los costes de limpieza y los costes de sustitución (mantenimiento corrector). Ahora bien, para llevar a cabo esta investigación, únicamente se ha valorado el mantenimiento corrector tal y como se ha justificado en el apartado 5.4.4.1.5. Este mantenimiento hace referencia a la sustitución o reemplazamiento de los elementos constructivos. Para calcular los costes correspondientes en este caso, se ha aplicado el mismo procedimiento descrito en el apartado anterior, considerando únicamente los materiales que deberán ser sustituidos a lo largo del periodo de 50 años.

iii. Costes vinculados a los consumos energéticos

El coste de la energía (CENER), dependerá de la fuente de energía utilizada, y se expresa como:

$$\text{CENER} = \text{CEL} + \text{CGN} + \text{CBIO}$$

donde,

CEL: Coste por consumo de energía eléctrica

CGN: Coste por consumo de gas natural

CBIO: Coste por consumo de biomasa

A continuación se explica el procedimiento para obtener la valoración del coste de energía eléctrica CEL

CEL: Coste por consumo de energía eléctrica

Para una vivienda hay que hablar de dos términos diferentes: uno fijo que depende de la potencia contratada y otro que varía en función del consumo. La expresión matemática del coste anual de la electricidad es la siguiente:

$$\text{CEL} = \alpha + T_p \times (1 + 0,0486 \times P) + T_e \times (1 + 0,0486 \times \beta) \quad [1]$$

dónde,

α = Alquiler del contador= 6,8401 €/año

T_p = Término de potencia, en €/año

T_e = Término consumo, en €/año

β = Impuesto sobre electricidad= 1,05113

P= potencia contratada en kW

Para potencia contratada inferior a 10 kW, el término de potencia se calcula:

$$T_p = P \times 20,633129 \quad [2]$$

El término de consumo viene dado por la expresión:

Capítulo 5. DEFINICIÓN DE LA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE LA ENVOLVENTE BASADA EN EL ACV

$$Te = C \times 0,181126 \quad [3]$$

donde,

C= consumo en kWh

0,181126 = es el precio del kW de potencia consumida en €/kW, teniendo en cuenta las tarifas de electricidad vigentes para el periodo del estudio que se han obtenido a partir de los datos que se muestran en la figura 5.30. En ningún caso está incluido el IVA por el valor de la tarifa.

Sustituyendo las expresiones [2] y [3] en la expresión [1] queda del modo siguiente:

$$CEL = 6,8401 + P \times 20,633129 \times (1 + 0,0486 \times P) + C \times 0,181126 \times (1 + 0,0486 \times 1,05113)$$

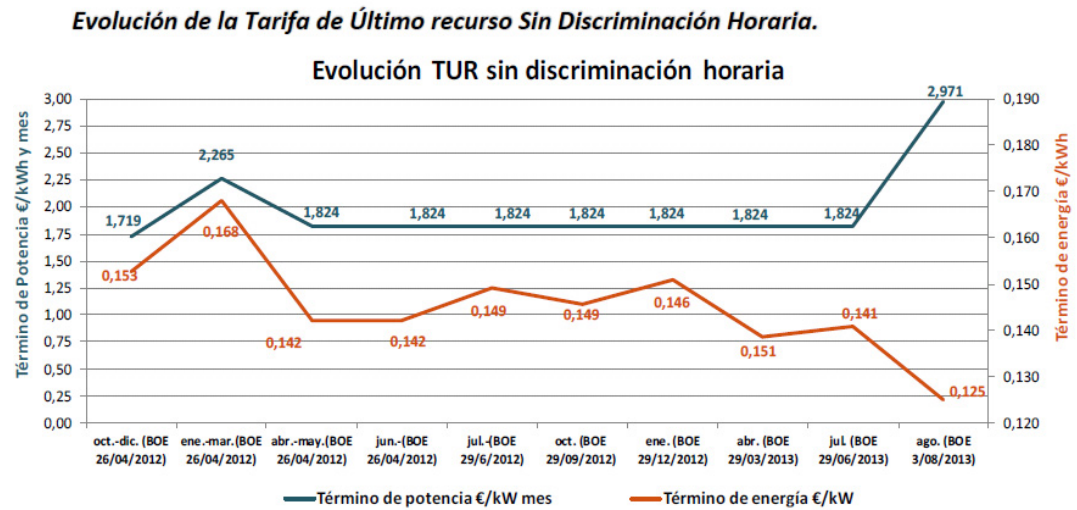


Figura 5.30 Evolución de la Tarifa de electricidad sin discriminación horaria (Fuente IDAE, 2013).

Para poder comparar el ahorro económico que representa la adopción de una solución constructiva respecto de otra, es necesario comparar los costes de la energía en todas las fases. Para llevar a cabo esta investigación, se ha considerado exclusivamente el coste de la energía que varía en función del consumo que viene dado por la expresión

$$Te = C \times 0,181126 \quad [3]$$

donde,

C= consumo

Precio del kWh electricidad = 0,181126 €/m²

5.4.4.3.4 Caracterización del impacto

Considerando las conclusiones expuestas en el apartado 4.6, para llevar a cabo la presente investigación, se han evaluado las categorías de impacto que se definen a continuación.

-El potencial del calentamiento global o emisiones de efecto invernadero muestra la relación de las emisiones totales de los gases efecto invernadero en kg equivalentes de CO₂ por metro cuadrado de superficie útil del edificio debidas a la producción y transformación de los materiales de construcción durante la fase de fabricación y a los consumos de las instalaciones del edificio durante la fase de uso vinculados a las soluciones constructivas de la envolvente de edificio. Unidad de medida: (kg equivalentes CO₂/m²)

-El consumo de energía primaria es el consumo de energía primaria equivalente, por metro cuadrado de superficie útil del edificio, procedente tanto de recursos renovables como no renovables, debido a la producción y transformación de los materiales de construcción durante la fase de fabricación y a los consumos de las instalaciones del edificio durante la fase de uso vinculados a las soluciones constructivas de la envolvente de edificio. Unidad de medida: Mega Joules (MJ) o (kWh/m²). El Kilovatio hora (kWh) equivale a la energía producida o consumida (es la unidad utilizada en los recibos de electricidad) por una potencia de un kilovatio durante 1 hora. Equivale a $3,6 \times 10^6$ J.

-Consumo de agua es la cantidad de agua dulce consumida por metro cuadrado de superficie útil del edificio considerando la cantidad de todos los consumos de agua que se producen derivados de la fabricación de materiales y a la puesta en obra. Unidad de medida m³/m².

-Residuos generados volumen de residuos generados en Kg/m² de superficie útil del edificio considerando los residuos generados peligrosos y no peligrosos de la fase de fabricación y puesta en obra considerando incluidos los residuos del embalaje de cada metro cuadrado de la envolvente por cada metro cuadrado de superficie útil del edificio. Unidad de medida Kg/m².

-Coste de inversión es la valoración económica en Euros por metro cuadrado de superficie útil del edificio de las soluciones constructivas de la envolvente considerando los costes directos e indirectos. Unidad de medida €/m².

-Coste de mantenimiento es la valoración económica en Euros por metro cuadrado de superficie útil del edificio derivado de la sustitución de los materiales que integran cada solución constructiva de la envolvente cuyo periodo de vida útil es inferior al periodo de vida útil del edificio. Unidad de medida €/m².

-Coste energético es la valoración económica en Euros por metro cuadrado de superficie útil del edificio derivado de la energía consumida en todas las fases del ciclo de vida del edificio, vinculada a las soluciones constructivas de la envolvente. Unidad de medida €/m².

Así mismo, se ha observado que para completar adecuadamente una base de datos que dé suficiente información al diseñador en la fase inicial de diseño, los indicadores a utilizar deberían considerar todas las fases del ciclo de vida del edificio; pero se ha

Capítulo 5. DEFINICIÓN DE LA METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE LA ENVOLVENTE BASADA EN EL ACV

visto que determinados impactos tienen mayoritariamente incidencia en determinadas fases mientras que otros afectan al ciclo de vida completo; por lo que únicamente se han tenido en cuenta, para cada impacto, las fases del ciclo de vida con mayor incidencia. En la tabla 5.23 se muestran los impactos ambientales escogidos para la evaluación, el factor de caracterización y las unidades de cada indicador, así como las fases del ciclo de vida consideradas.

	Indicadores que describen impactos ambientales	Unidades	Fase de fabricación	Fase de mantenimiento	Fase Uso
1	Potencial de calentamiento Global , GWP (emisiones equivalentes de CO ₂)	kg eq.CO ₂ /m ²	x	x	x
	Indicadores que describen uso de recursos	Unidades	Fase de fabricación	Fase de mantenimiento	Fase Uso
2	Consumo de energía primaria	MJ, kWh/m ²	x	x	x
3	Consumo de agua	kg/m ²	x	x	
	Indicadores que describen información ambiental complementaria	Unidades	Fase de fabricación	Fase de mantenimiento	Fase Uso
4	Residuos no peligrosos	kg /m ²	x		
	Residuos peligrosos	kg /m ²	x		
	Indicadores económicos	Unidades	Fase de fabricación	Fase de mantenimiento	Fase Uso
5	Costes de inversión	€/m ²	x		
	Costes de mantenimiento	€/m ²		x	
	Costes energéticos	€/m ²	x	x	x

Tabla 5.23 Listado de los impactos ambientales escogidos para la evaluación, unidades de cada indicador y fases del ciclo de vida consideradas

5.4.4.3 Cuantificación de resultados

Todos los resultados de la evaluación, emisiones equivalente de CO₂, consumo de energía primaria, consumo de agua, residuos generados peligrosos y no peligrosos, valoración de los costes energéticos y de los costes de inversión durante la fase de fabricación y puesta en obra; datos relativos a los consumos de energía primaria y a las emisiones de CO₂, valoración de los costes energéticos y de los costes de inversión, durante la fase de mantenimiento y resultados relativos a consumos de energía primaria, emisiones de CO₂ y valoración de los costes energéticos durante la fase uso; obtenidos para las diferentes soluciones definidas de la envolvente, en las dos zonas climáticas y en las dos orientaciones y para un periodo de vida útil de 50 años se han exportado a tablas Excel.

Todos los resultados obtenidos así como la interpretación de los mismos se muestran en el capítulo 6.

Capítulo 6. COMPARATIVA DE LOS IMPACTOS DE LA FASE DE FABRICACIÓN CON LOS IMPACTOS DE LA FASE DE MANTENIMIENTO Y USO

Los valores de los impactos obtenidos en las diferentes fases del ciclo de vida del edificio de las 180 combinaciones evaluadas según se ha descrito en el capítulo 5 de esta tesis, se recopilarán como datos de inventario de cada una de las fases del ciclo de vida consideradas. En este capítulo se muestran todos los resultados obtenidos al aplicar la metodología de evaluación descrita en el Capítulo 5 y seguidamente se valoran los resultados obtenidos.

6.1 Obtención de impactos de la fase de fabricación y puesta en obra

Los valores de los impactos de la fase de fabricación y puesta en obra se han obtenido tal y como se ha expuesto en el capítulo 5, mediante la herramienta TCQ2000. Así mismo, la herramienta TCQ2000 permite exportar directamente los resultados obtenidos a una hoja Excel; lo cual ha permitido configurar la tabla 6.1 con los impactos de la fase de fabricación y puesta en obra debidos a los elementos constructivos.

En la primera columna se listan los elementos constructivos evaluados definidos en el apartado 5.4.4.1.1 del capítulo 5. En la segunda columna se indica el Factor de Superficie Fs calculado según se ha descrito en el apartado 5.4.4.3 para el caso de estudio, considerando la parte proporcional de cada elemento constructivo por metro cuadrado de superficie útil. En la segunda y tercera fila, sombreadas en gris, se especifican las categorías de impacto y sus unidades y en el resto de filas se muestran los resultados de cada impacto por m² de superficie del elemento constructivo.

variables	Fs	IMPACTOS AMBIENTALES DE LA FASE DE FABRICACIÓN Y PUESTA EN OBRA										
		Emisiones (kg CO ₂ /m ²)	Consumo energético		Valoración del consumo electricidad (€)	Agua (m ³)	Residuos (kg/m ²)					Costes Inversión (€)
			(Mj/m ²)	(kWh/m ²)			Puesta en obra (kg/m ²)			Embalaje (kg/m ²)		
C1	0,72	243,40	1.956,24	543,40	1.045.075,47	0,048	4,98	3,05	0,00	4,22	0,27	151,52
C2	0,72	177,62	1.700,72	472,42	908.565,61	0,016	8,93	3,21	0,00	3,98	0,12	143,09
C3	0,72	188,25	1507,83	418,84	805.519,71	0,048	4,05	3,05	0,00	3,22	0,098	107,32
F1	0,53	67,20	785,50	218,19	419.626,46	0,03	19,77	1,78	0,00	1,37	0,00	98,24
F2	0,53	42,88	483,99	134,44	258557,13	0,024	7,37	1,78	0,00	1,13	0,00	76,38
F3	0,53	61,39	775,05	215,29	414049,13	0,024	7,37	2,4	0,00	1,13	0,00	88,15
F4	0,53	52,22	693,45	192,62	370449,83	0,016	8,98	1,78	0,00	0,75	0,00	128,07
F5	0,53	88,04	1493,81	414,95	798038,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	758,72
H1	0,17	592,05	4.333,60	1.203,78	2315128,72	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,055	231,58
H2	0,17	324,42	2.677,48	743,75	1430391,75	0,00	0,00	0,00	0,00	0,001	0,06	218,94
H3	0,17	37,46	611,45	169,85	326658,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,0011	0,055	247,9

Tabla 6.1. Impactos debidos a los elementos constructivos en fase de fabricación y puesta en obra.

En la tabla 6.2 se muestran los impactos de la fase de fabricación y puesta en obra debidos a las soluciones constructivas de la envolvente. En la primera columna se listan las diferentes combinaciones de las soluciones constructivas evaluadas

Capítulo 6. COMPARATIVA DE LOS IMPACTOS DE LA FASE DE FABRICACIÓN CON LOS IMPACTOS DE LA FASE DE MANTENIMIENTO Y USO

definidas en el apartado 5.4.4.1.1 del capítulo 5. En la segunda columna se indica la orientación del edificio (1= orientación Noreste (NE); 0= orientación Sureste (SE)). En la tercera columna se indica la zona climática (1= zona B3; 0= zona E1). En la primera fila, se indica la fase de fabricación y puesta en obra sombreada en azul oscuro, en la segunda fila y tercera fila, sombreadas en gris, se especifican las categorías de impacto y sus unidades y en el resto de filas se muestran los resultados de cada impacto por m² de superficie útil de vivienda.

Las soluciones constructivas con mejor y peor comportamiento medioambiental respecto de las emisiones de CO₂ se han sombreado según el código de colores siguiente:

MIN
SEGUNDO MÁS PEQ
MAX
SEGUNDO MÁS GRANDE

variables			IMPACTOS AMBIENTALES DE LA FASE DE FABRICACIÓN Y PUESTA EN OBRA								
	ORIENTACIONES	ZONAS CLIMÁTICAS	Emisiones (kg CO ₂ /m ²)	Consumo energético		Agua	Residuos (kg/m ²)				
				(MJ/m ²)	(kWh/m ²)	Consumo (m ³)	Puesta en obra (kg/m ²)			Embalaje (kg/m ²)	
							Inertes	No peligrosos	Peligrosos	No peligrosos	Peligrosos
NE	B3										
C1 F1sub5 H1	1	1	311,51	2.561,52	711,53	0,05	14,06	3,14	0,00	3,76	0,20
C1 F2sub5 H1	1	1	298,62	2.401,72	667,14	0,05	7,49	3,14	0,00	3,64	0,20
C1 F3sub10 H1	1	1	308,43	2.555,98	709,99	0,05	7,49	3,47	0,00	3,64	0,20
C1 F4sub5 H1	1	1	303,57	2.512,73	697,98	0,04	8,35	3,14	0,00	3,44	0,20
C1 F5sub0 H1	1	1	322,56	2.936,92	815,81	0,03	3,59	2,20	0,00	3,04	0,20
C2 F1sub5 H1	1	1	264,15	2.377,55	660,43	0,03	16,91	3,25	0,00	3,59	0,10
C2 F2sub5 H1	1	1	251,26	2.217,75	616,04	0,02	10,34	3,25	0,00	3,46	0,10
C2 F3sub10 H1	1	1	261,07	2.372,01	658,89	0,02	10,34	3,58	0,00	3,46	0,10
C2 F4sub5 H1	1	1	256,21	2.328,76	646,87	0,02	11,19	3,25	0,00	3,26	0,10
C2 F5sub0 H1	1	1	275,20	2.752,95	764,71	0,01	6,43	2,31	0,00	2,87	0,10
C3 F1sub5 H1	1	1	271,80	2.238,66	621,85	0,05	13,39	3,14	0,00	3,04	0,08
C3 F2sub5 H1	1	1	258,91	2.078,86	577,46	0,05	6,82	3,14	0,00	2,92	0,08
C3 F3sub10 H1	1	1	268,73	2.233,13	620,31	0,05	6,82	3,47	0,00	2,92	0,08
C3 F4sub5 H1	1	1	263,87	2.189,88	608,30	0,04	7,68	3,14	0,00	2,72	0,08
C3 F5sub0 H1	1	1	282,85	2.614,07	726,13	0,03	2,92	2,20	0,00	2,32	0,08
C1 F1sub5 H2	1	1	266,02	2.279,98	633,33	0,05	14,06	3,14	0,00	3,76	0,20
C1 F2sub5 H2	1	1	253,13	2.120,18	588,94	0,05	7,49	3,14	0,00	3,64	0,20
C1 F3sub10 H2	1	1	262,94	2.274,44	631,79	0,05	7,49	3,47	0,00	3,64	0,20
C1 F4sub5 H2	1	1	258,08	2.231,19	619,77	0,04	8,35	3,14	0,00	3,44	0,20
C1 F5sub0 H2	1	1	277,06	2.655,38	737,61	0,03	3,59	2,20	0,00	3,04	0,20
C2 F1sub5 H2	1	1	218,65	2.096,01	582,22	0,03	16,91	3,25	0,00	3,59	0,10
C2 F2sub5 H2	1	1	205,76	1.936,20	537,83	0,02	10,34	3,25	0,00	3,46	0,10
C2 F3sub10 H2	1	1	215,57	2.090,47	580,68	0,02	10,34	3,58	0,00	3,46	0,10
C2 F4sub5 H2	1	1	210,71	2.047,22	568,67	0,02	11,19	3,25	0,00	3,26	0,10
C2 F5sub0 H2	1	1	229,70	2.471,41	686,50	0,01	6,43	2,31	0,00	2,87	0,10
C3 F1sub5 H2	1	1	226,31	1.957,12	543,64	0,05	13,39	3,14	0,00	3,04	0,08
C3 F2sub5 H2	1	1	213,42	1.797,32	499,26	0,05	6,82	3,14	0,00	2,92	0,08
C3 F3sub10 H2	1	1	223,23	1.951,59	542,11	0,05	6,82	3,47	0,00	2,92	0,08
C3 F4sub5 H2	1	1	218,37	1.908,34	530,09	0,04	7,68	3,14	0,00	2,72	0,08
C3 F5sub0 H2	1	1	237,35	2.332,53	647,93	0,03	2,92	2,20	0,00	2,32	0,08
C1 F1sub5 H3	1	1	217,23	1.928,75	535,76	0,05	14,06	3,14	0,00	3,76	0,20
C1 F2sub5 H3	1	1	204,34	1.768,95	491,38	0,05	7,49	3,14	0,00	3,64	0,20
C1 F3sub10 H3	1	1	214,15	1.923,22	534,23	0,05	7,49	3,47	0,00	3,64	0,20
C1 F4sub5 H3	1	1	209,29	1.879,97	522,21	0,04	8,35	3,14	0,00	3,44	0,20
C1 F5sub0 H3	1	1	228,28	2.304,16	640,05	0,03	3,59	2,20	0,00	3,04	0,20
C2 F1sub5 H3	1	1	169,87	1.744,78	484,66	0,03	16,91	3,25	0,00	3,59	0,10
C2 F2sub5 H3	1	1	156,98	1.584,98	440,27	0,02	10,34	3,25	0,00	3,46	0,10
C2 F3sub10 H3	1	1	166,79	1.739,24	483,12	0,02	10,34	3,58	0,00	3,46	0,10
C2 F4sub5 H3	1	1	161,93	1.695,99	471,11	0,02	11,19	3,25	0,00	3,26	0,10
C2 F5sub0 H3	1	1	180,92	2.120,18	588,94	0,01	6,43	2,31	0,00	2,87	0,10
C3 F1sub5 H3	1	1	177,52	1.605,90	446,08	0,05	13,39	3,14	0,00	3,04	0,08
C3 F2sub5 H3	1	1	164,63	1.446,10	401,69	0,05	6,82	3,14	0,00	2,92	0,08
C3 F3sub10 H3	1	1	174,44	1.600,36	444,54	0,05	6,82	3,47	0,00	2,92	0,08
C3 F4sub5 H3	1	1	169,58	1.557,11	432,53	0,04	7,68	3,14	0,00	2,72	0,08
C3 F5sub0 H3	1	1	188,57	1.981,30	550,36	0,03	2,92	2,20	0,00	2,32	0,08

Tabla 6.2 Resultados de los impactos ambientales, fase de fabricación y puesta en obra.

Capítulo 6. COMPARATIVA DE LOS IMPACTOS DE LA FASE DE FABRICACIÓN CON LOS IMPACTOS DE LA FASE DE MANTENIMIENTO Y USO

variables			IMPACTOS AMBIENTALES DE LA FASE DE FABRICACIÓN Y PUESTA EN OBRA								
	ORIENTACIONES	ZONAS CLIMÁTICAS	Emisiones (kg CO ₂ /m ²)	Consumo energético		Agua	Residuos (kg/m ²)				
				(MJ/m ²)	(kWh/m ²)	Consumo	Puesta en obra (kg/m ²)			Embalaje (kg/m ²)	
						(m ³)	Inertes	No peligrosos	Peligrosos	No peligrosos	Peligrosos
NE	B3										
C1 F1sub5 H1	0	1	311,51	2.561,52	711,53	0,05	14,06	3,14	0,00	3,76	0,20
C1 F2sub5 H1	0	1	298,62	2.401,72	667,14	0,05	7,49	3,14	0,00	3,64	0,20
C1 F3sub10 H1	0	1	308,43	2.555,98	709,99	0,05	7,49	3,47	0,00	3,64	0,20
C1 F4sub5 H1	0	1	303,57	2.512,73	697,98	0,04	8,35	3,14	0,00	3,44	0,20
C1 F5sub0 H1	0	1	322,56	2.936,92	815,81	0,03	3,59	2,20	0,00	3,04	0,20
C2 F1sub5 H1	0	1	264,15	2.377,55	660,43	0,03	16,91	3,25	0,00	3,59	0,10
C2 F2sub5 H1	0	1	251,26	2.217,75	616,04	0,02	10,34	3,25	0,00	3,46	0,10
C2 F3sub10 H1	0	1	261,07	2.372,01	658,89	0,02	10,34	3,58	0,00	3,46	0,10
C2 F4sub5 H1	0	1	256,21	2.328,76	646,87	0,02	11,19	3,25	0,00	3,26	0,10
C2 F5sub0 H1	0	1	275,20	2.752,95	764,71	0,01	6,43	2,31	0,00	2,87	0,10
C3 F1sub5 H1	0	1	271,80	2.238,66	621,85	0,05	13,39	3,14	0,00	3,04	0,08
C3 F2sub5 H1	0	1	258,91	2.078,86	577,46	0,05	6,82	3,14	0,00	2,92	0,08
C3 F3sub10 H1	0	1	268,73	2.233,13	620,31	0,05	6,82	3,47	0,00	2,92	0,08
C3 F4sub5 H1	0	1	236,19	1.822,35	506,21	0,03	2,92	2,20	0,00	2,32	0,08
C3 F5sub0 H1	0	1	282,85	2.614,07	726,13	0,03	2,92	2,20	0,00	2,32	0,08
C1 F1sub5 H2	0	1	266,02	2.279,98	633,33	0,05	14,06	3,14	0,00	3,76	0,20
C1 F2sub5 H2	0	1	253,13	2.120,18	588,94	0,05	7,49	3,14	0,00	3,64	0,20
C1 F3sub10 H2	0	1	262,94	2.274,44	631,79	0,05	7,49	3,47	0,00	3,64	0,20
C1 F4sub5 H2	0	1	258,08	2.231,19	619,77	0,04	8,35	3,14	0,00	3,44	0,20
C1 F5sub0 H2	0	1	277,06	2.655,38	737,61	0,03	3,59	2,20	0,00	3,04	0,20
C2 F1sub5 H2	0	1	218,65	2.096,01	582,22	0,03	16,91	3,25	0,00	3,59	0,10
C2 F2sub5 H2	0	1	205,76	1.936,20	537,83	0,02	10,34	3,25	0,00	3,46	0,10
C2 F3sub10 H2	0	1	215,57	2.090,47	580,68	0,02	10,34	3,58	0,00	3,46	0,10
C2 F4sub5 H2	0	1	210,71	2.047,22	568,67	0,02	11,19	3,25	0,00	3,26	0,10
C2 F5sub0 H2	0	1	229,70	2.471,41	686,50	0,01	6,43	2,31	0,00	2,87	0,10
C3 F1sub5 H2	0	1	226,31	1.957,12	543,64	0,05	13,39	3,14	0,00	3,04	0,08
C3 F2sub5 H2	0	1	213,42	1.797,32	499,26	0,05	6,82	3,14	0,00	2,92	0,08
C3 F3sub10 H2	0	1	223,23	1.951,59	542,11	0,05	6,82	3,47	0,00	2,92	0,08
C3 F4sub5 H2	0	1	218,37	1.908,34	530,09	0,04	7,68	3,14	0,00	2,72	0,08
C3 F5sub0 H2	0	1	237,35	2.332,53	647,93	0,03	2,92	2,20	0,00	2,32	0,08
C1 F1sub5 H3	0	1	217,23	1.928,75	535,76	0,05	14,06	3,14	0,00	3,76	0,20
C1 F2sub5 H3	0	1	204,34	1.768,95	491,38	0,05	7,49	3,14	0,00	3,64	0,20
C1 F3sub10 H3	0	1	214,15	1.923,22	534,23	0,05	7,49	3,47	0,00	3,64	0,20
C1 F4sub5 H3	0	1	209,29	1.879,97	522,21	0,04	8,35	3,14	0,00	3,44	0,20
C1 F5sub0 H3	0	1	228,28	2.304,16	640,05	0,03	3,59	2,20	0,00	3,04	0,20
C2 F1sub5 H3	0	1	169,87	1.744,78	484,66	0,03	16,91	3,25	0,00	3,59	0,10
C2 F2sub5 H3	0	1	156,98	1.584,98	440,27	0,02	10,34	3,25	0,00	3,46	0,10
C2 F3sub10 H3	0	1	166,79	1.739,24	483,12	0,02	10,34	3,58	0,00	3,46	0,10
C2 F4sub5 H3	0	1	161,93	1.695,99	471,11	0,02	11,19	3,25	0,00	3,26	0,10
C2 F5sub0 H3	0	1	180,92	2.120,18	588,94	0,01	6,43	2,31	0,00	2,87	0,10
C3 F1sub5 H3	0	1	177,52	1.605,90	446,08	0,05	13,39	3,14	0,00	3,04	0,08
C3 F2sub5 H3	0	1	164,63	1.446,10	401,69	0,05	6,82	3,14	0,00	2,92	0,08
C3 F3sub10 H3	0	1	174,44	1.600,36	444,54	0,05	6,82	3,47	0,00	2,92	0,08
C3 F4sub5 H3	0	1	169,58	1.557,11	432,53	0,04	7,68	3,14	0,00	2,72	0,08
C3 F5sub0 H3	0	1	188,57	1.981,30	550,36	0,03	2,92	2,20	0,00	2,32	0,08

Tabla 6.2 Resultados de los impactos ambientales, fase de fabricación y puesta en obra.

Capítulo 6. COMPARATIVA DE LOS IMPACTOS DE LA FASE DE FABRICACIÓN CON LOS IMPACTOS DE LA FASE DE MANTENIMIENTO Y USO

variables			IMPACTOS AMBIENTALES DE LA FASE DE FABRICACIÓN Y PUESTA EN OBRA								
	ORIENTACIONES	ZONAS CLIMÁTICAS	Emisiones (kg CO ₂ /m ²)	Consumo energético		Agua	Residuos (kg/m ²)				
				(MJ/m ²)	(kWh/m ²)	Consumo	Puesta en obra (kg/m ²)			Embalaje (kg/m ²)	
						(m ³)	Inertes	No peligrosos	Peligrosos	No peligrosos	Peligrosos
NE	B3										
C1 F1sub5 H1	1	0	311,51	2.561,52	711,53	0,05	14,06	3,14	0,00	3,76	0,20
C1 F2sub5 H1	1	0	298,62	2.401,72	667,14	0,05	7,49	3,14	0,00	3,64	0,20
C1 F3sub10 H1	1	0	308,43	2.555,98	709,99	0,05	7,49	3,47	0,00	3,64	0,20
C1 F4sub5 H1	1	0	303,57	2.512,73	697,98	0,04	8,35	3,14	0,00	3,44	0,20
C1 F5sub0 H1	1	0	322,56	2.936,92	815,81	0,03	3,59	2,20	0,00	3,04	0,20
C2 F1sub5 H1	1	0	264,15	2.377,55	660,43	0,03	16,91	3,25	0,00	3,59	0,10
C2 F2sub5 H1	1	0	251,26	2.217,75	616,04	0,02	10,34	3,25	0,00	3,46	0,10
C2 F3sub10 H1	1	0	261,07	2.372,01	658,89	0,02	10,34	3,58	0,00	3,46	0,10
C2 F4sub5 H1	1	0	256,21	2.328,76	646,87	0,02	11,19	3,25	0,00	3,26	0,10
C2 F5sub0 H1	1	0	275,20	2.752,95	764,71	0,01	6,43	2,31	0,00	2,87	0,10
C3 F1sub5 H1	1	0	271,80	2.238,66	621,85	0,05	13,39	3,14	0,00	3,04	0,08
C3 F2sub5 H1	1	0	258,91	2.078,86	577,46	0,05	6,82	3,14	0,00	2,92	0,08
C3 F3sub10 H1	1	0	268,73	2.233,13	620,31	0,05	6,82	3,47	0,00	2,92	0,08
C3 F4sub5 H1	1	0	236,19	1.822,35	506,21	0,03	2,92	2,20	0,00	2,32	0,08
C3 F5sub0 H1	1	0	282,85	2.614,07	726,13	0,03	2,92	2,20	0,00	2,32	0,08
C1 F1sub5 H2	1	0	266,02	2.279,98	633,33	0,05	14,06	3,14	0,00	3,76	0,20
C1 F2sub5 H2	1	0	253,13	2.120,18	588,94	0,05	7,49	3,14	0,00	3,64	0,20
C1 F3sub10 H2	1	0	262,94	2.274,44	631,79	0,05	7,49	3,47	0,00	3,64	0,20
C1 F4sub5 H2	1	0	258,08	2.231,19	619,77	0,04	8,35	3,14	0,00	3,44	0,20
C1 F5sub0 H2	1	0	277,06	2.655,38	737,61	0,03	3,59	2,20	0,00	3,04	0,20
C2 F1sub5 H2	1	0	218,65	2.096,01	582,22	0,03	16,91	3,25	0,00	3,59	0,10
C2 F2sub5 H2	1	0	205,76	1.936,20	537,83	0,02	10,34	3,25	0,00	3,46	0,10
C2 F3sub10 H2	1	0	215,57	2.090,47	580,68	0,02	10,34	3,58	0,00	3,46	0,10
C2 F4sub5 H2	1	0	210,71	2.047,22	568,67	0,02	11,19	3,25	0,00	3,26	0,10
C2 F5sub0 H2	1	0	229,70	2.471,41	686,50	0,01	6,43	2,31	0,00	2,87	0,10
C3 F1sub5 H2	1	0	226,31	1.957,12	543,64	0,05	13,39	3,14	0,00	3,04	0,08
C3 F2sub5 H2	1	0	213,42	1.797,32	499,26	0,05	6,82	3,14	0,00	2,92	0,08
C3 F3sub10 H2	1	0	223,23	1.951,59	542,11	0,05	6,82	3,47	0,00	2,92	0,08
C3 F4sub5 H2	1	0	218,37	1.908,34	530,09	0,04	7,68	3,14	0,00	2,72	0,08
C3 F5sub0 H2	1	0	237,35	2.332,53	647,93	0,03	2,92	2,20	0,00	2,32	0,08
C1 F1sub5 H3	1	0	217,23	1.928,75	535,76	0,05	14,06	3,14	0,00	3,76	0,20
C1 F2sub5 H3	1	0	204,34	1.768,95	491,38	0,05	7,49	3,14	0,00	3,64	0,20
C1 F3sub10 H3	1	0	214,15	1.923,22	534,23	0,05	7,49	3,47	0,00	3,64	0,20
C1 F4sub5 H3	1	0	209,29	1.879,97	522,21	0,04	8,35	3,14	0,00	3,44	0,20
C1 F5sub0 H3	1	0	228,28	2.304,16	640,05	0,03	3,59	2,20	0,00	3,04	0,20
C2 F1sub5 H3	1	0	169,87	1.744,78	484,66	0,03	16,91	3,25	0,00	3,59	0,10
C2 F2sub5 H3	1	0	156,98	1.584,98	440,27	0,02	10,34	3,25	0,00	3,46	0,10
C2 F3sub10 H3	1	0	166,79	1.739,24	483,12	0,02	10,34	3,58	0,00	3,46	0,10
C2 F4sub5 H3	1	0	161,93	1.695,99	471,11	0,02	11,19	3,25	0,00	3,26	0,10
C2 F5sub0 H3	1	0	180,92	2.120,18	588,94	0,01	6,43	2,31	0,00	2,87	0,10
C3 F1sub5 H3	1	0	177,52	1.605,90	446,08	0,05	13,39	3,14	0,00	3,04	0,08
C3 F2sub5 H3	1	0	164,63	1.446,10	401,69	0,05	6,82	3,14	0,00	2,92	0,08
C3 F3sub10 H3	1	0	174,44	1.600,36	444,54	0,05	6,82	3,47	0,00	2,92	0,08
C3 F4sub5 H3	1	0	169,58	1.557,11	432,53	0,04	7,68	3,14	0,00	2,72	0,08
C3 F5sub0 H3	1	0	188,57	1.981,30	550,36	0,03	2,92	2,20	0,00	2,32	0,08

Tabla 6.2 Resultados de los impactos ambientales, fase de fabricación y puesta en obra.

Capítulo 6. COMPARATIVA DE LOS IMPACTOS DE LA FASE DE FABRICACIÓN CON LOS IMPACTOS DE LA FASE DE MANTENIMIENTO Y USO

variables			IMPACTOS AMBIENTALES DE LA FASE DE FABRICACIÓN Y PUESTA EN OBRA								
	ORIENTACIONES	ZONAS CLIMÁTICAS	Emisiones (kg CO ₂ /m ²)	Consumo energético		Agua	Residuos (kg/m ²)				
				(MJ/m ²)	(kWh/m ²)	Consumo	Puesta en obra (kg/m ²)			Embalaje (kg/m ²)	
						(m ³)	Inertes	No peligrosos	Peligrosos	No peligrosos	Peligrosos
NE	B3										
C1 F1sub5 H1	0	0	311,51	2.561,52	711,53	0,05	14,06	3,14	0,00	3,76	0,20
C1 F2sub5 H1	0	0	298,62	2.401,72	667,14	0,05	7,49	3,14	0,00	3,64	0,20
C1 F3sub10 H1	0	0	308,43	2.555,98	709,99	0,05	7,49	3,47	0,00	3,64	0,20
C1 F4sub5 H1	0	0	303,57	2.512,73	697,98	0,04	8,35	3,14	0,00	3,44	0,20
C1 F5sub0 H1	0	0	322,56	2.936,92	815,81	0,03	3,59	2,20	0,00	3,04	0,20
C2 F1sub5 H1	0	0	264,15	2.377,55	660,43	0,03	16,91	3,25	0,00	3,59	0,10
C2 F2sub5 H1	0	0	251,26	2.217,75	616,04	0,02	10,34	3,25	0,00	3,46	0,10
C2 F3sub10 H1	0	0	261,07	2.372,01	658,89	0,02	10,34	3,58	0,00	3,46	0,10
C2 F4sub5 H1	0	0	256,21	2.328,76	646,87	0,02	11,19	3,25	0,00	3,26	0,10
C2 F5sub0 H1	0	0	275,20	2.752,95	764,71	0,01	6,43	2,31	0,00	2,87	0,10
C3 F1sub5 H1	0	0	271,80	2.238,66	621,85	0,05	13,39	3,14	0,00	3,04	0,08
C3 F2sub5 H1	0	0	258,91	2.078,86	577,46	0,05	6,82	3,14	0,00	2,92	0,08
C3 F3sub10 H1	0	0	268,73	2.233,13	620,31	0,05	6,82	3,47	0,00	2,92	0,08
C3 F4sub5 H1	0	0	236,19	1.822,35	506,21	0,03	2,92	2,20	0,00	2,32	0,08
C3 F5sub0 H1	0	0	282,85	2.614,07	726,13	0,03	2,92	2,20	0,00	2,32	0,08
C1 F1sub5 H2	0	0	266,02	2.279,98	633,33	0,05	14,06	3,14	0,00	3,76	0,20
C1 F2sub5 H2	0	0	253,13	2.120,18	588,94	0,05	7,49	3,14	0,00	3,64	0,20
C1 F3sub10 H2	0	0	262,94	2.274,44	631,79	0,05	7,49	3,47	0,00	3,64	0,20
C1 F4sub5 H2	0	0	258,08	2.231,19	619,77	0,04	8,35	3,14	0,00	3,44	0,20
C1 F5sub0 H2	0	0	277,06	2.655,38	737,61	0,03	3,59	2,20	0,00	3,04	0,20
C2 F1sub5 H2	0	0	218,65	2.096,01	582,22	0,03	16,91	3,25	0,00	3,59	0,10
C2 F2sub5 H2	0	0	205,76	1.936,20	537,83	0,02	10,34	3,25	0,00	3,46	0,10
C2 F3sub10 H2	0	0	215,57	2.090,47	580,68	0,02	10,34	3,58	0,00	3,46	0,10
C2 F4sub5 H2	0	0	210,71	2.047,22	568,67	0,02	11,19	3,25	0,00	3,26	0,10
C2 F5sub0 H2	0	0	229,70	2.471,41	686,50	0,01	6,43	2,31	0,00	2,87	0,10
C3 F1sub5 H2	0	0	226,31	1.957,12	543,64	0,05	13,39	3,14	0,00	3,04	0,08
C3 F2sub5 H2	0	0	213,42	1.797,32	499,26	0,05	6,82	3,14	0,00	2,92	0,08
C3 F3sub10 H2	0	0	223,23	1.951,59	542,11	0,05	6,82	3,47	0,00	2,92	0,08
C3 F4sub5 H2	0	0	218,37	1.908,34	530,09	0,04	7,68	3,14	0,00	2,72	0,08
C3 F5sub0 H2	0	0	237,35	2.332,53	647,93	0,03	2,92	2,20	0,00	2,32	0,08
C1 F1sub5 H3	0	0	217,23	1.928,75	535,76	0,05	14,06	3,14	0,00	3,76	0,20
C1 F2sub5 H3	0	0	204,34	1.768,95	491,38	0,05	7,49	3,14	0,00	3,64	0,20
C1 F3sub10 H3	0	0	214,15	1.923,22	534,23	0,05	7,49	3,47	0,00	3,64	0,20
C1 F4sub5 H3	0	0	209,29	1.879,97	522,21	0,04	8,35	3,14	0,00	3,44	0,20
C1 F5sub0 H3	0	0	228,28	2.304,16	640,05	0,03	3,59	2,20	0,00	3,04	0,20
C2 F1sub5 H3	0	0	169,87	1.744,78	484,66	0,03	16,91	3,25	0,00	3,59	0,10
C2 F2sub5 H3	0	0	156,98	1.584,98	440,27	0,02	10,34	3,25	0,00	3,46	0,10
C2 F3sub10 H3	0	0	166,79	1.739,24	483,12	0,02	10,34	3,58	0,00	3,46	0,10
C2 F4sub5 H3	0	0	161,93	1.695,99	471,11	0,02	11,19	3,25	0,00	3,26	0,10
C2 F5sub0 H3	0	0	180,92	2.120,18	588,94	0,01	6,43	2,31	0,00	2,87	0,10
C3 F1sub5 H3	0	0	177,52	1.605,90	446,08	0,05	13,39	3,14	0,00	3,04	0,08
C3 F2sub5 H3	0	0	164,63	1.446,10	401,69	0,05	6,82	3,14	0,00	2,92	0,08
C3 F3sub10 H3	0	0	174,44	1.600,36	444,54	0,05	6,82	3,47	0,00	2,92	0,08
C3 F4sub5 H3	0	0	169,58	1.557,11	432,53	0,04	7,68	3,14	0,00	2,72	0,08
C3 F5sub0 H3	0	0	188,57	1.981,30	550,36	0,03	2,92	2,20	0,00	2,32	0,08

Tabla 6.2 Resultados de los impactos ambientales, fase de fabricación y puesta en obra.

6.2 Obtención de impactos de la fase de mantenimiento

Así mismo, los valores de los impactos de la fase de mantenimiento se han obtenido tal y como se ha expuesto en el capítulo 5, utilizando la herramienta TCQ2000. Esto ha permitido configurar la tabla 6.3 de los impactos de la fase de mantenimiento debidos a las soluciones constructivas de la envolvente que se muestra a continuación. En la primera columna se listan las diferentes combinaciones de las soluciones constructivas evaluadas definidas en el apartado 5.4.4.1.1 del capítulo 5. En la segunda columna se indica la orientación del edificio (1= orientación Noreste (NE); 0= orientación Sureste (SE)). En la tercera columna se indica la zona climática (1= zona B3; 0= zona E1). En la primera fila, se indica la fase de mantenimiento sombreada en azul claro, en la segunda y tercera filas, sombreadas en gris, se

Capítulo 6. COMPARATIVA DE LOS IMPACTOS DE LA FASE DE FABRICACIÓN CON LOS IMPACTOS DE LA FASE DE MANTENIMIENTO Y USO

especifican las categorías de impacto y sus unidades y en el resto de filas se muestran los resultados de cada impacto por m² de superficie útil de vivienda. Los impactos se han calculado considerando un periodo de vida útil de 50 años.

VARIABLES			FASE MANTENIMIENTO	
	SE	B3	Mantenimiento corrector durante 50 años	
			Emissiones (kg CO ₂ /m ²)	Consumo (kWh/m ²)
C1 F1sub5 H1	0	1	81,78	182,97
C1 F2sub5 H1	0	1	81,78	182,97
C1 F3sub10 H1	0	1	81,78	182,97
C1 F4sub5 H1	0	1	80,06	182,39
C1 F5sub0 H1	0	1	111,70	331,80
C2 F1sub5 H1	0	1	81,78	182,97
C2 F2sub5 H1	0	1	81,78	182,97
C2 F3sub10 H1	0	1	81,78	182,97
C2 F4sub5 H1	0	1	80,06	182,39
C2 F5sub0 H1	0	1	111,70	331,80
C3 F1sub5 H1	0	1	62,89	152,60
C3 F2sub5 H1	0	1	62,89	152,60
C3 F3sub10 H1	0	1	62,89	152,60
C3 F4sub5 H1	0	1	61,18	152,03
C3 F5sub0 H1	0	1	92,81	301,44
C1 F1sub5 H2	0	1	81,78	182,97
C1 F2sub5 H2	0	1	81,78	182,97
C1 F3sub10 H2	0	1	81,78	182,97
C1 F4sub5 H2	0	1	80,06	182,39
C1 F5sub0 H2	0	1	111,70	331,80
C2 F1sub5 H2	0	1	81,78	182,97
C2 F2sub5 H2	0	1	81,78	182,97
C2 F3sub10 H2	0	1	81,78	182,97
C2 F4sub5 H2	0	1	80,06	182,39
C2 F5sub0 H2	0	1	111,70	331,80
C3 F1sub5 H2	0	1	62,89	152,60
C3 F2sub5 H2	0	1	62,89	152,60
C3 F3sub10 H2	0	1	62,89	152,60
C3 F4sub5 H2	0	1	61,18	152,03
C3 F5sub0 H2	0	1	92,81	301,44
C1 F1sub5 H3	0	1	83,32	190,64
C1 F2sub5 H3	0	1	83,32	190,64
C1 F3sub10 H3	0	1	83,32	190,64
C1 F4sub5 H3	0	1	81,60	190,07
C1 F5sub0 H3	0	1	113,24	339,48
C2 F1sub5 H3	0	1	83,32	190,64
C2 F2sub5 H3	0	1	83,32	190,64
C2 F3sub10 H3	0	1	83,32	190,64
C2 F4sub5 H3	0	1	81,60	190,07
C2 F5sub0 H3	0	1	113,24	339,48
C3 F1sub5 H3	0	1	64,43	160,28
C3 F2sub5 H3	0	1	64,43	160,28
C3 F3sub10 H3	0	1	64,43	160,28
C3 F4sub5 H3	0	1	62,72	159,70
C3 F5sub0 H3	0	1	94,35	309,12

Tabla 6.3 Impactos ambientales de la fase de mantenimiento

Capítulo 6. COMPARATIVA DE LOS IMPACTOS DE LA FASE DE FABRICACIÓN CON LOS IMPACTOS DE LA FASE DE MANTENIMIENTO Y USO

VARIABLES		FASE MANTENIMIENTO		
	NE	E1	Mantenimiento corrector durante 50 años	
			Emisiones (kg CO ₂ /m ²)	Consumo (kWh/m ²)
C1 F1sub5 H1	1	0	81,78	182,97
C1 F2sub5 H1	1	0	81,78	182,97
C1 F3sub10 H1	1	0	81,78	182,97
C1 F4sub5 H1	1	0	80,06	182,39
C1 F5sub0 H1	1	0	111,70	331,80
C2 F1sub5 H1	1	0	81,78	182,97
C2 F2sub5 H1	1	0	81,78	182,97
C2 F3sub10 H1	1	0	81,78	182,97
C2 F4sub5 H1	1	0	80,06	182,39
C2 F5sub0 H1	1	0	111,70	331,80
C3 F1sub5 H1	1	0	62,89	152,60
C3 F2sub5 H1	1	0	62,89	152,60
C3 F3sub10 H1	1	0	62,89	152,60
C3 F4sub5 H1	1	0	61,18	152,03
C3 F5sub0 H1	1	0	92,81	301,44
C1 F1sub5 H2	1	0	81,78	182,97
C1 F2sub5 H2	1	0	81,78	182,97
C1 F3sub10 H2	1	0	81,78	182,97
C1 F4sub5 H2	1	0	80,06	182,39
C1 F5sub0 H2	1	0	111,70	331,80
C2 F1sub5 H2	1	0	81,78	182,97
C2 F2sub5 H2	1	0	81,78	182,97
C2 F3sub10 H2	1	0	81,78	182,97
C2 F4sub5 H2	1	0	80,06	182,39
C2 F5sub0 H2	1	0	111,70	331,80
C3 F1sub5 H2	1	0	62,89	152,60
C3 F2sub5 H2	1	0	62,89	152,60
C3 F3sub10 H2	1	0	62,89	152,60
C3 F4sub5 H2	1	0	61,18	152,03
C3 F5sub0 H2	1	0	92,81	301,44
C1 F1sub5 H3	1	0	82,60	187,38
C1 F2sub5 H3	1	0	82,60	187,38
C1 F3sub10 H3	1	0	82,60	187,38
C1 F4sub5 H3	1	0	80,88	186,80
C1 F5sub0 H3	1	0	112,52	336,21
C2 F1sub5 H3	1	0	82,60	187,38
C2 F2sub5 H3	1	0	82,60	187,38
C2 F3sub10 H3	1	0	82,60	187,38
C2 F4sub5 H3	1	0	80,88	186,80
C2 F5sub0 H3	1	0	112,52	336,21
C3 F1sub5 H3	1	0	63,71	157,01
C3 F2sub5 H3	1	0	63,71	157,01
C3 F3sub10 H3	1	0	63,71	157,01
C3 F4sub5 H3	1	0	62,00	156,44
C3 F5sub0 H3	1	0	93,63	305,85

Tabla 6.3 Impactos ambientales de la fase de mantenimiento

Capítulo 6. COMPARATIVA DE LOS IMPACTOS DE LA FASE DE FABRICACIÓN CON LOS IMPACTOS DE LA FASE DE MANTENIMIENTO Y USO

VARIABLES	FASE MANTENIMIENTO			
	SE	E1	Mantenimiento corrector durante 50	
			Emisiones (kg CO ₂ /m ²)	Consumo (kWh/m ²)
C1 F1sub5 H1	0	0	81,78	182,97
C1 F2sub5 H1	0	0	81,78	182,97
C1 F3sub10 H1	0	0	81,78	182,97
C1 F4sub5 H1	0	0	80,06	182,39
C1 F5sub0 H1	0	0	111,70	331,80
C2 F1sub5 H1	0	0	81,78	182,97
C2 F2sub5 H1	0	0	81,78	182,97
C2 F3sub10 H1	0	0	81,78	182,97
C2 F4sub5 H1	0	0	80,06	182,39
C2 F5sub0 H1	0	0	111,70	331,80
C3 F1sub5 H1	0	0	62,89	152,60
C3 F2sub5 H1	0	0	62,89	152,60
C3 F3sub10 H1	0	0	62,89	152,60
C3 F4sub5 H1	0	0	61,18	152,03
C3 F5sub0 H1	0	0	92,81	301,44
C1 F1sub5 H2	0	0	81,78	182,97
C1 F2sub5 H2	0	0	81,78	182,97
C1 F3sub10 H2	0	0	81,78	182,97
C1 F4sub5 H2	0	0	80,06	182,39
C1 F5sub0 H2	0	0	111,70	331,80
C2 F1sub5 H2	0	0	81,78	182,97
C2 F2sub5 H2	0	0	81,78	182,97
C2 F3sub10 H2	0	0	81,78	182,97
C2 F4sub5 H2	0	0	80,06	182,39
C2 F5sub0 H2	0	0	111,70	331,80
C3 F1sub5 H2	0	0	62,89	152,60
C3 F2sub5 H2	0	0	62,89	152,60
C3 F3sub10 H2	0	0	62,89	152,60
C3 F4sub5 H2	0	0	61,18	152,03
C3 F5sub0 H2	0	0	92,81	301,44
C1 F1sub5 H3	0	0	82,60	187,38
C1 F2sub5 H3	0	0	82,60	187,38
C1 F3sub10 H3	0	0	82,60	187,38
C1 F4sub5 H3	0	0	80,88	186,80
C1 F5sub0 H3	0	0	112,52	336,21
C2 F1sub5 H3	0	0	82,60	187,38
C2 F2sub5 H3	0	0	82,60	187,38
C2 F3sub10 H3	0	0	82,60	187,38
C2 F4sub5 H3	0	0	80,88	186,80
C2 F5sub0 H3	0	0	112,52	336,21
C3 F1sub5 H3	0	0	63,71	157,01
C3 F2sub5 H3	0	0	63,71	157,01
C3 F3sub10 H3	0	0	63,71	157,01
C3 F4sub5 H3	0	0	62,00	156,44
C3 F5sub0 H3	0	0	93,63	305,85

Tabla 6.3 Impactos ambientales de la fase de mantenimiento

6.3 Obtención de impactos de la fase de uso

Los valores de los impactos de la fase de uso se han obtenido tal y como se ha expuesto en el apartado 5.4.4.3.3 del capítulo 5, utilizando las herramientas LIDER y CALANER VYP.

En la tabla 6.4 se muestran los resultados tal y como se obtienen a partir de la aplicación de la herramienta CALANER. Se han agrupado las tablas de cada solución constructiva por zona climática y para cada una de las orientaciones estudiadas.

En la primera columna se listan las diferentes combinaciones de las soluciones constructivas evaluadas definidas en el apartado 5.4.4.1.1 del capítulo 5. En la segunda columna se indica la orientación del edificio (1= orientación Noreste (NE); 0= orientación Sureste (SE)). En la tercera columna se indica la zona climática (1= zona B3; 0= zona E1). En la primera fila, se indica la fase de uso sombreada en verde claro, en la segunda fila, sombreada en gris, se especifican las categorías de impacto y

Capítulo 6. COMPARATIVA DE LOS IMPACTOS DE LA FASE DE FABRICACIÓN CON LOS IMPACTOS DE LA FASE DE MANTENIMIENTO Y USO

sus unidades y en el resto de filas se muestran los resultados de cada impacto por m² de superficie útil de vivienda. Los impactos se han calculado considerando un periodo de vida útil de 50 años.

Las soluciones constructivas con mejor y peor comportamiento medioambiental en cuanto a las emisiones de CO₂, y los consumos de energía primaria, durante la fase de uso se han sombreado según el código de colores siguiente:

MIN
SEGUNDO MÁS PEQ
MAX
SEGUNDO MÁS GRANDE

VARIABLES			FASE USO							
	NE	B3	Emisiones y consumos de las instalaciones (vinculados a la envolvente)							
			Emisiones de calefacción	Emisiones de refrigeración	Emisiones totales	x 50 años de vida útil	Consumo de calefacción	Consumo de refrigeración	Consumo total energético (kWh/m ²)	x 50 años de vida útil
			(kg CO ₂ /m ²)	(kg CO ₂ /m ²)	(kg CO ₂ /m ²)		(kWh/m ²)	(kWh/m ²)		
C1 F1sub5 H1	1	1	8,70	4,80	13,50	675,00	42,90	19,20	62,10	3.105,00
C1 F2sub5 H1	1	1	8,50	4,80	13,30	665,00	42,20	19,20	61,40	3.070,00
C1 F3sub10 H1	1	1	7,70	4,60	12,30	615,00	38,10	18,60	56,70	2.835,00
C1 F4sub5 H1	1	1	8,50	5,00	13,50	675,00	42,10	19,90	62,00	3.100,00
C1 F5sub0 H1	1	1	5,90	6,80	12,70	635,00	27,70	27,30	55,00	2.750,00
C2 F1sub5 H1	1	1	8,90	4,80	13,70	685,00	44,20	19,30	63,50	3.175,00
C2 F2sub5 H1	1	1	8,70	4,90	13,60	680,00	43,40	19,70	63,10	3.155,00
C2 F3sub10 H1	1	1	7,80	4,80	12,60	630,00	38,50	19,40	57,90	2.895,00
C2 F4sub5 H1	1	1	8,80	4,90	13,70	685,00	43,60	19,60	63,20	3.160,00
C2 F5sub0 H1	1	1	5,60	6,70	12,30	615,00	27,70	26,90	54,60	2.730,00
C3 F1sub5 H1	1	1	8,50	4,70	13,20	660,00	42,30	18,70	61,00	3.050,00
C3 F2sub5 H1	1	1	8,40	4,50	12,90	645,00	41,60	17,90	59,50	2.975,00
C3 F3sub10 H1	1	1	7,60	4,30	11,90	595,00	37,60	17,30	54,90	2.745,00
C3 F4sub5 H1	1	1	8,50	4,70	13,20	660,00	41,90	19,00	60,90	3.045,00
C3 F5sub0 H1	1	1	5,30	6,60	11,90	595,00	26,10	26,60	52,70	2.635,00
C1 F1sub5 H2	1	1	8,50	4,80	13,30	665,00	41,90	19,30	61,20	3.060,00
C1 F2sub5 H2	1	1	8,30	4,80	13,10	655,00	41,20	19,30	60,50	3.025,00
C1 F3sub10 H2	1	1	7,50	4,80	12,30	615,00	37,00	19,10	56,10	2.805,00
C1 F4sub5 H2	1	1	8,30	5,00	13,30	665,00	41,00	20,00	61,00	3.050,00
C1 F5sub0 H2	1	1	5,80	6,80	12,60	630,00	27,20	27,40	54,60	2.730,00
C2 F1sub5 H2	1	1	8,70	4,60	13,30	665,00	43,10	18,30	61,40	3.070,00
C2 F2sub5 H2	1	1	8,50	4,90	13,40	670,00	42,30	19,80	62,10	3.105,00
C2 F3sub10 H2	1	1	7,60	4,90	12,50	625,00	37,50	19,50	57,00	2.850,00
C2 F4sub5 H2	1	1	8,60	4,90	13,50	675,00	42,50	19,70	62,20	3.110,00
C2 F5sub0 H2	1	1	5,50	6,70	12,20	610,00	27,30	27,00	54,30	2.715,00
C3 F1sub5 H2	1	1	8,30	4,80	13,10	655,00	41,20	19,20	60,40	3.020,00
C3 F2sub5 H2	1	1	8,20	4,60	12,80	640,00	40,60	18,30	58,90	2.945,00
C3 F3sub10 H2	1	1	7,40	4,30	11,70	585,00	36,50	17,40	53,90	2.695,00
C3 F4sub5 H2	1	1	8,10	4,90	13,00	650,00	40,40	19,50	59,90	2.995,00
C3 F5sub0 H2	1	1	5,20	6,70	11,90	595,00	25,60	26,80	52,40	2.620,00
C1 F1sub5 H3	1	1	8,50	4,80	13,30	665,00	41,90	19,30	61,20	3.060,00
C1 F2sub5 H3	1	1	8,30	4,80	13,10	655,00	41,20	19,30	60,50	3.025,00
C1 F3sub10 H3	1	1	7,50	4,80	12,30	615,00	37,00	19,10	56,10	2.805,00
C1 F4sub5 H3	1	1	8,30	5,00	13,30	665,00	41,00	20,00	61,00	3.050,00
C1 F5sub0 H3	1	1	5,80	6,80	12,60	630,00	27,20	27,40	54,60	2.730,00
C2 F1sub5 H3	1	1	8,70	4,80	13,50	675,00	43,10	19,40	62,50	3.125,00
C2 F2sub5 H3	1	1	8,50	4,90	13,40	670,00	42,30	19,80	62,10	3.105,00
C2 F3sub10 H3	1	1	7,60	4,90	12,50	625,00	37,50	19,50	57,00	2.850,00
C2 F4sub5 H3	1	1	8,60	4,90	13,50	675,00	42,50	19,70	62,20	3.110,00
C2 F5sub0 H3	1	1	5,50	6,70	12,20	610,00	27,30	27,00	54,30	2.715,00
C3 F1sub5 H3	1	1	8,30	4,80	13,10	655,00	41,20	19,20	60,40	3.020,00
C3 F2sub5 H3	1	1	8,20	4,60	12,80	640,00	40,60	18,30	58,90	2.945,00
C3 F3sub10 H3	1	1	7,40	4,30	11,70	585,00	36,50	17,40	53,90	2.695,00
C3 F4sub5 H3	1	1	8,10	4,90	13,00	650,00	40,40	19,50	59,90	2.995,00
C3 F5sub0 H3	1	1	5,20	6,70	11,90	595,00	25,60	26,80	52,40	2.620,00

Tabla 6.4 Obtención de los impactos en la fase uso

Capítulo 6. COMPARATIVA DE LOS IMPACTOS DE LA FASE DE FABRICACIÓN CON LOS IMPACTOS DE LA FASE DE MANTENIMIENTO Y USO

VARIABLES			FASE USO							
	SE	B3	Emisiones y consumos de las instalaciones (vinculados a la envolvente)							
			Emisiones de calefacción	Emisiones de refrigeración	Emisiones totales	x 50 años de vida útil	Consumo de calefacción	Consumo de refrigeración	Consumo total energético (kWh/m ²)	x 50 años de vida útil
			(kg CO ₂ /m ²)	(kg CO ₂ /m ²)	(kg CO ₂ /m ²)		(kWh/m ²)	(kWh/m ²)		
C1 F1sub5 H1	0	1	8,60	4,50	13,10	655,00	42,90	18,10	61,00	3.050,00
C1 F2sub5 H1	0	1	8,50	4,50	13,00	650,00	42,10	18,10	60,20	3.010,00
C1 F3sub10 H1	0	1	7,60	4,50	12,10	605,00	37,90	17,90	55,80	2.790,00
C1 F4sub5 H1	0	1	8,50	4,70	13,20	660,00	42,10	19,00	61,10	3.055,00
C1 F5sub0 H1	0	1	6,00	7,00	13,00	650,00	28,10	28,00	56,10	2.805,00
C2 F1sub5 H1	0	1	8,90	4,50	13,40	670,00	44,20	18,20	62,40	3.120,00
C2 F2sub5 H1	0	1	8,80	4,60	13,40	670,00	43,40	18,60	62,00	3.100,00
C2 F3sub10 H1	0	1	7,80	4,60	12,40	620,00	38,60	18,30	56,90	2.845,00
C2 F4sub5 H1	0	1	8,80	4,60	13,40	670,00	43,50	18,60	62,10	3.105,00
C2 F5sub0 H1	0	1	5,70	6,90	12,60	630,00	28,10	27,70	55,80	2.790,00
C3 F1sub5 H1	0	1	8,50	4,50	13,00	650,00	42,30	18,00	60,30	3.015,00
C3 F2sub5 H1	0	1	8,40	4,30	12,70	635,00	41,40	17,30	58,70	2.935,00
C3 F3sub10 H1	0	1	7,50	4,20	11,70	585,00	37,40	16,90	54,30	2.715,00
C3 F4sub5 H1	0	1	8,40	4,60	13,00	650,00	41,60	18,30	59,90	2.995,00
C3 F5sub0 H1	0	1	5,30	6,90	12,20	610,00	26,50	27,50	54,00	2.700,00
C1 F1sub5 H2	0	1	8,50	4,80	13,30	665,00	41,70	18,20	59,90	2.995,00
C1 F2sub5 H2	0	1	8,30	4,60	12,90	645,00	41,10	18,30	59,40	2.970,00
C1 F3sub10 H2	0	1	7,50	4,50	12,00	600,00	36,90	18,00	54,90	2.745,00
C1 F4sub5 H2	0	1	8,30	5,00	13,30	665,00	41,00	19,10	60,10	3.005,00
C1 F5sub0 H2	0	1	5,80	6,80	12,60	630,00	27,50	28,10	55,60	2.780,00
C2 F1sub5 H2	0	1	8,70	4,60	13,30	665,00	43,10	18,30	61,40	3.070,00
C2 F2sub5 H2	0	1	8,50	4,90	13,40	670,00	42,70	18,80	61,50	3.075,00
C2 F3sub10 H2	0	1	7,60	4,90	12,50	625,00	37,60	18,60	56,20	2.810,00
C2 F4sub5 H2	0	1	8,60	4,90	13,50	675,00	42,70	18,70	61,40	3.070,00
C2 F5sub0 H2	0	1	5,50	6,70	12,20	610,00	27,50	27,80	55,30	2.765,00
C3 F1sub5 H2	0	1	8,30	4,80	13,10	655,00	41,20	18,10	59,30	2.965,00
C3 F2sub5 H2	0	1	8,20	4,60	12,80	640,00	40,80	17,40	58,20	2.910,00
C3 F3sub10 H2	0	1	7,40	4,30	11,70	585,00	36,40	17,10	53,50	2.675,00
C3 F4sub5 H2	0	1	8,10	4,90	13,00	650,00	40,50	18,50	59,00	2.950,00
C3 F5sub0 H2	0	1	5,20	6,70	11,90	595,00	26,00	27,60	53,60	2.680,00
C1 F1sub5 H3	0	1	8,40	4,50	12,90	645,00	41,70	18,20	59,90	2.995,00
C1 F2sub5 H3	0	1	7,50	4,80	12,30	615,00	37,00	19,10	56,10	2.805,00
C1 F3sub10 H3	0	1	7,50	4,80	12,30	615,00	37,00	19,10	56,10	2.805,00
C1 F4sub5 H3	0	1	8,30	4,80	13,10	655,00	41,00	19,10	60,10	3.005,00
C1 F5sub0 H3	0	1	5,90	7,00	12,90	645,00	27,50	28,10	55,60	2.780,00
C2 F1sub5 H3	0	1	8,70	4,60	13,30	665,00	43,10	18,30	61,40	3.070,00
C2 F2sub5 H3	0	1	8,60	4,70	13,30	665,00	42,70	18,80	61,50	3.075,00
C2 F3sub10 H3	0	1	7,60	4,60	12,20	610,00	37,60	18,60	56,20	2.810,00
C2 F4sub5 H3	0	1	8,60	4,70	13,30	665,00	42,70	18,70	61,40	3.070,00
C2 F5sub0 H3	0	1	5,60	6,90	12,50	625,00	27,50	27,80	55,30	2.765,00
C3 F1sub5 H3	0	1	8,30	4,50	12,80	640,00	41,20	18,10	59,30	2.965,00
C3 F2sub5 H3	0	1	8,20	4,30	12,50	625,00	40,80	17,40	58,20	2.910,00
C3 F3sub10 H3	0	1	7,40	4,30	11,70	585,00	36,40	17,10	53,50	2.675,00
C3 F4sub5 H3	0	1	8,20	4,60	12,80	640,00	40,50	18,50	59,00	2.950,00
C3 F5sub0 H3	0	1	5,20	6,90	12,10	605,00	26,00	27,60	53,60	2.680,00

Tabla 6.4 Obtención de los impactos en la fase uso

Capítulo 6. COMPARATIVA DE LOS IMPACTOS DE LA FASE DE FABRICACIÓN CON LOS IMPACTOS DE LA FASE DE MANTENIMIENTO Y USO

VARIABLES			FASE USO							
	NE	E1	Emisiones y consumos de las instalaciones (vinculados a la envolvente)							
			Emisiones de calefacción	Emisiones de refrigeración	Emisiones totales	x 50 años de vida útil	Consumo de calefacción	Consumo de refrigeración	Consumo total energético	x 50 años de vida útil
			(kg CO ₂ /m ²)	(kg CO ₂ /m ²)	(kg CO ₂ /m ²)		(kWh/m ²)	(kWh/m ²)		
C1 F1sub5 H1	1	0	27,20	0,30	27,50	1.375,00	134,30	0,70	135,00	6.750,00
C1 F2sub5 H1	1	0	26,80	0,20	27,00	1.350,00	132,60	0,70	133,30	6.665,00
C1 F3sub10 H1	1	0	24,60	0,20	24,80	1.240,00	121,70	0,70	122,40	6.120,00
C1 F4sub5 H1	1	0	26,10	0,30	26,40	1.320,00	129,40	1,30	130,70	6.535,00
C1 F5sub0 H1	1	0	26,20	1,00	27,20	1.360,00	123,50	3,90	127,40	6.370,00
C2 F1sub5 H1	1	0	27,20	0,50	27,70	1.385,00	137,50	1,30	138,80	6.940,00
C2 F2sub5 H1	1	0	27,40	0,20	27,60	1.380,00	135,70	0,90	136,60	6.830,00
C2 F3sub10 H1	1	0	24,90	0,20	25,10	1.255,00	123,60	0,70	124,30	6.215,00
C2 F4sub5 H1	1	0	27,30	0,20	27,50	1.375,00	135,30	0,80	136,10	6.805,00
C2 F5sub0 H1	1	0	24,60	1,00	25,60	1.280,00	122,00	3,90	125,90	6.295,00
C3 F1sub5 H1	1	0	26,80	0,20	27,00	1.350,00	132,80	0,70	133,50	6.675,00
C3 F2sub5 H1	1	0	26,50	0,20	26,70	1.335,00	131,20	0,70	131,90	6.595,00
C3 F3sub10 H1	1	0	24,40	0,20	24,60	1.230,00	120,90	0,70	121,60	6.080,00
C3 F4sub5 H1	1	0	26,30	0,20	26,50	1.325,00	130,40	0,60	131,00	6.550,00
C3 F5sub0 H1	1	0	23,70	1,00	24,70	1.235,00	117,40	3,90	121,30	6.065,00
C1 F1sub5 H2	1	0	26,60	0,20	26,80	1.340,00	131,90	0,90	132,80	6.640,00
C1 F2sub5 H2	1	0	26,30	0,20	26,50	1.325,00	130,30	0,90	131,20	6.560,00
C1 F3sub10 H2	1	0	24,20	0,20	24,40	1.220,00	119,70	0,70	120,40	6.020,00
C1 F4sub5 H2	1	0	26,10	0,20	26,30	1.315,00	129,40	0,80	130,20	6.510,00
C1 F5sub0 H2	1	0	25,80	1,00	26,80	1.340,00	121,90	4,20	126,10	6.305,00
C2 F1sub5 H2	1	0	27,30	0,30	27,60	1.380,00	135,30	1,30	136,60	6.830,00
C2 F2sub5 H2	1	0	26,90	0,30	27,20	1.360,00	133,60	1,40	135,00	6.750,00
C2 F3sub10 H2	1	0	24,40	0,30	24,70	1.235,00	121,20	1,40	122,60	6.130,00
C2 F4sub5 H2	1	0	26,80	0,30	27,10	1.355,00	132,90	1,30	134,20	6.710,00
C2 F5sub0 H2	1	0	24,30	1,10	25,40	1.270,00	120,30	4,40	124,70	6.235,00
C3 F1sub5 H2	1	0	26,30	0,20	26,50	1.325,00	130,50	0,90	131,40	6.570,00
C3 F2sub5 H2	1	0	26,00	0,20	26,20	1.310,00	128,60	0,90	129,50	6.475,00
C3 F3sub10 H2	1	0	23,90	0,20	24,10	1.205,00	118,40	0,70	119,10	5.955,00
C3 F4sub5 H2	1	0	25,80	0,20	26,00	1.300,00	128,10	0,80	128,90	6.445,00
C3 F5sub0 H2	1	0	23,30	1,60	24,90	1.245,00	115,40	1,60	117,00	5.850,00
C1 F1sub5 H3	1	0	26,60	0,30	26,90	1.345,00	131,90	1,00	132,90	6.645,00
C1 F2sub5 H3	1	0	26,30	0,30	26,60	1.330,00	130,40	1,00	131,40	6.570,00
C1 F3sub10 H3	1	0	24,20	0,30	24,50	1.225,00	119,80	1,10	120,90	6.045,00
C1 F4sub5 H3	1	0	26,20	0,30	26,50	1.325,00	130,00	1,00	131,00	6.550,00
C1 F5sub0 H3	1	0	25,50	1,30	26,80	1.340,00	120,50	5,40	125,90	6.295,00
C2 F1sub5 H3	1	0	27,30	0,30	27,60	1.380,00	135,10	1,20	136,30	6.815,00
C2 F2sub5 H3	1	0	26,90	0,30	27,20	1.360,00	133,20	1,30	134,50	6.725,00
C2 F3sub10 H3	1	0	24,40	0,30	24,70	1.235,00	121,10	1,10	122,20	6.110,00
C2 F4sub5 H3	1	0	27,00	0,30	27,30	1.365,00	133,80	1,20	135,00	6.750,00
C2 F5sub0 H3	1	0	26,90	0,30	27,20	1.360,00	133,20	1,30	134,50	6.725,00
C3 F1sub5 H3	1	0	26,40	0,30	26,70	1.335,00	131,00	1,00	132,00	6.600,00
C3 F2sub5 H3	1	0	26,00	0,30	26,30	1.315,00	128,90	1,00	129,90	6.495,00
C3 F3sub10 H3	1	0	24,00	0,30	24,30	1.215,00	118,80	1,10	119,90	5.995,00
C3 F4sub5 H3	1	0	25,90	0,20	26,10	1.305,00	128,50	1,00	129,50	6.475,00
C3 F5sub0 H3	1	0	23,20	1,20	24,40	1.220,00	114,90	4,70	119,60	5.980,00

Tabla 6.4 Obtención de los impactos en la fase uso

Capítulo 6. COMPARATIVA DE LOS IMPACTOS DE LA FASE DE FABRICACIÓN CON LOS IMPACTOS DE LA FASE DE MANTENIMIENTO Y USO

VARIABLES			FASE USO							
	SE	E1	Emisiones y consumos de las instalaciones (vinculados a la envolvente)							
			Emisiones de calefacción	Emisiones de refrigeración	Emisiones totales	x 50 años de vida útil	Consumo de calefacción	Consumo de refrigeración	Consumo tot energético	x 50 años de vida útil
			(kg CO ₂ /m ²)	(kg CO ₂ /m ²)	(kg CO ₂ /m ²)		(kWh/m ²)	(kWh/m ²)	(kWh/m ²)	
C1 F1sub5 H1	0	0	27,20	0,30	27,50	1.375,00	134,60	1,30	135,90	6.795,00
C1 F2sub5 H1	0	0	26,70	0,30	27,00	1.350,00	132,50	1,30	133,80	6.690,00
C1 F3sub10 H1	0	0	24,60	0,30	24,90	1.245,00	121,80	1,30	123,10	6.155,00
C1 F4sub5 H1	0	0	26,60	0,30	26,90	1.345,00	131,90	1,30	133,20	6.660,00
C1 F5sub0 H1	0	0	26,20	1,00	27,20	1.360,00	123,60	4,20	127,80	6.390,00
C2 F1sub5 H1	0	0	27,70	0,30	28,00	1.400,00	137,50	1,30	138,80	6.940,00
C2 F2sub5 H1	0	0	27,40	0,30	27,70	1.385,00	135,60	1,30	136,90	6.845,00
C2 F3sub10 H1	0	0	24,90	0,30	25,20	1.260,00	123,50	1,30	124,80	6.240,00
C2 F4sub5 H1	0	0	27,30	0,30	27,60	1.380,00	135,30	1,30	136,60	6.830,00
C2 F5sub0 H1	0	0	24,60	1,10	25,70	1.285,00	121,80	4,40	126,20	6.310,00
C3 F1sub5 H1	0	0	26,80	0,30	27,10	1.355,00	132,70	1,30	134,00	6.700,00
C3 F2sub5 H1	0	0	23,90	0,20	24,10	1.205,00	131,10	1,30	132,40	6.620,00
C3 F3sub10 H1	0	0	24,40	0,30	24,70	1.235,00	120,80	1,30	122,10	6.105,00
C3 F4sub5 H1	0	0	26,30	0,30	26,60	1.330,00	130,20	1,30	131,50	6.575,00
C3 F5sub0 H1	0	0	23,70	1,00	24,70	1.235,00	117,30	4,20	121,50	6.075,00
C1 F1sub5 H2	0	0	26,70	0,30	27,00	1.350,00	132,40	1,30	133,70	6.685,00
C1 F2sub5 H2	0	0	26,30	0,30	26,60	1.330,00	130,30	1,30	131,60	6.580,00
C1 F3sub10 H2	0	0	24,20	0,30	24,50	1.225,00	119,70	1,40	121,10	6.055,00
C1 F4sub5 H2	0	0	26,10	0,30	26,40	1.320,00	129,40	1,30	130,70	6.535,00
C1 F5sub0 H2	0	0	25,80	1,00	26,80	1.340,00	121,90	4,20	126,10	6.305,00
C2 F1sub5 H2	0	0	27,30	0,30	27,60	1.380,00	135,20	1,30	136,50	6.825,00
C2 F2sub5 H2	0	0	26,90	0,30	27,20	1.360,00	133,60	1,40	135,00	6.750,00
C2 F3sub10 H2	0	0	24,40	0,30	24,70	1.235,00	121,20	1,40	122,60	6.130,00
C2 F4sub5 H2	0	0	26,80	0,30	27,10	1.355,00	132,90	1,30	134,20	6.710,00
C2 F5sub0 H2	0	0	24,30	1,10	25,40	1.270,00	120,30	4,40	124,70	6.235,00
C3 F1sub5 H2	0	0	26,40	0,30	26,70	1.335,00	130,60	1,30	131,90	6.595,00
C3 F2sub5 H2	0	0	26,00	0,30	26,30	1.315,00	128,70	1,30	130,00	6.500,00
C3 F3sub10 H2	0	0	23,90	0,30	24,20	1.210,00	118,30	0,70	119,00	5.950,00
C3 F4sub5 H2	0	0	25,80	0,30	26,10	1.305,00	128,00	1,30	129,30	6.465,00
C3 F5sub0 H2	0	0	23,30	1,00	24,30	1.215,00	115,40	4,20	119,60	5.980,00
C1 F1sub5 H3	0	0	26,70	0,40	27,10	1.355,00	132,20	1,80	134,00	6.700,00
C1 F2sub5 H3	0	0	26,30	0,40	26,70	1.335,00	130,30	1,80	132,10	6.605,00
C1 F3sub10 H3	0	0	24,30	0,50	24,80	1.240,00	120,20	1,80	122,00	6.100,00
C1 F4sub5 H3	0	0	26,30	0,40	26,70	1.335,00	130,60	1,70	132,30	6.615,00
C1 F5sub0 H3	0	0	25,50	1,20	26,70	1.335,00	120,60	4,70	125,30	6.265,00
C2 F1sub5 H3	0	0	27,30	0,40	27,70	1.385,00	135,50	1,80	137,30	6.865,00
C2 F2sub5 H3	0	0	26,90	0,40	27,30	1.365,00	133,50	1,80	135,30	6.765,00
C2 F3sub10 H3	0	0	24,50	0,50	25,00	1.250,00	121,60	1,80	123,40	6.170,00
C2 F4sub5 H3	0	0	26,90	0,40	27,30	1.365,00	133,40	1,70	135,10	6.755,00
C2 F5sub0 H3	0	0	24,10	1,20	25,30	1.265,00	119,60	4,90	124,50	6.225,00
C3 F1sub5 H3	0	0	26,50	0,40	26,90	1.345,00	131,20	1,80	133,00	6.650,00
C3 F2sub5 H3	0	0	26,00	0,50	26,50	1.325,00	129,00	1,80	130,80	6.540,00
C3 F3sub10 H3	0	0	24,10	0,50	24,60	1.230,00	119,40	1,90	121,30	6.065,00
C3 F4sub5 H3	0	0	26,00	0,40	26,40	1.320,00	128,80	1,70	130,50	6.525,00
C3 F5sub0 H3	0	0	23,20	1,20	24,40	1.220,00	114,90	4,70	119,60	5.980,00

Tabla 6.4 Obtención de los impactos en la fase uso.

Los resultados obtenidos se interpretan en el apartado 6.5.

6.4 Obtención de resultados relativos a los costes

Para poder comparar el ahorro económico que representa la adopción de una solución constructiva respecto de otra, es necesario comparar los costes en todas las fases del ciclo de vida. A continuación se desglosan los resultados obtenidos al calcular los costes de inversión y la valoración de los consumos energéticos derivados de las diferentes soluciones constructivas en cada fase del ciclo de vida.

6.4.1 Resultados de los costes en la fase de fabricación y puesta en obra

En la fase de fabricación se deberán tener en cuenta los costes de inversión y la valoración de los consumos energéticos debidos a la fabricación y puesta en obra de los materiales.

La valoración de los costes de inversión de los diferentes elementos constructivos definidos en el apartado 5.4.4.1.1 se ha realizado utilizando la herramienta TCQ2000. El coste de cada elemento se ha obtenido multiplicando el PEM por el factor de superficie F_s según se ha descrito en el apartado 5.4.4.3.1.

La valoración de la energía consumida en la fase de fabricación y puesta en obra se ha calculado según se ha explicado en el apartado 5.4.4.3.4 mediante la expresión:

$$Te = C \times 0,181126 \quad [3]$$

donde,

C= consumo

Precio del kWh electricidad = 0,181126 €/m²

En la tabla 6.5 se han recopilado los costes energéticos y los costes de inversión de los elementos constructivos durante la fase de fabricación y puesta en obra. En la primera columna se listan los elementos constructivos evaluados definidos en el apartado 5.4.4.1.1 del capítulo 5. En la segunda columna se indica el Factor de Superficie F_s calculado según se ha descrito en el apartado 5.4.4.3 para el caso de estudio, considerando la parte proporcional de cada elemento constructivo por metro cuadrado de superficie útil. En la segunda fila sombreada en gris se especifican las categorías de impacto, en este caso en la tercera columna se valora el consumo energético caracterizado por el coste de la electricidad y en la cuarta columna se valora el coste de inversión.

VARIABLES	Fs	AMBIENTALES DE LA FASE DE FABRICACIÓN Y PUE	
		Valoración del consumo (electricidad) (€)	Costes Inversión (€)
C1	0,72	70,87	109,09
C2	0,72	61,61	103,02
C3	0,72	54,62	77,27
F1	0,53	20,95	52,07
F2	0,53	12,91	40,48
F3	0,53	20,67	46,72
F4	0,53	18,49	67,88
F5	0,53	39,83	402,12
H1	0,17	37,07	39,37
H2	0,17	22,90	37,22
H3	0,17	5,23	42,14

Tabla 6.5 Costes de la energía consumida y costes de inversión de los elementos constructivos

6.4.2 Resultados de los costes en la fase de mantenimiento de las soluciones constructivas de la envolvente

El coste de ejecución material de la fase de mantenimiento se ha calculado, según se ha descrito en el apartado 5.4.4.3.4, considerando PEM de los materiales que integran cada solución constructiva cuya vida útil es inferior al periodo de vida útil del edificio. Para ello, se ha multiplicado el coste de cada uno de estos materiales por el número de veces que dicho material será sustituido previsiblemente a lo largo de la vida útil del

Capítulo 6. COMPARATIVA DE LOS IMPACTOS DE LA FASE DE FABRICACIÓN CON LOS IMPACTOS DE LA FASE DE MANTENIMIENTO Y USO

edificio. La valoración de la energía consumida en la fase de fabricación y puesta en obra se ha calculado según se ha explicado en el apartado 5.4.4.3.4.

La tabla 6.6 muestra los datos correspondientes a los costes de inversión y a los costes de los consumos energéticos en la fase de mantenimiento.

C1				Cubierta plana, caliente, continua, convencional, transitable				coste mantenimiento corrector			
material				Vida útil	FR	coste mantenimiento 1 año (€)	coste mantenimiento 50 años (€)	Valoración consumo (electricidad) 1 año (€)	Valoración consumo (electricidad) 50 años (€)		
1	P	Capa de protección solado fijo mediante baldosa de gres	50	1							
2	MA	Mortero de áridos ligeros de agarre o nivelación	37	1,35	6,91	9,34	1,90	2,57			
3	Csa	Geotextil de polipropileno de 125 gr/m ²	30	1,67	2,14	3,57	0,57	0,95			
4	I	Dos láminas de oxiasfalto la primera LO-40/FV	23	2,17	33,12	72	12,24	26,61			
5	Cs	Geotextil de polipropileno de 125 gr/m ²	30	1,67	2,14	3,57	0,57	0,95			
6	AT	Aislamiento térmico de XPS con CO2 [0.038 W/mK]	60	1							
7	B	Betún fieltro o lámina (Barrera de vapor)	61	1							
8	FP	Formación de pendiente hormigón celular curado en autoclave	50	1							
9	SR	Soporte resistente con entrevigado cerámico	50	1							
10	RI	Enlucido de yeso	46	1,09	4,83	5,25	0,97	0,20			
Totales			78		49,14	93,72	16,25	31,28			

C2				Cubierta plana, ventilada, transitable				coste mantenimiento corrector			
material				Vida útil	FR	coste mantenimiento 1 año (€)	coste mantenimiento 50 años (€)	Valoración consumo (electricidad) 1 año (€)	Valoración consumo (electricidad) 50 años (€)		
1	P	Capa de protección solado fijo mediante baldosa de gres	50	1							
2	MA	Mortero de áridos ligeros de agarre o nivelación	37	1,35	6,91	9,34	1,90	2,57			
3	Csa	Geotextil de polipropileno de 125 gr/m ²	30	1,67	2,14	3,57	0,57	0,95			
4	I	Dos láminas de oxiasfalto LO-40/FV	23	2,17	33,12	72	12,24	26,61			
5	Cs	Geotextil de polipropileno-polietileno de 125 gr/m ²	30	1,67	2,14	3,57	0,57	0,95			
6	FP	Formación de pendientes, tablero cerámico, bardo de 3,5	60	1							
7	C	Cámara de aire ventilada									
8	AT	Aislamiento no hidrófilo, MW Lana mineral [0.04 W/mK] 4	50	1							
9	SR	Soporte resistente con entrevigado cerámico	50	1							
10	RI	Enlucido de yeso	46	1,09	4,83	5,25	0,97	0,20			
Totales			78		49,14	93,72	16,25	31,28			

C3				Cubierta plana, invertida, no transitable				coste mantenimiento corrector			
material				Vida útil	FR	coste mantenimiento 1 año (€)	coste mantenimiento 50 años (€)	Valoración consumo (electricidad) 1 año (€)	Valoración consumo (electricidad) 50 años (€)		
1	P	Capa de grava triturada silícea	50	1							
2	Csa	Geotextil de polipropileno de 125 gr/m ²	30	1,67	2,14	2,14	0,57	0,95			
3	AT	Aislamiento térmico de XPS con CO2 [0.038 W/mK]	60	1							
4	Cs	Subcapa de fieltro	30	1,67	33,12	55,2	12,24	20,40			
5	I	Dos láminas de oxiasfalto la primera LO-40/FP	23	2,17	2,14	4,65	0,57	1,24			
6	FP	Formación de pendiente hormigón celular curado en autoclave	60	1							
7	SR	Soporte resistente con entrevigado cerámico	50	1							
8	RI	Enlucido de yeso	46	1,09	4,83	5,25	0,97	1,05			
Totales			78		42,23	67,24	14,35	23,64			

6	RI	Enlucido de yeso	46	1,09	4,83	5,25	0,97	1,05		
Totales			81		17,71	22,66	2,08	2,55		

F3				Fachada convencional de fábrica para revestir y aislamiento de 10 cm				coste mantenimiento corrector			
material				Vida útil	FR	coste mantenimiento o 1 año (€)	coste mantenimiento o 50 años (€)	Valoración consumo (electricidad) 1 año (€)	Valoración consumo (electricidad) 50 años (€)		
1	RM	Enfoscado por la cara exterior de la hoja principal con cemento y arena (1:6)	37	1,35	12,88	17,41	1,11	1,50			
2	LC	Hoja exterior de ladrillo hueco para revestir tomado con mortero 1:6 de cemento y arena	81	1,00							

Capítulo 6. COMPARATIVA DE LOS IMPACTOS DE LA FASE DE FABRICACIÓN CON LOS IMPACTOS DE LA FASE DE MANTENIMIENTO Y USO

F2	Fachada convencional de fábrica para revestir y aislamiento de 5 cm	coste mantenimiento corrector					
	material	Vida útil	FR	coste mantenimiento 1 año (€)	coste mantenimiento 50 años (€)	Valoración consumo (electricidad) 1 año (€)	Valoración consumo (electricidad) 50 años (€)
1	RM_ Enfoscado por la cara exterior de la hoja principal con cemento y arena (1:6)	37	1,35	12,88	17,41	1,11	1,50
2	mortero 1:6 de cemento y arena, enfoscado por la cara exterior	81	1,00				
3	C_ Cámara de aire ligeramente no ventilada						
4	AT_ Aislamiento no hidrófilo, MW Lana mineral [0.04 W/mK] 40,00	50	1,00				
5	LH_ Hoja interior de ladrillo cerámico de hueco dobletomado con mortero 1:6 de cemento y arena	81	1,00				
6	RI_ Enlucido de yeso	46	1,09	4,83	5,25	0,97	1,05
Totales		81		17,71	22,66	2,08	2,55

F3	Fachada convencional de fábrica para revestir y aislamiento de 10 cm	coste mantenimiento corrector					
	material	Vida útil	FR	coste mantenimiento 1 año (€)	coste mantenimiento 50 años (€)	Valoración consumo (electricidad) 1 año (€)	Valoración consumo (electricidad) 50 años (€)
1	RM_ Enfoscado por la cara exterior de la hoja principal con cemento y arena (1:6)	37	1,35	12,88	17,41	1,11	1,50
2	LC_ Hoja exterior de ladrillo hueco para revestir tomado con mortero 1:6 de cemento y arena	81	1,00				
3	C_ Cámara de aire ligeramente ventilada						
4	AT_ Aislamiento no hidrófilo, MW Lana mineral [0.04 W/mK] 40,00	50	1,00				
5	LH_ Hoja interior de ladrillo cerámico de hueco tomado con mortero 1:6 de cemento y arena	81	1,00				
6	RI_ Enlucido de yeso	46	1,09	4,83	5,25	0,97	1,05
Totales		81		17,71	22,66	2,08	2,55

F4	Fachada ventilada de gres, soporte de fábrica	coste mantenimiento corrector					
	material	Vida útil	FR	coste mantenimiento 1 año (€)	coste mantenimiento 50 años (€)	Valoración consumo (electricidad) 1 año (€)	Valoración consumo (electricidad) 50 años (€)
1	RE_ Hoja exterior de gres porcelánico	81	1,00	12,88	12,88	1,11	1,11
2	C_ Cámara de aire ventilada						
3	Subestructura a base de perfiles verticales y perfiles horizontales de aluminio tipo T	50	1,00				
4	Sistema de anclaje de acero inoxidable	50	1,00				
5	AT_ Aislamiento no hidrófilo, MW Lana mineral [0.04 W/mK] 40,00	50	1,00				
6	RM_ Enfoscado por la cara exterior de la hoja principal con cemento y arena (1:6)	37	1,35	4,83	6,53	0,97	1,30
7	LC_ Hoja interior de ladrillo hueco para revestir tomado con mortero 1:6 de cemento y arena.	81	1,00				
7	RI_ Enlucido de yeso	46	1,09	4,83	5,25	0,97	1,05
Totales		81		9,66	11,78	1,93	2,35

F5	Fachada ligera de vidrio, estructura portante de aluminio	coste mantenimiento corrector					
	material	Vida útil	FR	coste mantenimiento 1 año (€)	coste mantenimiento 50 años (€)	Valoración consumo (electricidad) 1 año (€)	Valoración consumo (electricidad) 50 años (€)
1	Paneles de doble acristalamiento 6+8+6, los vidrios bajo emisivos	40	1,25	122,67	153,34	42,73	53,42
2	Subestructura a base de perfiles verticales y perfiles horizontales de aluminio tipo T.	50	1,00				
3	Cámara de aire seco de 8 mm de espesor.						
4	AT_ Aislamiento no hidrófilo, MW Lana mineral [0.04 W/mK]	50	1,00				
5	Paneles opacos a base de bandejas de aluminio	50	1,00				
6	Aislamiento de XPS de alta densidad (núcleo del sandwich)	60	1,00				
7	Sistema de anclaje de acero inoxidable	50	1,00				
Totales		50		122,67	153,34	42,73	53,42

Capítulo 6. COMPARATIVA DE LOS IMPACTOS DE LA FASE DE FABRICACIÓN CON LOS IMPACTOS DE LA FASE DE MANTENIMIENTO Y USO

H1	Carpintería de aluminio con rotura de puente térmico			coste mantenimiento corrector			
	material	Vida útil	FR	coste mantenimiento 1 año (€)	coste mantenimiento 50 años (€)	Valoración consumo (electricidad) 1 año (€)	Valoración consumo (electricidad) 50 años (€)
1	Doble acristalamiento 6+6+6, los vidrios bajo emisivos	40	1,25	122,67	153,34	42,73	53,42
2	Marco de aluminio con rotura de puente térmico 10%	50	1,00				
3	Masilla de silicona neutra	20	2,50	4,76	11,90	0,44	1,10
4	Cámara de aire seco de 6 mm de espesor						
5	Herrajes de acero	50	1,00				
6	Premarco tubo acero galv.40x20mm	50	1,00				
Totales		30		127,43	165,24	43,17	54,52

H2	Carpintería de PVC con rotura de puente térmico			coste mantenimiento corrector			
	material	Vida útil	FR	coste mantenimiento 1 año (€)	coste mantenimiento 50 años (€)	Valoración consumo (electricidad) 1 año (€)	Valoración consumo (electricidad) 50 años (€)
1	Doble acristalamiento 6+6+6, los vidrios bajo emisivos	40	1,25	122,67	153,34	42,73	53,42
2	Marco de pvc con tres cámaras	60	1,00				
3	Masilla de silicona neutra	20	2,50	4,76	11,90	0,44	1,10
4	Cámara de aire seco de 6 mm de espesor.						
5	Herrajes de acero	50	1,00				
6	Premarco tubo acero galv.40x20mm	50	1,00				
Totales		30		127,43	165,24	43,17	54,52

H3	Carpintería de madera con rotura de puente térmico			coste mantenimiento corrector			
	material	Vida útil	FR	coste mantenimiento 1 año (€)	coste mantenimiento 50 años (€)	Valoración consumo (electricidad) 1 año (€)	Valoración consumo (electricidad) 50 años (€)
1	Doble acristalamiento 6+6+6, los vidrios bajo emisivos	40	1,25	122,67	153,34	42,73	53,42
2	Marco de madera de densidad media alta	40	1,25	195,35	244,19	3,76	4,70
3	Masilla de silicona neutra	20	2,50	4,76	11,90	0,44	1,10
4	Cámara de aire seco de 6 mm de espesor.						
5	Herrajes de acero	50	1,00				
6	Premarco de madera 40x20mm	50	1,00				
Totales		30		322,78	409,43	46,93	59,21

Tabla 6.6 Costes de inversión y costes de los consumos energéticos en la fase de mantenimiento.

Los resultados obtenidos se interpretan en el apartado 6.5.

6.4.3 Resultados de los costes en la fase uso de las soluciones constructivas de la envolvente

Durante la fase uso se han considerado exclusivamente los costes debidos a la valoración de los consumos energéticos de las instalaciones de climatización que se muestran en la tabla 6.7. Esta tabla se divide en dos grupos, el primer grupo contiene tres columnas: en la primera se listan las variables que se evalúan en cada caso, es decir las 45 combinaciones de las soluciones constructivas definidas en el apartado 5.4.4.1.1; en la segunda se indica la orientación y en la tercera la zona climática. El segundo grupo corresponde a la fase uso del edificio y tiene dos columnas: en la primera se listan los costes correspondientes a la valoración del consumo energético debido a las instalaciones de climatización durante 1 año y en la segunda se listan estos costes durante 50 años.

Capítulo 6. COMPARATIVA DE LOS IMPACTOS DE LA FASE DE FABRICACIÓN CON LOS IMPACTOS DE LA FASE DE MANTENIMIENTO Y USO

Las soluciones constructivas con mejor y peor comportamiento medioambiental en cuanto a los costes de los consumos, durante la fase de uso se han sombreado según el código de colores siguiente:

MIN
SEGUNDO MÁS PEQ
MAX
SEGUNDO MÁS GRANDE

	VARIABLES		USO		
		Orientación	Zona climática	Valoración del consumo	
				Euros/m ² 1 año	Euros/m ² 50 años
1	C1 F1sub5 H1	NE	B3	11,25	562,40
2	C1 F2sub5 H1	NE	B3	11,12	556,06
3	C1 F3sub10 H1	NE	B3	10,27	513,49
4	C1 F4sub5 H1	NE	B3	11,23	561,49
5	C1 F5sub0 H1	NE	B3	9,96	498,10
6	C2 F1sub5 H1	NE	B3	11,50	575,08
7	C2 F2sub5 H1	NE	B3	11,43	571,45
8	C2 F3sub10 H1	NE	B3	10,49	524,36
9	C2 F4sub5 H1	NE	B3	11,45	572,36
10	C2 F5sub0 H1	NE	B3	9,89	494,47
11	C3 F1sub5 H1	NE	B3	11,05	552,43
12	C3 F2sub5 H1	NE	B3	10,78	538,85
13	C3 F3sub10 H1	NE	B3	9,94	497,19
14	C3 F4sub5 H1	NE	B3	11,03	551,53
15	C3 F5sub0 H1	NE	B3	9,55	477,27
16	C1 F1sub5 H2	NE	B3	11,08	554,25
17	C1 F2sub5 H2	NE	B3	10,96	547,91
18	C1 F3sub10 H2	NE	B3	10,16	508,06
19	C1 F4sub5 H2	NE	B3	11,05	552,43
20	C1 F5sub0 H2	NE	B3	9,89	494,47
21	C2 F1sub5 H2	NE	B3	11,12	556,06
22	C2 F2sub5 H2	NE	B3	11,25	562,40
23	C2 F3sub10 H2	NE	B3	10,32	516,21
24	C2 F4sub5 H2	NE	B3	11,27	563,30
25	C2 F5sub0 H2	NE	B3	9,84	491,76
26	C3 F1sub5 H2	NE	B3	10,94	547,00
27	C3 F2sub5 H2	NE	B3	10,67	533,42
28	C3 F3sub10 H2	NE	B3	9,76	488,13
29	C3 F4sub5 H2	NE	B3	10,85	542,47
30	C3 F5sub0 H2	NE	B3	9,49	474,55
31	C1 F1sub5 H3	NE	B3	11,08	554,25
32	C1 F2sub5 H3	NE	B3	10,96	547,91
33	C1 F3sub10 H3	NE	B3	10,16	508,06
34	C1 F4sub5 H3	NE	B3	11,05	552,43
35	C1 F5sub0 H3	NE	B3	9,89	494,47
36	C2 F1sub5 H3	NE	B3	11,32	566,02
37	C2 F2sub5 H3	NE	B3	11,25	562,40
38	C2 F3sub10 H3	NE	B3	10,32	516,21
39	C2 F4sub5 H3	NE	B3	11,27	563,30
40	C2 F5sub0 H3	NE	B3	9,84	491,76
41	C3 F1sub5 H3	NE	B3	10,94	547,00
42	C3 F2sub5 H3	NE	B3	10,67	533,42
43	C3 F3sub10 H3	NE	B3	9,76	488,13
44	C3 F4sub5 H3	NE	B3	10,85	542,47
45	C3 F5sub0 H3	NE	B3	9,49	474,55

Tabla 6.7 Costes de los consumos energéticos en la fase de uso

En la tabla 6.8, se muestran los costes de inversión y los costes energéticos vinculados a las diferentes soluciones constructivas, en todas las fases del ciclo de vida. La tabla se divide en cuatro grupos de columnas, el primer grupo contiene tres columnas: en

Capítulo 6. COMPARATIVA DE LOS IMPACTOS DE LA FASE DE FABRICACIÓN CON LOS IMPACTOS DE LA FASE DE MANTENIMIENTO Y USO

la primera se listan las variables que se evalúan en cada caso, es decir las 45 combinaciones de las soluciones constructivas definidas en el apartado 5.4.4.1.1; en la segunda se indica la orientación y en la tercera la zona climática. El segundo grupo corresponde a la fase de fabricación y puesta en obra y tiene dos columnas: en la primera se listan los costes correspondientes a la valoración del consumo energético en esta fase y en la segunda los costes de inversión. El tercer grupo corresponde a la fase del mantenimiento corrector, considerando un periodo de 50 años, y tiene dos columnas: en la primera se listan los costes correspondientes a la valoración del mantenimiento corrector y en la segunda se listan los costes correspondientes a la valoración del consumo energético en esa fase. El cuarto grupo corresponde a la fase uso del edificio y contiene una columna con los datos de la valoración del consumo energético durante un periodo de 50 años.

Capítulo 6. COMPARATIVA DE LOS IMPACTOS DE LA FASE DE FABRICACIÓN CON LOS IMPACTOS DE LA FASE DE MANTENIMIENTO Y USO

	VARIABLES			FABRICACIÓN		MANTENIMIENTO		USO
		Orientación	Zona climática	Valoración del consumo	Costes de inversión	Costes mantenimiento	Valoración del consumo	Valoración del consumo
				Euros/m ²	Euros/m ²	Euros/m ²	Euros/m ² 50 años	Euros/m ² 50 años
1	C1 F1sub5 H1	NE	B3	128,88	200,53	107,58	33,14	562,40
2	C1 F2sub5 H1	NE	B3	120,84	188,94	107,58	33,14	556,06
3	C1 F3sub10 H1	NE	B3	128,60	195,18	107,58	33,14	513,49
4	C1 F4sub5 H1	NE	B3	126,42	216,34	101,81	33,04	561,49
5	C1 F5sub0 H1	NE	B3	147,77	550,58	176,84	60,10	498,10
6	C2 F1sub5 H1	NE	B3	119,62	194,46	107,58	33,14	575,08
7	C2 F2sub5 H1	NE	B3	111,58	182,87	107,58	33,14	571,45
8	C2 F3sub10 H1	NE	B3	119,34	189,11	107,58	33,14	524,36
9	C2 F4sub5 H1	NE	B3	117,17	210,27	101,81	33,04	572,36
10	C2 F5sub0 H1	NE	B3	138,51	544,52	176,84	60,10	494,47
11	C3 F1sub5 H1	NE	B3	112,63	168,71	88,51	27,64	552,43
12	C3 F2sub5 H1	NE	B3	104,59	157,12	88,51	27,64	538,85
13	C3 F3sub10 H1	NE	B3	112,35	163,36	88,51	27,64	497,19
14	C3 F4sub5 H1	NE	B3	110,18	184,52	82,75	27,54	551,53
15	C3 F5sub0 H1	NE	B3	131,52	518,76	157,77	54,60	477,27
16	C1 F1sub5 H2	NE	B3	114,71	198,38	107,58	33,14	554,25
17	C1 F2sub5 H2	NE	B3	106,67	186,80	107,58	33,14	547,91
18	C1 F3sub10 H2	NE	B3	114,43	193,03	107,58	33,14	508,06
19	C1 F4sub5 H2	NE	B3	112,26	214,19	101,81	33,04	552,43
20	C1 F5sub0 H2	NE	B3	133,60	548,44	176,84	60,10	494,47
21	C2 F1sub5 H2	NE	B3	105,46	192,31	107,58	33,14	556,06
22	C2 F2sub5 H2	NE	B3	97,42	180,73	107,58	33,14	562,40
23	C2 F3sub10 H2	NE	B3	105,18	186,96	107,58	33,14	516,21
24	C2 F4sub5 H2	NE	B3	103,00	208,12	101,81	33,04	563,30
25	C2 F5sub0 H2	NE	B3	124,34	542,37	176,84	60,10	491,76
26	C3 F1sub5 H2	NE	B3	98,47	166,56	88,51	27,64	547,00
27	C3 F2sub5 H2	NE	B3	90,43	154,97	88,51	27,64	533,42
28	C3 F3sub10 H2	NE	B3	98,19	161,21	88,51	27,64	488,13
29	C3 F4sub5 H2	NE	B3	96,01	182,37	82,75	27,54	542,47
30	C3 F5sub0 H2	NE	B3	117,36	516,61	157,77	54,60	474,55
31	C1 F1sub5 H3	NE	B3	97,04	203,30	149,09	33,94	554,25
32	C1 F2sub5 H3	NE	B3	89,00	191,72	149,09	33,94	547,91
33	C1 F3sub10 H3	NE	B3	96,76	197,96	149,09	33,94	508,06
34	C1 F4sub5 H3	NE	B3	94,59	219,11	143,32	33,83	552,43
35	C1 F5sub0 H3	NE	B3	115,93	553,36	218,35	60,90	494,47
36	C2 F1sub5 H3	NE	B3	87,78	197,24	149,09	33,94	566,02
37	C2 F2sub5 H3	NE	B3	79,74	185,65	149,09	33,94	562,40
38	C2 F3sub10 H3	NE	B3	87,51	191,89	149,09	33,94	516,21
39	C2 F4sub5 H3	NE	B3	85,33	213,04	143,32	33,83	563,30
40	C2 F5sub0 H3	NE	B3	106,67	547,29	218,35	60,90	491,76
41	C3 F1sub5 H3	NE	B3	80,80	171,48	130,03	28,44	547,00
42	C3 F2sub5 H3	NE	B3	72,76	159,89	130,03	28,44	533,42
43	C3 F3sub10 H3	NE	B3	80,52	166,13	130,03	28,44	488,13
44	C3 F4sub5 H3	NE	B3	78,34	187,29	124,26	28,33	542,47
45	C3 F5sub0 H3	NE	B3	99,69	521,54	199,29	55,40	474,55

Tabla 6.8 Costes de inversión y costes del consumo en las fases de fabricación, mantenimiento y uso.

6.5 Interpretación de los Resultados

Siguiendo la metodología propuesta en el capítulo 5, los valores calculados de los impactos, servirán para poder desarrollar las fórmulas de los indicadores en el capítulo 7. Además, a partir del análisis de estos resultados se pueden extraer las

Capítulo 6. COMPARATIVA DE LOS IMPACTOS DE LA FASE DE FABRICACIÓN CON LOS IMPACTOS DE LA FASE DE MANTENIMIENTO Y USO

siguientes conclusiones acerca del comportamiento medioambiental de las soluciones constructivas evaluadas:

- Existen impactos que se generan principalmente en las fases iniciales del ciclo de vida como el consumo de agua y la generación de residuos y afectan en una proporción menor en las fases de mantenimiento y uso. Estos impactos dependen fundamentalmente de las soluciones constructivas evaluadas y no varían en función de la orientación ni de la zona climática.

En cuanto al consumo de agua, como se deduce de la figura 6.1; las soluciones que combinan la fachada ligera F5 o la fachada ventilada F4 con la cubierta ventilada C2 consumen menos agua en la fase de fabricación.

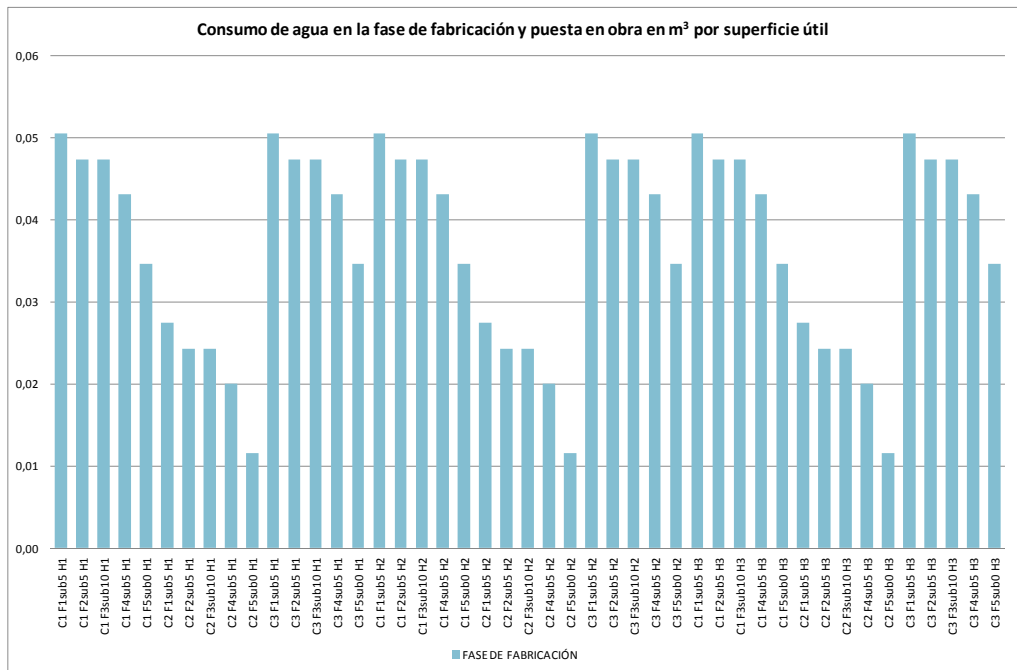


Figura 6.1 Comparativa del impacto generado por el consumo de agua de las diferentes soluciones constructivas

- La diferencia entre la solución que consume menos agua C2F5H1 (0,01 m³) y las soluciones que consumen más agua C1F1H1 (0,05m³) ó C3F1H1 (0,05m³) es de 0,04 m³ de agua por m² de superficie útil (tabla 6.9), lo que supone un 80% menos de agua.

En la tabla 6.9 se muestran dos columnas, en la columna de la izquierda se listan las combinaciones de la envolvente y en la columna de la derecha se listan los resultados correspondientes al consumo de agua de cada una de las combinaciones. El color verde representa el mejor resultado, la tonalidad verde va perdiendo intensidad a medida que aumenta el valor del impacto. El tono anaranjado indica que el impacto va siendo mayor y el tono rojo representa el peor valor posible.

Capítulo 6. COMPARATIVA DE LOS IMPACTOS DE LA FASE DE FABRICACIÓN CON LOS IMPACTOS DE LA FASE DE MANTENIMIENTO Y USO

VARIABLES	FABRICACIÓN
	Agua
	Consumo
	(m ³)
C1 F1sub5 H1	0,05
C1 F2sub5 H1	0,05
C1 F3sub10 H1	0,05
C1 F4sub5 H1	0,04
C1 F5sub0 H1	0,03
C2 F1sub5 H1	0,03
C2 F2sub5 H1	0,02
C2 F3sub10 H1	0,02
C2 F4sub5 H1	0,02
C2 F5sub0 H1	0,01
C3 F1sub5 H1	0,05
C3 F2sub5 H1	0,05
C3 F3sub10 H1	0,05
C3 F4sub5 H1	0,04
C3 F5sub0 H1	0,03

Tabla 6.9 Consumo de agua de las diferentes soluciones constructivas

- La carpintería seleccionada no influye en el consumo de agua en la fase de fabricación.

En general consumen más agua las combinaciones que incorporan hormigón o mortero en su fase de ejecución y consumen menos agua las combinaciones que integran soluciones prefabricadas.

En términos absolutos, la adopción de la solución C2F5H1 implicaría un ahorro de 40 litros de agua por m² en la fase de fabricación. Este dato no parece muy significativo si lo comparamos con el consumo medio de agua en los hogares españoles ya que representa un 25% respecto del consumo diario por habitante y día que es de unos 154 litros (INE, 2008). Ahora bien, el agua tiene un valor económico, social y ambiental, por lo que cualquier actuación pública o privada está obligada a tener en cuenta esta triple dimensión; además, si consideramos la vivienda completa la adopción de la solución C2F5H1 implicaría un ahorro de 3740 litros de agua respecto de la solución C3F1H1.

En cuanto a la generación de residuos inertes y no peligrosos, como se deduce de la tabla 6.10; las soluciones que combinan la fachada ligera con la cubierta invertida C3F5 son las que generan menos residuos en la fase de fabricación y puesta en obra.

Capítulo 6. COMPARATIVA DE LOS IMPACTOS DE LA FASE DE FABRICACIÓN CON LOS IMPACTOS DE LA FASE DE MANTENIMIENTO Y USO

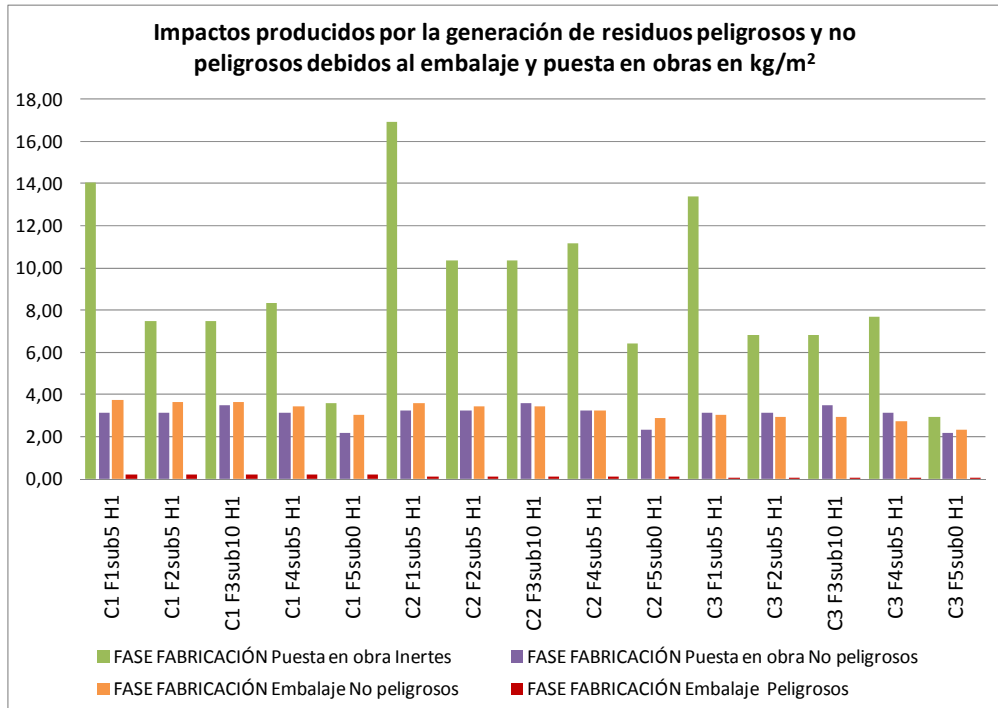


Figura 6.2 Comparativa del impacto debido a los residuos generados por las diferentes soluciones constructivas

En la tabla 6.10 se muestran cinco columnas, en la columna de la izquierda se listan las combinaciones de la envolvente y en las cuatro columnas de la derecha se listan los resultados correspondientes a los residuos generados en el siguiente orden, residuos inertes y no peligrosos procedentes de la puesta en obra y residuos generados no peligrosos y peligrosos procedentes del embalaje, de cada una de las combinaciones. El color verde representa el mejor resultado, la tonalidad verde va perdiendo intensidad a medida que aumenta el valor del impacto. El tono anaranjado indica que el impacto va siendo mayor y el tono rojo representa el peor valor posible.

VARIABLES	FASE FABRICACIÓN			
	Residuos (kg/m ²) Res			
	Puesta en obra (kg/m ²)		Embalaje (kg/m ²)	
	Inertes	No peligrosos	No peligrosos	Peligrosos
C1 F1sub5 H1	14,06	3,14	3,76	0,20
C1 F2sub5 H1	7,49	3,14	3,64	0,20
C1 F3sub10 H1	7,49	3,47	3,64	0,20
C1 F4sub5 H1	8,35	3,14	3,44	0,20
C1 F5sub0 H1	3,59	2,20	3,04	0,20
C2 F1sub5 H1	16,91	3,25	3,59	0,10
C2 F2sub5 H1	10,34	3,25	3,46	0,10
C2 F3sub10 H1	10,34	3,58	3,46	0,10
C2 F4sub5 H1	11,19	3,25	3,26	0,10
C2 F5sub0 H1	6,43	2,31	2,87	0,10
C3 F1sub5 H1	13,39	3,14	3,04	0,08
C3 F2sub5 H1	6,82	3,14	2,92	0,08
C3 F3sub10 H1	6,82	3,47	2,92	0,08
C3 F4sub5 H1	7,68	3,14	2,72	0,08
C3 F5sub0 H1	2,92	2,20	2,32	0,08

Tabla 6.10 Residuos generados por las diferentes soluciones constructivas

Capítulo 6. COMPARATIVA DE LOS IMPACTOS DE LA FASE DE FABRICACIÓN CON LOS IMPACTOS DE LA FASE DE MANTENIMIENTO Y USO

El sector de la edificación tiene un gran peso en términos de impactos ambientales comparado a otros sectores. Este hecho acaba por exigir cambios respecto a la gestión de los residuos generados por esta actividad.

- La diferencia entre la solución que genera más residuos C2F1H1 (23,75kg) y la solución que genera menos residuos C3F5H1 (7,43kg), es de 16,32 kg, es decir un 68,7 % menos. En términos absolutos, la adopción de la solución C3F5H1 implicaría un ahorro de 16,32 kg (0,016 Toneladas) de residuos inertes y no peligrosos por m² de superficie útil en la fase de fabricación. Este dato no parece muy significativo teniendo en cuenta que en el año 2007 la generación de residuos peligrosos y no peligrosos procedentes del sector de la construcción alcanzó en España la cifra de 10.657.385 Toneladas (Junta de Residuos de la Generalitat de Cataluña); ahora bien, cualquier reducción de los residuos generados contribuirá a mejorar esta cifra teniendo además en cuenta que la adopción de la solución C3F5H1 implicaría un ahorro 1,6 Toneladas de residuos respecto de la solución C2F1H1 en la vivienda completa.

Un pequeña parte de los residuos generados está formado por residuos peligrosos, como se deduce de la tabla 6.6; las combinaciones que integran la cubierta caliente continua C1 son, en general, las que generan más residuos peligrosos en la fase de fabricación y puesta en obra.

- La diferencia entre la solución que genera más residuos peligrosos C1F1H1 (0,2 kg) y la solución que genera menos residuos peligrosos C3F1H1 (0,08 kg) es de 0,12 kg de residuos peligrosos por m² de superficie útil (tabla 6.5), es decir un 40% menos de residuos peligrosos según la envolvente elegida.

En cuanto a los consumos energéticos (kWh/m²) y las emisiones de CO₂ (kg eq. de CO₂/m²), son impactos que se producen en todas las fases del ciclo de vida, fase de fabricación y puesta en obra, fase de mantenimiento y fase uso. La figura 6.3 muestra el porcentaje de los impactos asociados a cada fase considerando el promedio de todas las soluciones constructivas analizadas.

- Como es lógico, a medida que aumentamos el periodo de vida considerado, los impactos generados durante la fase mantenimiento y uso, adquieren mayor relevancia; ahora bien, es importante destacar que las emisiones de CO₂ producidas durante la fase de fabricación y puesta en obra representan aproximadamente un 29% respecto de las emisiones de CO₂ en un periodo de 50 años. Además los consumos energéticos generados durante la fase de fabricación y puesta en obra representan aproximadamente un 18% respecto de los consumos energéticos generados en un periodo de 50 años.
- Durante la fase inicial del ciclo de vida del edificio, las emisiones de CO₂ y los consumos energéticos se producen directamente como consecuencia de los efectos de la fabricación y puesta en obra de los elementos constructivos. Durante la fase de mantenimiento correctivo, las emisiones de CO₂ y los consumos energéticos se producen directamente como consecuencia de la sustitución de los elementos constructivos a lo largo de la vida útil del edificio. Mientras que, durante la fase uso, las emisiones de CO₂ y los consumos energéticos son producidos por las instalaciones de calefacción y

Capítulo 6. COMPARATIVA DE LOS IMPACTOS DE LA FASE DE FABRICACIÓN CON LOS IMPACTOS DE LA FASE DE MANTENIMIENTO Y USO

de refrigeración, que se pueden considerar vinculados a las soluciones constructivas de la envolvente del edificio.

- Tanto las emisiones de CO₂ como los consumos energéticos varían en función de las soluciones constructivas adoptadas, de las zonas climáticas y de las orientaciones; pero también varían en función de otras variables (tabla 5.6.).

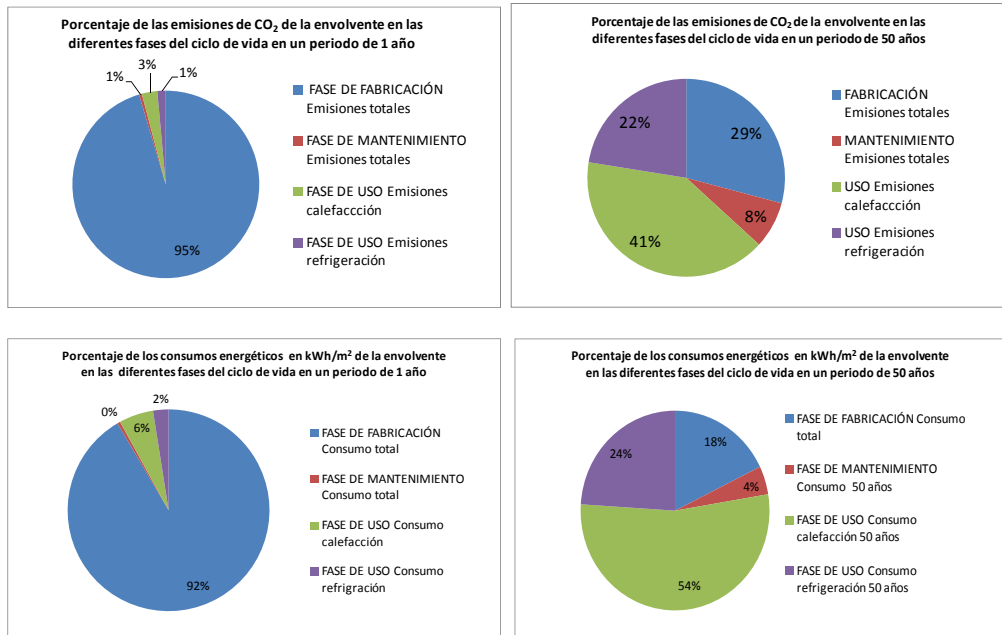


Figura 6.3 Comparativa del porcentaje de las emisiones de CO₂ y de los consumos energéticos en las diferentes fases del ciclo de vida.

Para poder comparar resultados en función de las soluciones constructivas, se han seleccionado las soluciones con mejor y peor comportamiento medioambiental en relación a las emisiones de CO₂ y de los consumos de energía primaria en cada una de las fases del ciclo de vida del edificio y en cada una de las zonas climáticas analizadas.

En la zona B3, se extraen las siguientes conclusiones:

- Si se considera un periodo de vida de un año; las combinaciones con peor comportamiento medioambiental son las que integran la cubierta caliente, la fachada ligera, y la carpintería de aluminio C1F5H1 y las combinaciones con mejor comportamiento medioambiental son las que integran la cubierta ventilada, la fachada de fábrica enfoscada y la carpintería de madera C2F2H3.
- La diferencia entre las emisiones de CO₂ generadas por la combinación C1F5H1 (337,79 kg CO₂/m²) y la combinación C2F2H3 (172,32 kg CO₂/m²) en un año es de 106,86 kg CO₂/m² (figura 6.4), es decir un 31,63% menos de emisiones según la combinación elegida en 1 año.

Capítulo 6. COMPARATIVA DE LOS IMPACTOS DE LA FASE DE FABRICACIÓN CON LOS IMPACTOS DE LA FASE DE MANTENIMIENTO Y USO

Para poder valorar la importancia de los resultados obtenidos respecto de otros datos de referencia se ha estimado que las emisiones medias asociadas al consumo de una vivienda en España son 2992 kg CO₂ (Hernandez-Sanchez, 2012). Estos resultados son parecidos a los ofrecidos por Cuchí et al. (2003).

- Si se considera la vivienda del caso de estudio; la diferencia entre la elección de una solución constructiva de la envolvente respecto de otra equivale a 9.991,41 kg CO₂ en 1 año.

En términos absolutos, si se compara 9.991,41 kg CO₂ con el valor de las emisiones asociadas al consumo medio de una vivienda en España 2.992 kg CO₂ (Hernandez-Sanchez, 2012), este ahorro equivale a las emisiones asociadas al consumo de una vivienda media durante de 3,4 años.

- La diferencia entre los consumos de energía primaria derivados de la combinación C1F5H1 (878,55 kWh/m²) y los derivados de la combinación C2F2H3 (507,28 kWh/m²) en 1año es de 371,27 kWh/m² (figura 6.6), es decir un 57,15% menos de consumos según la combinación elegida.

Para poder valorar la importancia de los resultados obtenidos respecto de otros datos de referencia, se han considerado los datos publicados por el IDAE en el año 2011 respecto de los consumos energéticos de las viviendas en España (tabla 6.11).

- Si se considera la vivienda del caso de estudio; la diferencia entre la elección de una solución constructiva de la envolvente respecto de otra equivale a 34.719 kW/h en 1 año.
- En términos absolutos, si se compara este resultado con el consumo medio por vivienda en España de 10.520,63 kWh, este ahorro equivale al consumo total de energía de una vivienda media durante 3,4 años.

Unidad: kWh/hogar	Servicios	Zona Atlántica		Zona Continental		Zona Mediterránea		España	
España	Calefacción	4.015	35,7%	7.342	55,9%	3.972	44,3%	5.172	49,2%
	Agua caliente sanitaria	2.038	18,1%	2.193	16,7%	1.638	18,3%	1.877	17,8%
	Cocina	1.116	9,9%	815	6,2%	595	6,6%	737	7,0%
	Refrigeración	757	6,7%	238	1,8%	142	1,6%	170	1,6%
	Iluminación	353	3,1%	329	2,5%	474	5,3%	410	3,9%
	Electrodomésticos	2.745	24,4%	1.992	15,2%	1.908	21,3%	1.924	18,3%
	Standby	235	2,1%	231	1,8%	229	2,6%	231	2,2%
	TOTAL	11.259,109	100%	13.140,647	100%	8.958,722	100%	10.520,629	100%

Tabla 6.11 Consumos del parque de viviendas en España por zonas climáticas (Fuente IDAE 2011)

Ahora bien, si se considera un periodo de vida de 50 años; las combinaciones con peor comportamiento medioambiental continúan siendo las que incorporan cubierta caliente, fachada ligera, y carpintería de aluminio C1F5H1; pero las combinaciones con mejor comportamiento medioambiental pasan a ser las que integran cubierta invertida, fachada de fábrica enfoscada con aislamiento de 10 cm y carpintería de madera C3F3H3. Esto se debe a que, aunque la combinación C3F3H3 tiene más impactos en la fase de fabricación, su comportamiento en la fase uso es mejor.

- La diferencia entre las emisiones de CO₂ generadas por la combinación C1F5H1 (1.084,26 kg CO₂/m²) y la combinación C3F3H3 (824,25 kg CO₂/m²) en 50 años es de 260 kg CO₂/m² (figura 6.5), es decir un 23,98 % menos de emisiones a lo largo de 50 años, según la combinación elegida.

Capítulo 6. COMPARATIVA DE LOS IMPACTOS DE LA FASE DE FABRICACIÓN CON LOS IMPACTOS DE LA FASE DE MANTENIMIENTO Y USO

- Si se considera la vivienda del caso de estudio; la diferencia entre la elección de una solución constructiva de la envolvente respecto de otra equivale a 24.310 kg CO₂ en 50 años.

-En términos absolutos, si se compara 24.310 kg CO₂ con el valor de las emisiones asociadas al consumo medio de una vivienda en España 2.992 kg CO₂, (Hernandez-Sanchez, 2012), este ahorro equivale a las emisiones asociadas al consumo de una vivienda media durante 8,12 años.

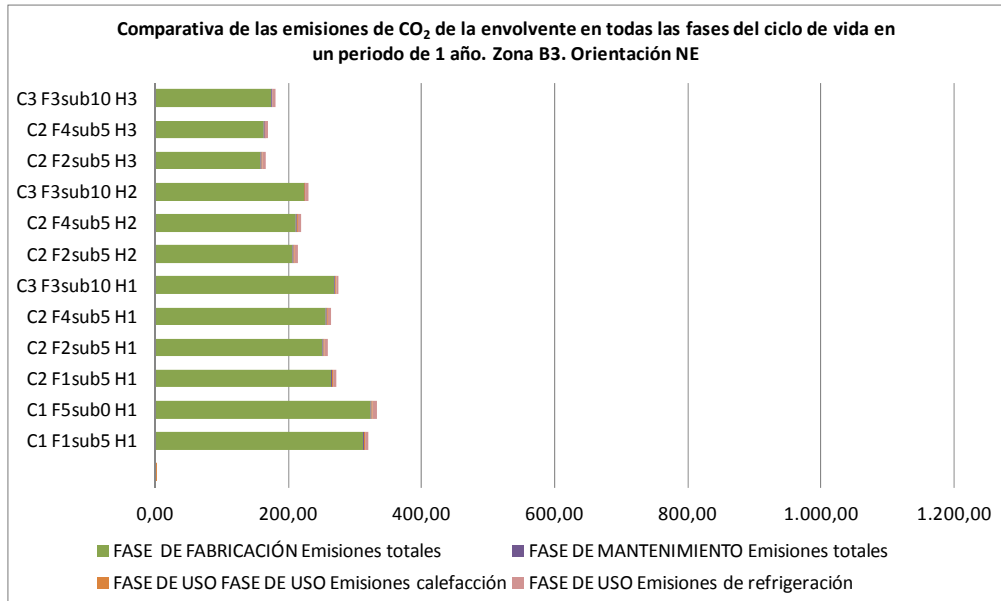


Figura 6.4 Comparativa de las Emisiones de CO₂ generadas por las diferentes soluciones constructivas en la zona B3 orientación NE, periodo 1 año.

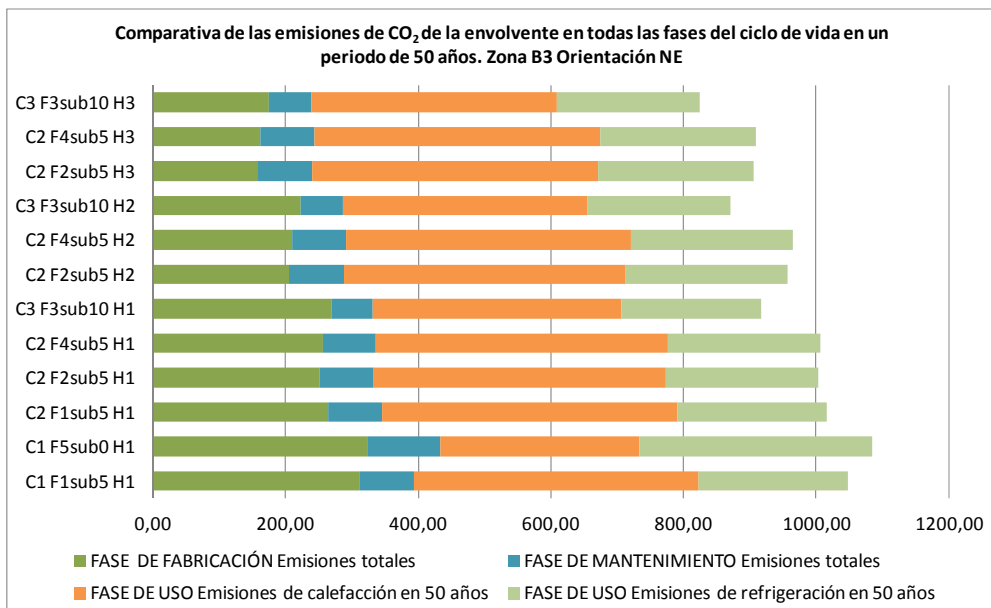


Figura 6.5 Comparativa de las Emisiones de CO₂ generados por las diferentes soluciones constructivas en la zona B3 orientación NE periodo 50 años

Capítulo 6. COMPARATIVA DE LOS IMPACTOS DE LA FASE DE FABRICACIÓN CON LOS IMPACTOS DE LA FASE DE MANTENIMIENTO Y USO

- La diferencia entre los consumos de energía primaria vinculados a la combinación C1F5H1 (3.952,61 kWh/m²) y los vinculados a la combinación C3F3H3 (3281,52 kWh/m²) en un periodo de 50 años es de 671,09 kWh/m² (figura 6.6), es decir un 20,45 % menos de consumos a lo largo de 50 años, según la combinación elegida.
- Si se considera la vivienda del caso de estudio; la diferencia entre la elección de una solución constructiva de la envolvente respecto de otra equivale a 62.746,91 kWh.
- En términos absolutos, si se compara este resultado con el consumo medio por vivienda en España de 10.520,63 kWh, según datos publicados por el IDAE en el año 2011 (tabla 6.11), este ahorro equivale al consumo total de energía de una vivienda media durante casi 6 años.

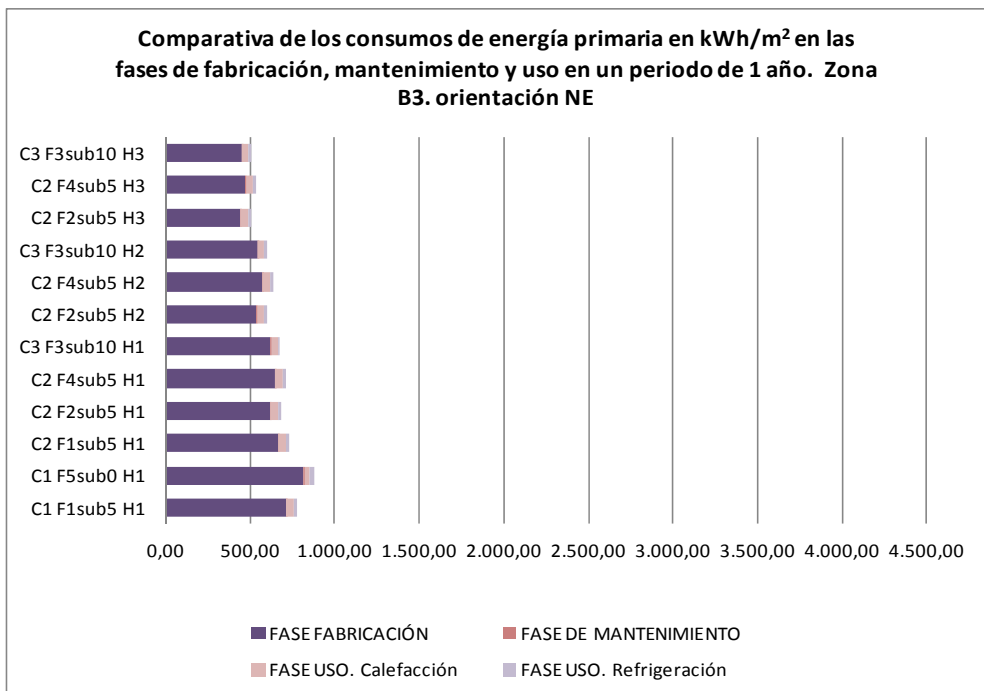


Figura 6.6 Comparativa de los consumos energéticos en kWh/m² vinculados a las diferentes soluciones constructivas en la zona B3 orientación NE. Periodo 1 año.

Capítulo 6. COMPARATIVA DE LOS IMPACTOS DE LA FASE DE FABRICACIÓN CON LOS IMPACTOS DE LA FASE DE MANTENIMIENTO Y USO

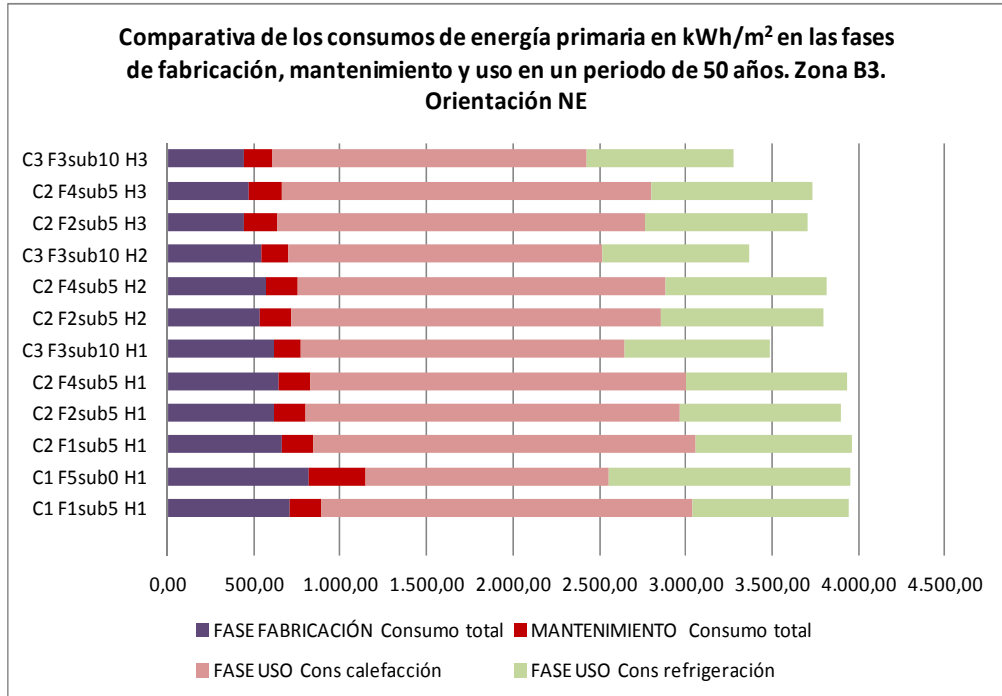


Figura 6.7 Comparativa de los consumos energéticos en kWh/m² vinculados a las diferentes soluciones constructivas en la zona B3 orientación NE. Periodo 50 años.

En la zona E1, se extraen las siguientes conclusiones:

- Si se considera un periodo de vida de un año; las combinaciones con peor comportamiento medioambiental son las que integran la cubierta caliente, la fachada ligera y la carpintería C1F5H1 de aluminio y las combinaciones con mejor comportamiento medioambiental son las que integran la cubierta invertida, la fachada de fábrica enfoscada y la carpintería de madera C3F2H3.
- La diferencia entre las emisiones de CO₂ generadas por la combinación C1F5H1 (351,99 kg CO₂/m²) y la combinación C2F2H3 (185,83 kg CO₂/m²) en un periodo de vida de 1 año, es de 166,16 kgCO₂/m² (figura 6.8), es decir un 47,20% menos de emisiones según la combinación elegida.
- Si se considera la vivienda del caso de estudio; la diferencia entre la elección de una solución constructiva de la envolvente respecto de otra equivale a 15.535,96 kg CO₂.
- En términos absolutos, si se compara 15535,96 kg CO₂ con el valor de las emisiones asociadas al consumo medio de una vivienda en España 2.992 kg CO₂ (Hernandez-Sanchez, 2012), este ahorro equivale a las emisiones asociadas al consumo de una vivienda media durante 5,19 años.

Capítulo 6. COMPARATIVA DE LOS IMPACTOS DE LA FASE DE FABRICACIÓN CON LOS IMPACTOS DE LA FASE DE MANTENIMIENTO Y USO

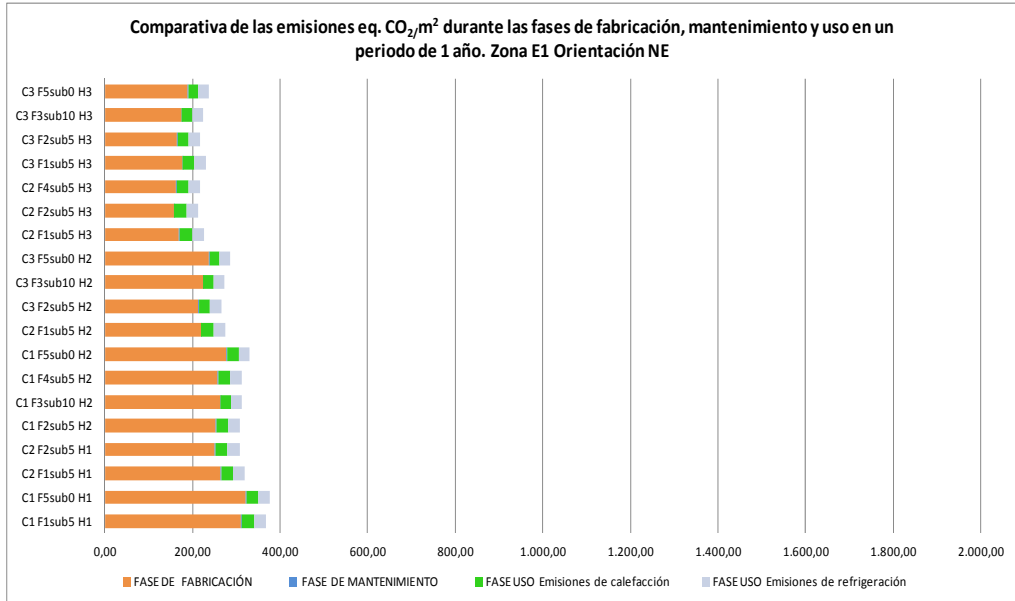


Figura 6.8 Comparativa de las emisiones de CO₂ vinculadas a las diferentes soluciones constructivas en la zona E1. Orientación NE. Periodo 1 año.

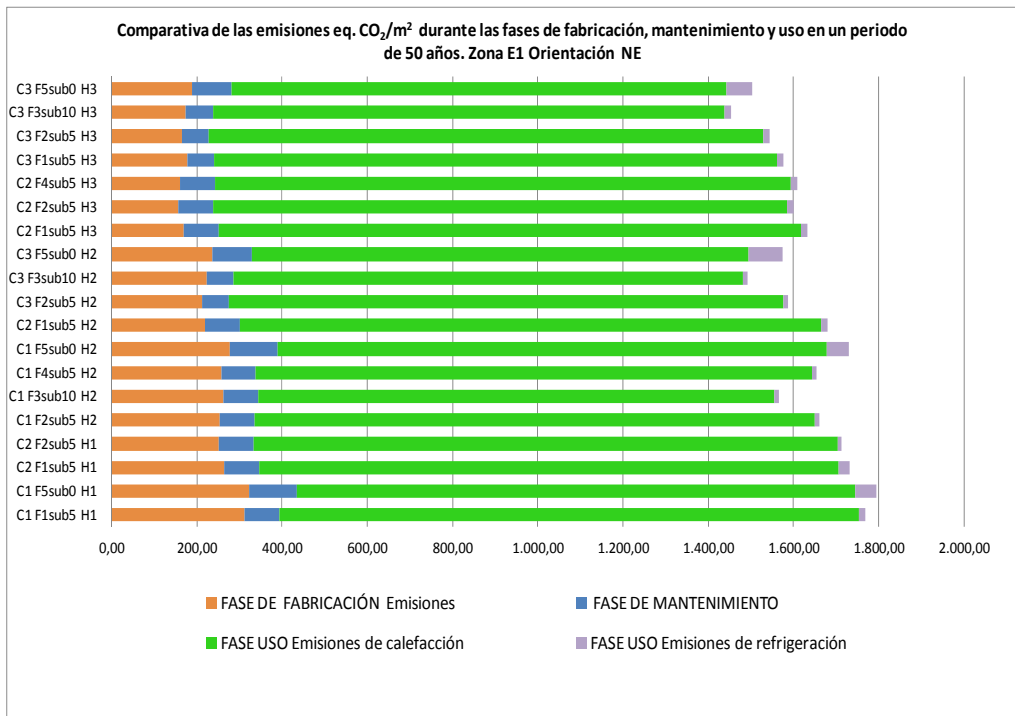


Figura 6.9 Comparativa de las emisiones de CO₂ vinculadas a las diferentes soluciones constructivas en la zona E1. Orientación NE. Periodo 50 años

- La diferencia entre los consumos de energía primaria derivados de la combinación C1F5H1 (949,85 kWh/m²) y los derivados de la combinación

Capítulo 6. COMPARATIVA DE LOS IMPACTOS DE LA FASE DE FABRICACIÓN CON LOS IMPACTOS DE LA FASE DE MANTENIMIENTO Y USO

C2F2H3 (578,52 kWh/m²) en un periodo de vida de 1 año, es de 371,33 kWh/m² (figura 6.10), es decir un 39,09% menos de consumos según la combinación elegida.

- Si se considera la vivienda completa caso de estudio; la diferencia entre la elección de una solución constructiva de la envolvente respecto de otra equivale a 34.719,35 kWh.
- En términos absolutos, si se compara este resultado con el consumo medio por vivienda en España de 10.520,63 kWh, según datos publicados por el IDAE en el año 2011 (tabla 6.11), este ahorro equivale al consumo total de energía de una vivienda media durante 3,3 años.

Ahora bien, si se considera un periodo de vida de 50 años; las combinaciones con peor comportamiento medioambiental pasan a ser aquellas que incorporan cubierta ventilada, fachada caravista, y carpintería de aluminio C2F1H1; y las combinaciones con mejor comportamiento medioambiental pasan a ser las que integran cubierta invertida, fachada de fábrica enfoscada con aislamiento de 10 cm y carpintería de madera C3F3H3; porque al considerar un periodo de vida mayor, pesan más los impactos de la fase uso.

- La diferencia entre las emisiones de CO₂ generadas por la combinación C2F1H1 (1768,29 kg CO₂/m²) y la combinación C3F3H3 (1453,16 kg CO₂/m²), es de 315,13 kg CO₂/m² (figura 6.9), es decir un 17,82% menos de emisiones según la combinación elegida.
- Si se considera la vivienda del caso de estudio que tiene 93,5 m² de superficie útil; la diferencia entre la elección de una solución constructiva de la envolvente respecto de otra equivale a 29.464,65 kg CO₂.
- En términos absolutos, si se compara 29.464,65 kg CO₂ con el valor de las emisiones asociadas al consumo medio de una vivienda en España 2.992 kg CO₂ (Hernandez-Sanchez, 2012), este ahorro equivale a las emisiones asociadas al consumo de una vivienda media durante 9,84 años.
- La diferencia entre los consumos de energía primaria vinculados a la combinación C2F1H1 (7.783,69 kWh/m²) y los vinculados a la combinación C3F3H3 (6.596,56 kWh/m²) es de 1.186,84 kWh/m² (figura 6.11), es decir un 15,24% menos de consumos según la combinación elegida.
- Si se considera la vivienda del caso de estudio; la diferencia entre la elección de una solución constructiva de la envolvente respecto de otra equivale a 110.969,54 kWh.
- En términos absolutos, si se compara este resultado con el consumo medio por vivienda en España de 10.520,63 kWh, según datos publicados por el IDAE en el año 2011 (tabla 6.11), este ahorro equivale al consumo total de energía de una vivienda media durante 10,54 años.

Capítulo 6. COMPARATIVA DE LOS IMPACTOS DE LA FASE DE FABRICACIÓN CON LOS IMPACTOS DE LA FASE DE MANTENIMIENTO Y USO

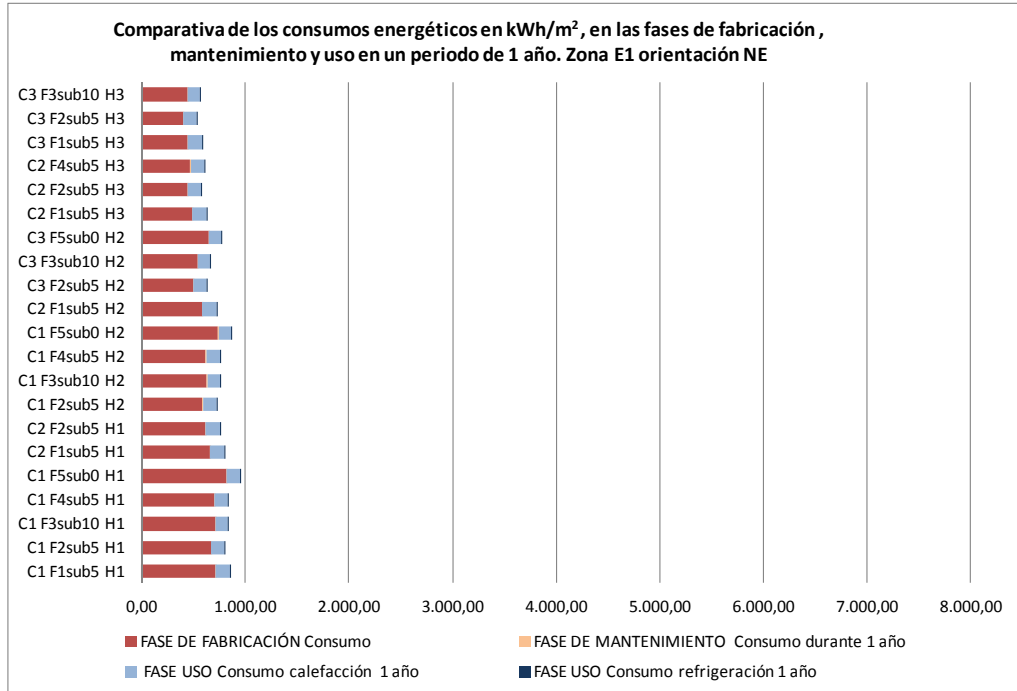


Figura 6.10 Comparativa de los consumos energéticos vinculados a las diferentes soluciones constructivas de la envolvente en la zona E1. Orientación NE. Periodo 1 año

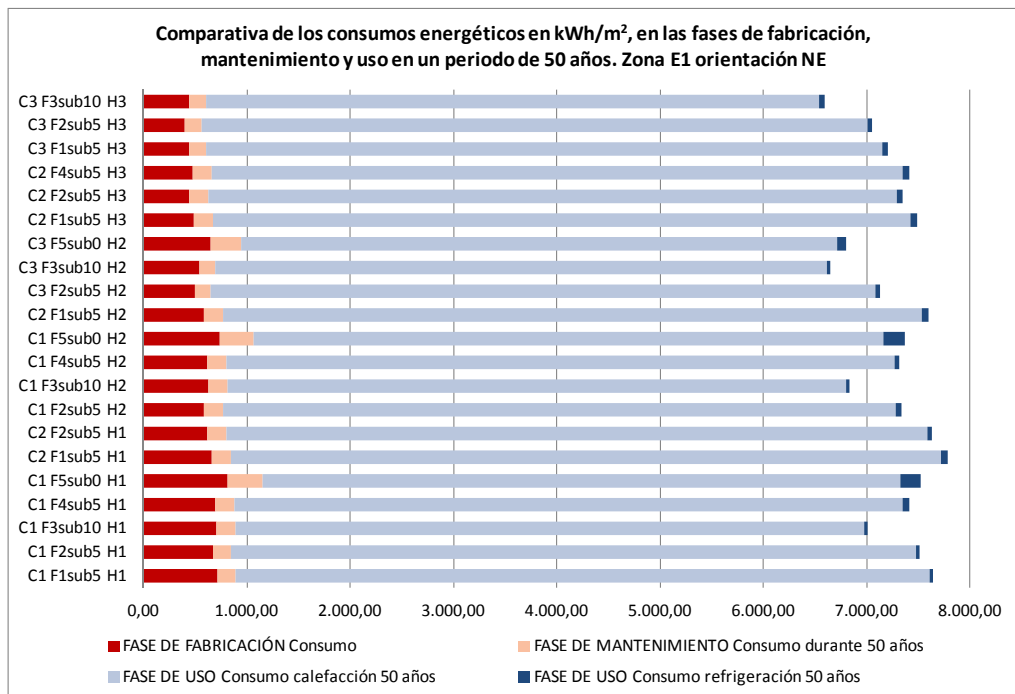


Figura 6.11 Comparativa de los consumos energéticos vinculados a las diferentes soluciones constructivas de la envolvente en la zona E1. Orientación NE. Periodo 50 años

Capítulo 6. COMPARATIVA DE LOS IMPACTOS DE LA FASE DE FABRICACIÓN CON LOS IMPACTOS DE LA FASE DE MANTENIMIENTO Y USO

En cuanto a los costes de inversión y los costes energéticos, para comparar los resultados se han seleccionado las soluciones constructivas con los resultados opuestos desde el punto de vista de los costes, es decir la combinación C1F5H1 y la combinación C3F3H2 en la zona B3y orientación noreste.

En la tabla 6.12 se muestran los porcentajes de los costes globales tras comparar los costes derivados de los valoración del consumo energético en la fase de fabricación, los costes de inversión inicial, los costes de mantenimiento, la valoración del consumo energético de la fase de mantenimiento y la valoración del consumo de la fase de uso durante un periodo de 50 años. Estos porcentajes se han representado en la figura 6.12, manteniendo el código de colores de la tabla 6.12.

	Valoración del consumo fase fabricación €/m ²	Costes de Inversión €/m ²	Costes de Mantenimiento €/m ² en 50 años	Valoración del consumo derivado del Mantenimiento €/m ² 50 años	Valoración del consumo derivado del Uso €/m ² 50 años
C1 F5sub0 H1	10,31%	38,41%	12,34%	4,19%	34,75%
C3 F3sub10 H2	11,37%	18,67%	10,25%	3,20%	56,52%

Tabla 6.12 Porcentajes de los costes globales

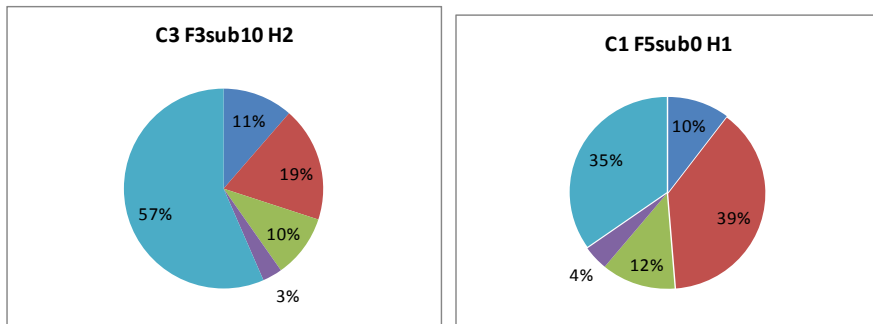


Figura 6.12 Comparativa de los costes de dos combinaciones en las diferentes fases del ciclo de vida

A partir del análisis de estos resultados se pueden extraer las siguientes conclusiones acerca de los costes de inversión y de los costes energéticos e las soluciones constructivas evaluadas:

- Si se considera un periodo de vida de 50 años; la combinación que tiene un coste de inversión y un coste energético más bajo es la que integra la cubierta invertida, la fachada de fábrica enfoscada y la carpintería de madera C3F3H2. Esta combinación tiene un coste de inversión de 161,21€/m², un coste energético en fase de fabricación de 98,19 €/m², un coste de mantenimiento 88,51€/m², un coste energético derivado del mantenimiento 27,64 €/m² y un coste energético derivado de la fase uso de 488,13€/m² (total 863,69 €/m²).
- Los costes de inversión y energéticos más altos corresponden a la combinación que integra la cubierta caliente, la fachada ligera y la carpintería de aluminio C1F5H1. Esta combinación tiene un coste de inversión de 550,58 €/m², un coste energético en fase de fabricación de 147,77 €/m², un coste de mantenimiento 176,84 €/m², un coste energético derivado del mantenimiento 60,10 €/m² y un coste energético derivado de la fase uso de 498,10 €/m² (total 1433,38 €/m²).
- La diferencia del coste final entre estas dos combinaciones es 569,70 €/m², es decir un 39,74% menos de costes globales según la combinación elegida.

Capítulo 6. COMPARATIVA DE LOS IMPACTOS DE LA FASE DE FABRICACIÓN CON LOS IMPACTOS DE LA FASE DE MANTENIMIENTO Y USO

Para poder valorar la importancia de estos resultados respecto de otros datos de referencia, se han considerado los datos obtenidos por Ruá (2011) respecto del PEM de una vivienda media en España. Según este estudio, en una zona climática B3, el PEM de una vivienda adosada con una calificación energética C es de 168.509 €. El dato de 569,70 €/m² no parece muy significativo si lo comparamos con este resultado; ahora bien, en cualquier caso es importante valorar el ahorro que representa la adopción de una solución u otra de la envolvente ya que no solo implica un ahorro económico de 56.000 € considerando el caso de estudio; sino que implica un ahorro del consumo de la energía que se valora.

En la tabla 6.13, se muestran los resultados obtenidos en la valoración de los costes de las combinaciones mejor valoradas. El color verde representa el mejor resultado, la tonalidad verde va perdiendo intensidad a medida que aumenta el valor del impacto. El tono anaranjado indica que el coste va aumentando y el tono rojo representa el peor valor posible.

VARIABLES	FABRICACIÓN		MANTENIMIENTO		USO	TOTALES
	Valoración del consumo f. fabricación €/m ²	Costes de Inversión €/m ²	Costes de Mantenimiento €/m ² en 50 años	Valoración del consumo derivado del Mantenimiento €/m ² 50 años	Valoración del consumo derivado del Uso €/m ² 50 años	Costes totales €/m ²
C1 F1sub5 H1	128,88	200,53	107,58	33,14	562,40	1.032,52
C1 F5sub0 H1	147,77	550,58	176,84	60,10	498,10	1.433,38
C2 F1sub5 H1	119,62	194,46	107,58	33,14	575,08	1.029,87
C2 F2sub5 H1	111,58	182,87	107,58	33,14	571,45	1.006,63
C2 F4sub5 H1	117,17	210,27	101,81	33,04	572,36	1.034,64
C3 F1sub5 H1	112,63	168,71	88,51	27,64	552,43	949,93
C2 F2sub5 H2	97,42	180,73	107,58	33,14	562,40	981,26
C2 F4sub5 H2	103,00	208,12	101,81	33,04	563,30	1.009,27
C2 F5sub0 H2	124,34	542,37	176,84	60,10	491,76	1.395,40
C3 F3sub10 H2	98,19	161,21	88,51	27,64	488,13	863,69
C2 F2sub5 H3	79,74	185,65	149,09	33,94	562,40	1.010,82
C2 F4sub5 H3	85,33	213,04	143,32	33,83	563,30	1.038,84
C3 F3sub10 H3	80,52	166,13	130,03	28,44	488,13	893,25

Tabla 6.13 Comparativa de los costes de diferentes combinaciones en las diferentes fases del ciclo de vida.

6.6 Análisis de la influencia de la envolvente en otras tipologías.

Una vez se han recopilado y comentado los valores de los impactos obtenidos tras evaluar las 180 combinaciones de las soluciones constructivas de la envolvente, de cada una de las fases del ciclo de vida consideradas, según se ha descrito en el capítulo 5 de esta tesis; se procede a comprobar la aplicabilidad de la metodología descrita en otras tipologías edificatorias. Para ello, se han seleccionado otras dos tipologías de uso residencial (el bloque de viviendas y la vivienda unifamiliar aislada).

A continuación se describen brevemente los rasgos fundamentales que caracterizan a las tres tipologías analizadas:

-Vivienda unifamiliar adosada (utilizada como caso de estudio en el capítulo 5). Esta vivienda tiene dos alturas, con patio en la parte posterior; considerando las medianeras como cerramientos adiabáticos y las dos fachadas como únicos

Capítulo 6. COMPARATIVA DE LOS IMPACTOS DE LA FASE DE FABRICACIÓN CON LOS IMPACTOS DE LA FASE DE MANTENIMIENTO Y USO

cerramientos a través de los cuales se produce el intercambio interior-externo. La distribución interior responde a un programa de necesidades estándar. La superficie útil de la vivienda es de $93,5 \text{ m}^2$; la superficie de cubierta es de $67,5 \text{ m}^2$; la superficie de la fachada es de 50 m^2 , la superficie total de huecos es de $15,65 \text{ m}^2$ (Planimetría en Capítulo 5).

-Bloque de viviendas entre medianeras, de planta baja más seis alturas, con dos viviendas por plantas con un total de doce viviendas. El bloque de viviendas tiene un patio en la parte posterior. Se han considerado las medianeras como cerramientos adiabáticos y la fachada principal y posterior como únicos cerramientos a través de los cuales se produce intercambio interior-externo. La distribución interior responde a un programa de necesidades estándar. La superficie útil del edificio es de $1324,7 \text{ m}^2$; la superficie de cubierta es de $310,6 \text{ m}^2$; la superficie de la fachada es de $837,4 \text{ m}^2$, la superficie total de huecos es de $187,61 \text{ m}^2$ (Figuras 6.13, 6.14).

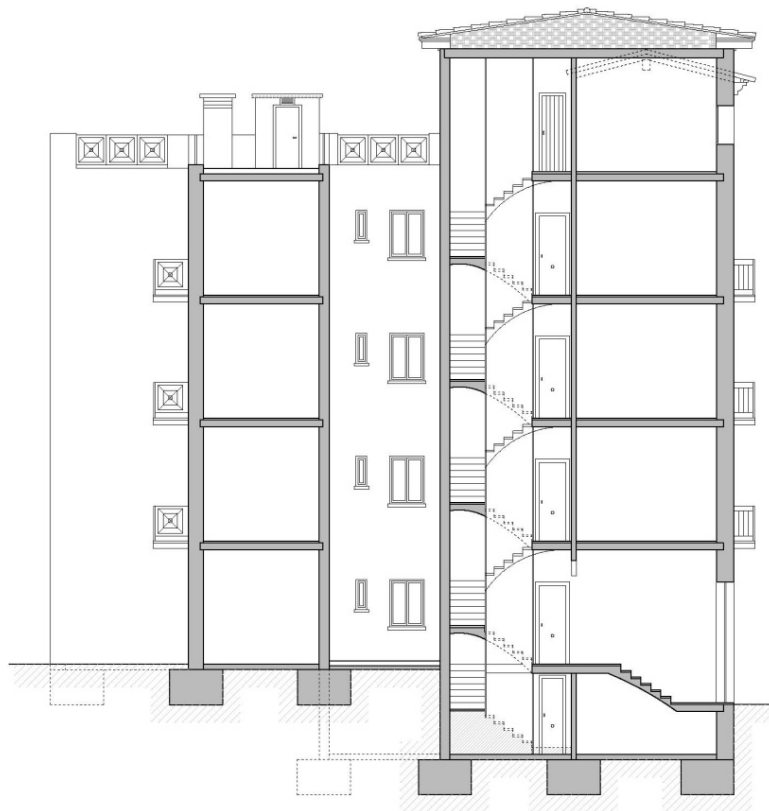
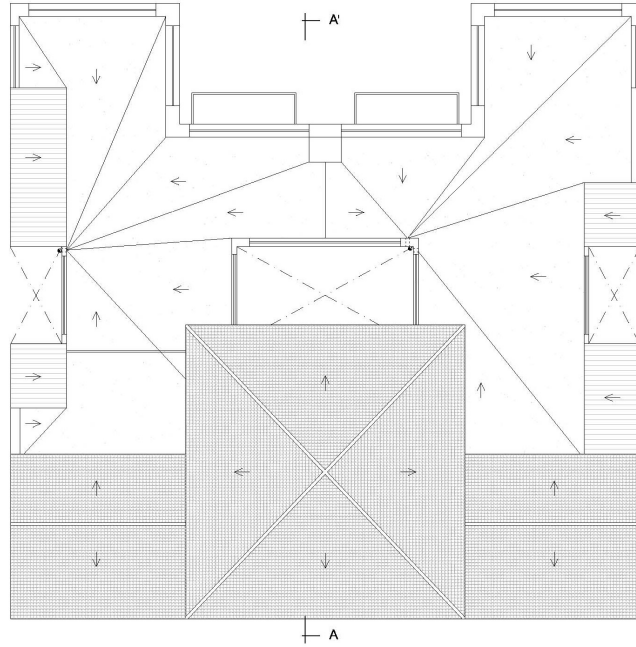


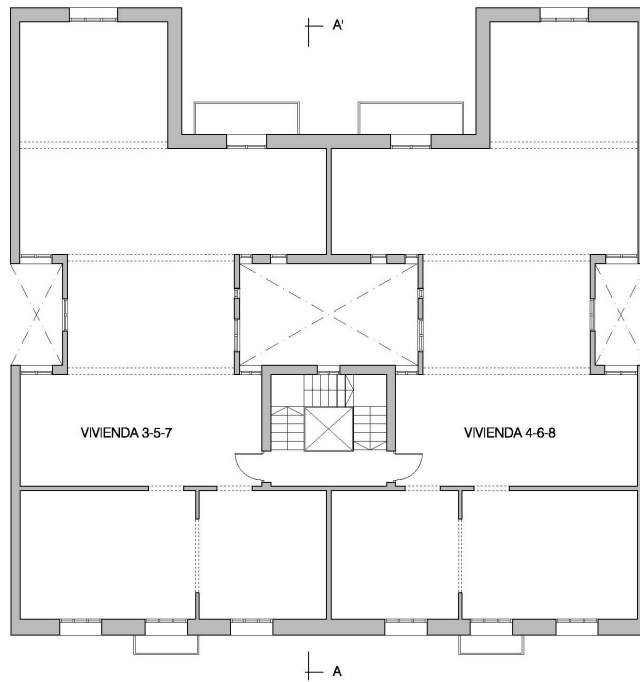
Figura 6.13. Bloque de viviendas. Sección AA

Capítulo 6. COMPARATIVA DE LOS IMPACTOS DE LA FASE DE FABRICACIÓN CON
LOS IMPACTOS DE LA FASE DE MANTENIMIENTO Y USO



PLANTA CUBIERTA

Figura 6.14. Bloque de viviendas. Planta de cubiertas



PLANTAS TIPO 1ª - 2ª - 3ª

Figura 6.15. Bloque de viviendas. Planta tipo

Capítulo 6. COMPARATIVA DE LOS IMPACTOS DE LA FASE DE FABRICACIÓN CON LOS IMPACTOS DE LA FASE DE MANTENIMIENTO Y USO

-Vivienda unifamiliar aislada de una sola planta. Toda la fachada de la vivienda se ha tratado como cerramiento a través del cual se produce intercambio interior-exterior; pero para poder caracterizar adecuadamente la orientación de la vivienda, se ha tratado como fachada principal, la que cuenta con una mayor proporción de huecos. La distribución interior responde a un programa de necesidades estándar. La superficie útil de la vivienda es de $107,4 \text{ m}^2$; la superficie de cubierta es de $107,4 \text{ m}^2$; la superficie de la fachada es de $154,3 \text{ m}^2$, la superficie total de huecos es de $26,9 \text{ m}^2$.

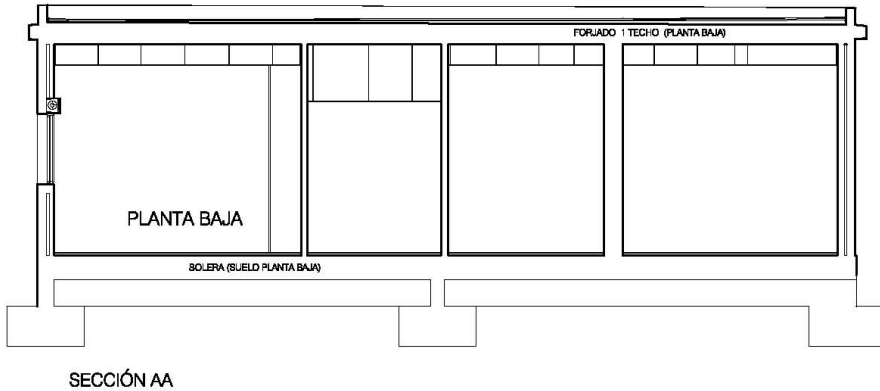
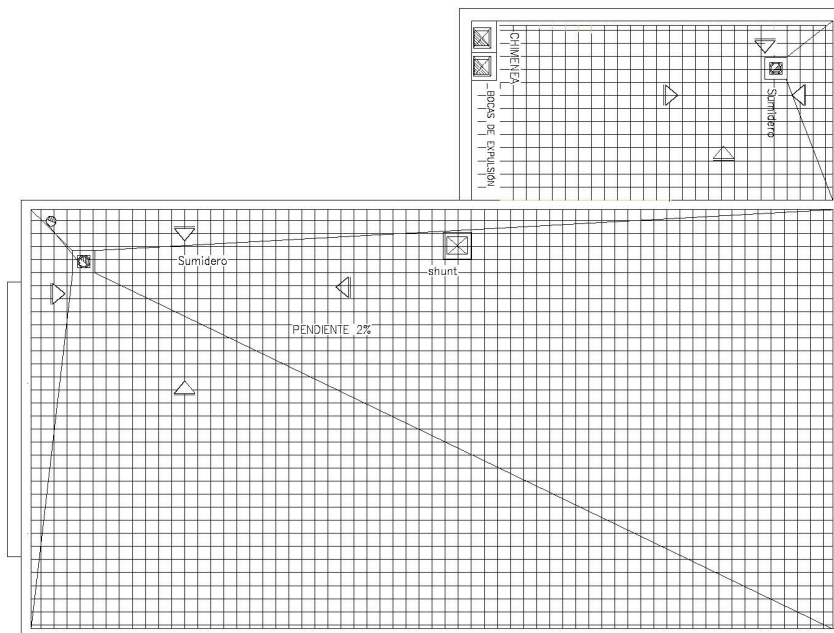


Figura 6.16. Vivienda unifamiliar. Sección AA



Capítulo 6. COMPARATIVA DE LOS IMPACTOS DE LA FASE DE FABRICACIÓN CON LOS IMPACTOS DE LA FASE DE MANTENIMIENTO Y USO

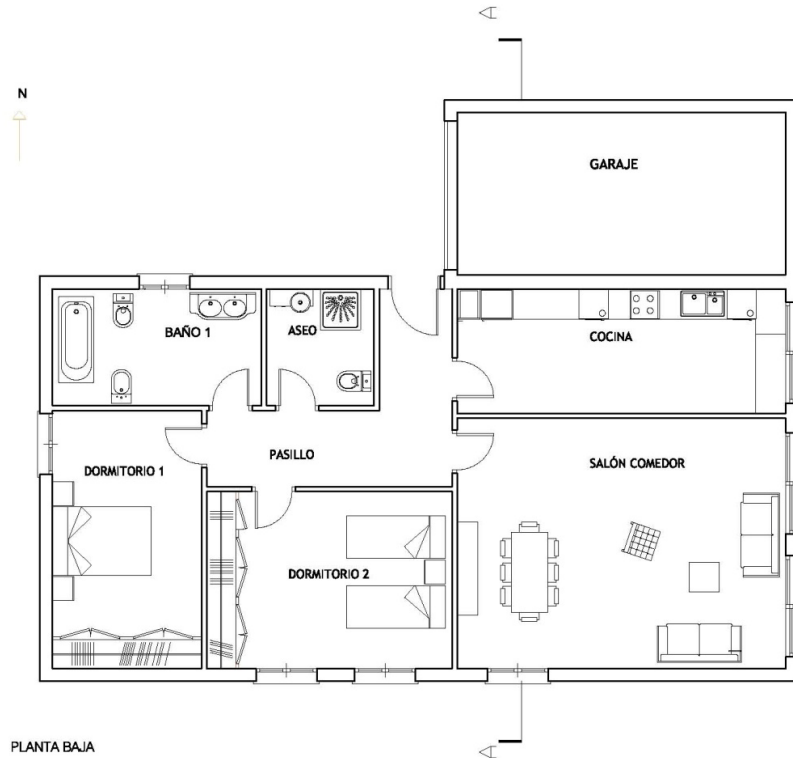


Figura 6.18. Vivienda unifamiliar. Planta tipo

En la tabla 6.14, se indican los siguientes valores utilizados para el cálculo: superficie útil de cada una de las tipologías descritas, superficie construida y factor de superficie F_s de cada elemento de la envolvente: F_{scub} (Factor de superficie de la cubierta), F_{sfac} (Factor de superficie de la fachada) y F_{scar} (Factor de superficie de la carpintería).

TIPOLOGÍA	s. útil	S. cubierta	S. fachada	S. huecos	Fscub	Fsfac	fscar
Viv. Ados (dos plantas)	93,5	67,5	50	15,65	0,72	0,53	0,17
Bloque entre med	1324,7	310,6	837,4	187,61	0,23	0,63	0,14
Viv. Unif aisl (una planta)	107,4	107,4	154,3	26,9	1,00	1,44	0,25

Tabla 6.14 Valores de cálculo de cada una de las tipologías.

Para comparar los resultados, se han utilizado los resultados obtenidos para el caso de estudio seleccionando las combinaciones de la envolvente, que de forma global, tenían el peor y el mejor comportamiento medioambiental en la vivienda adosada considerando todas las fases del ciclo de vida evaluadas y que son las siguientes:

La peor C2F1H1 (Cubierta plana ventilada, Fachada de fábrica, hoja exterior de ladrillo caravista, aislamiento 5cm y carpintería de aluminio).

La mejor C3F3H2 (C3 Cubierta plana invertida, Fachada de fábrica, hoja exterior enfoscada, aislamiento 10cm).

Cada una de estas combinaciones en 2 zonas climáticas y en 2 orientaciones suponiendo un total de 8 combinaciones.

Capítulo 6. COMPARATIVA DE LOS IMPACTOS DE LA FASE DE FABRICACIÓN CON LOS IMPACTOS DE LA FASE DE MANTENIMIENTO Y USO

Posteriormente se han calculado los impactos medioambientales de estas 2 combinaciones, en cada una de las nuevas tipologías (bloque de viviendas y vivienda unifamiliar aislada), en las 2 orientaciones estudiadas (Noreste y Sureste) y en las 2 zonas climáticas analizadas (B3 y E1). En total se han evaluado 2 combinaciones en tres tipologías, en 2 orientaciones y 2 zonas climáticas respectivamente, es decir 24 opciones. Finalmente, se han comparado los resultados con los que se habían obtenido para el caso de estudio.

En la tabla 6.15 se comparan los impactos de diferentes soluciones constructivas de la envolvente en tres tipologías de viviendas durante la fase de fabricación y puesta en obra (se han agrupado los residuos correspondientes a la fabricación y al embalaje) y en la tabla 6.16 se comparan los impactos de estas mismas soluciones constructivas durante la fase de uso.

Tipología	VARIABLES		IMPACTOS AMBIENTALES DE LA FASE DE FABRICACIÓN Y PUESTA EN OBRA							FASE DE MANTENIMIENTO		
	Combinaciones constructivas	m ² / s.útil vivienda	Emisiones	Consumo energético		Agua	Residuos		Costes		Mantenimiento	
			(kg CO ₂ /m ²)	(kWh/m ²)	Coste energ. electricidad (€)	Consumo (m ³ /m ²)	Total no peligrosos Kg/m ²	Peligrosos Kg/m ²	Inversión (€)	Mantenimient (€)	Emisiones (kg CO ₂ /m ²)	Consumo (kWh/m ²)
adossado	C2F1H1		264,15	660,43	0,00	0,03	23,75	0,10	194,46	107,58	81,78	182,97
	C3F3H2		223,23	542,11	0,00	0,05	13,21	0,08	161,21	88,51	62,89	152,60
bloque	C2F1H1		166,08	414,65	0,00	0,02	18,15	0,04	127,22	58,97	35,28	90,73
	C3F3H2		127,39	336,09	0,00	0,03	9,24	0,03	110,87	52,87	29,24	81,03
unifamiliar aislada	C2F1H1		422,40	1087,56	0,00	0,06	49,13	0,13	342,45	167,66	119,72	268,22
	C3F3H2		357,76	914,80	0,00	0,08	26,02	0,11	288,99	141,18	93,49	226,05

Tabla 6.15 Impactos ambientales en la fase de fabricación y mantenimiento.

	VARIABLES			FASE USO							
	SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS	NE	B3	Emis calefac	Emis refriger	Emis tota	x 50 años de vida útil	Consum calef	consum refriger	Consumo tot energético (kWh/m ²)	x 50 años de vida útil
				(kg CO ₂ /m ²)	(kg CO ₂ /m ²)	(kg CO ₂ /m ²)		(kWh/m ²)	(kWh/m ²)		
ADOSADO	C2 F1 H1	1	1	8,90	4,80	13,70	685,00	44,20	19,30	63,50	3.175,00
	C2 F1 H1	0	1	8,90	4,50	13,40	670,00	44,20	18,20	62,40	3.120,00
	C3 F3 H2	1	1	7,40	4,30	11,70	585,00	36,50	17,40	53,90	2.695,00
	C3 F3 H2	0	1	7,40	4,30	11,70	585,00	36,40	17,10	53,50	2.675,00
	C2 F1 H1	1	0	27,20	0,50	27,70	1.385,00	137,50	1,30	138,80	6.940,00
	C2 F1 H1	0	0	27,70	0,30	28,00	1.400,00	137,50	1,30	138,80	6.940,00
BLOQUE	C3 F3 H2	1	0	23,90	0,20	24,10	1.205,00	118,40	0,70	119,10	5.955,00
	C3 F3 H2	0	0	23,90	0,30	24,20	1.210,00	118,30	0,70	119,00	5.950,00
	C2 F1 H1	1	1	11,20	2,94	14,14	707,00	41,00	11,80	52,80	2.640,00
	C2 F1 H1	0	1	10,90	3,20	14,14	707,00	37,90	12,80	50,70	2.535,00
	C3 F3 H2	1	1	9,10	2,90	12,00	600,00	34,40	11,70	46,10	2.305,00
	C3 F3 H2	0	1	7,60	3,30	10,90	545,00	28,80	13,20	42,00	2.100,00
UNIFAMILIAR AISLADA	C2 F1 H1	1	0	36,30	0,00	36,30	1815,00	136,70	0,10	136,80	6.840,00
	C2 F1 H1	0	0	34,00	0,00	34,63	1700,00	128,00	0,10	128,10	6.405,00
	C3 F3 H2	1	0	36,90	0,00	36,90	1845,00	121,50	0,10	121,60	6.080,00
	C3 F3 H2	0	0	29,90	0,00	29,90	1495,00	112,60	0,10	112,70	5.635,00
	C2 F1 H1	1	1	12,40	6,70	19,10	955,00	59,60	27,03	86,63	4.331,45
	C2 F1 H1	0	1	11,20	7,20	18,40	920,00	53,60	29,00	82,60	4.130,00
UNIFAMILIAR AISLADA	C3 F3 H2	1	1	10,30	6,50	16,80	840,00	49,30	26,00	75,30	3.765,00
	C3 F3 H2	0	1	8,90	7,00	15,90	795,00	42,80	28,20	71,00	3.550,00
	C2 F1 H1	1	0	39,40	0,00	39,40	1970,00	187,10	0,00	187,10	9.355,00
	C2 F1 H1	0	0	35,90	0,00	35,90	1795,00	171,30	0,00	171,30	8.565,00
	C3 F3 H2	1	0	30,20	0,00	30,20	1510,00	144,10	0,00	144,10	7.205,00
	C3 F3 H2	0	0	28,70	0,80	29,50	1475,00	136,80	3,20	140,00	7.000,00

Tabla 6.16 Impactos ambientales en la fase de uso

A partir de los resultados obtenidos se pueden extraer las siguientes conclusiones:

Capítulo 6. COMPARATIVA DE LOS IMPACTOS DE LA FASE DE FABRICACIÓN CON LOS IMPACTOS DE LA FASE DE MANTENIMIENTO Y USO

Por ejemplo, si se considera un periodo de vida de 50 años; en la orientación NE y en la zona climática B3 (tabla 6.16), los resultados obtenidos han sido los siguientes:

- En la vivienda adosada (caso de estudio) la diferencia entre las emisiones de CO₂ generadas por la combinación C2F1H1 (1030,93 kg CO₂/m²) y la combinación C3F3H2 (871,12 kg CO₂/m²) en 50 años es de 159,81 kg CO₂/m², es decir un 15,50 % menos de emisiones a lo largo de 50 años, según la combinación elegida.
- Si se considera la vivienda completa; la diferencia entre la elección de una solución constructiva de la envolvente respecto de otra equivale a 9.069,48 kg CO₂ en 50 años.
- En términos absolutos, si se compara 15783 kg CO₂ con el valor de las emisiones asociadas al consumo medio de una vivienda en España 2.992 kg CO₂ (Hernandez-Sanchez, 2012), este ahorro equivale a las emisiones asociadas al consumo de una vivienda media durante 3,03 años.
- En el bloque de viviendas la diferencia entre las emisiones de CO₂ generadas por la combinación C2F1H1 (908,36 kg CO₂/m²) y la combinación C3F3H2 (756,63 kg CO₂/m²) en 50 años es de 151,73 kg CO₂/m², es decir un 16,70 % menos de emisiones a lo largo de 50 años, según la combinación elegida.
- Si se considera el bloque de viviendas completo; la diferencia entre la elección de una solución constructiva de la envolvente respecto de otra equivale a 200.996,73 kg CO₂ en 50 años.
- En términos absolutos, si se compara 200.996,73 kg CO₂ con el valor de las emisiones asociadas al consumo medio de una vivienda en España 2.992 kg CO₂ (Hernandez-Sanchez, 2012), este ahorro equivale a las emisiones asociadas al consumo de una vivienda media durante 67,18 años.
- En la vivienda unifamiliar aislada, la diferencia entre las emisiones de CO₂ generadas por la combinación C2F1H1 (1795kg CO₂/m²) y la combinación C3F3H2 (1475 kg CO₂/m²) en 50 años es de 320 kg CO₂/m², es decir un 17,82 % menos de emisiones a lo largo de 50 años, según la combinación elegida.
- Si se considera la vivienda unifamiliar aislada; la diferencia entre la elección de una solución constructiva de la envolvente respecto de otra equivale a 22.110,44 kg CO₂ en 50 años.
- En términos absolutos, si se compara 2210,44 kg CO₂ con el valor de las emisiones asociadas al consumo medio de una vivienda en España 2.992 kg CO₂ (Hernandez-Sanchez, 2012), este ahorro equivale a las emisiones asociadas al consumo de una vivienda media durante 7,39 años.

En las tres tipologías, las soluciones constructivas que se comparan siguen la misma tendencia en cuanto a su comportamiento medioambiental, es decir en el bloque de viviendas y en la vivienda unifamiliar aislada las soluciones constructivas con mejor y peor comportamiento medioambiental siguen siendo las mismas que en la vivienda adosada; aunque como es lógico la diferencia de los valores obtenidos al calcular los impactos ambientales ha variado.

Como se ha visto, el comportamiento medioambiental de las diferentes soluciones constructivas varía en función de la zona climática y de la orientación del edificio; pero también depende de la fase del ciclo de vida que se esté analizando y por supuesto depende del tipo de impacto a evaluar; a continuación se detallan las conclusiones a partir de los resultados obtenidos.

6.7 Conclusiones acerca de las soluciones constructivas evaluadas

Al comparar las diferentes soluciones constructivas considerando únicamente el tipo de fachada; se observa que las soluciones de fachada ligera F5, generan menos residuos y consumen menos agua; sin embargo producen más emisiones de CO₂ y consumen más energía que otras soluciones constructivas en la fase de fabricación. A medida que se van analizando los impactos a lo largo del ciclo de vida, se ve como las soluciones que integran la fachada ligera F5 se comportan peor en la fase uso debido a las emisiones generadas por la refrigeración y mejoran sustancialmente su comportamiento medioambiental frente a las emisiones de calefacción; por lo que son recomendables en climas fríos. Esto es debido a que los cerramientos vidriados de las fachadas permiten el paso de calor de forma mucho más fácil que las soluciones opacas. En caso de seleccionar esta fachada, lo recomendable será adoptar algún tipo de protección física frente al soleamiento, como persianas, marquesinas, vidrios con el factor solar modificado, etc.

Las combinaciones que integran la fachada ventilada F4 tienen un buen comportamiento medioambiental en la fase uso debido a las emisiones generadas por la refrigeración; sin embargo, estas combinaciones se comportan peor frente a la calefacción. La fachada ventilada F4, se ha comportado globalmente de manera menos eficiente de lo esperado, si bien el comportamiento es bueno en climas calurosos como protección frente al calor, aunque no tiene un buen comportamiento respecto a la demanda de calefacción en climas fríos. Actualmente, en España, el momento de mayor demanda de energía se produce en los meses de verano a causa de la necesidad de refrigeración por lo que una envolvente a base de fachada ventilada sería aconsejable en gran parte del país.

Al comparar según el espesor del aislamiento, las soluciones que mejor se comportan de forma global, tanto para calefacción como para refrigeración, son las que incorporan en fachada un aislamiento térmico de 10 cm de espesor, F3. Los impactos generados en la fase de fabricación por colocar un aislamiento con el doble de espesor representan un incremento del 0,3%; la reducción de los impactos será de aproximadamente el 7%, al cabo de 50 años.

Tal y como puede observarse en la figura 6.19, en un clima frío, zona E1, si se van comparando alternativamente las mismas combinaciones duplicando el espesor del aislamiento de 5 a 10 cm, apenas se muestran cambios en las fase de fabricación y mantenimiento. Sin embargo, en la fase uso las emisiones de CO₂ descienden en torno a los 100 Kg de CO₂/m² en las combinaciones en las que se ha incorporado un aislamiento de 10 cm, es decir, la misma solución de fachada F2 con un aislamiento de doble espesor.

Capítulo 6. COMPARATIVA DE LOS IMPACTOS DE LA FASE DE FABRICACIÓN CON LOS IMPACTOS DE LA FASE DE MANTENIMIENTO Y USO

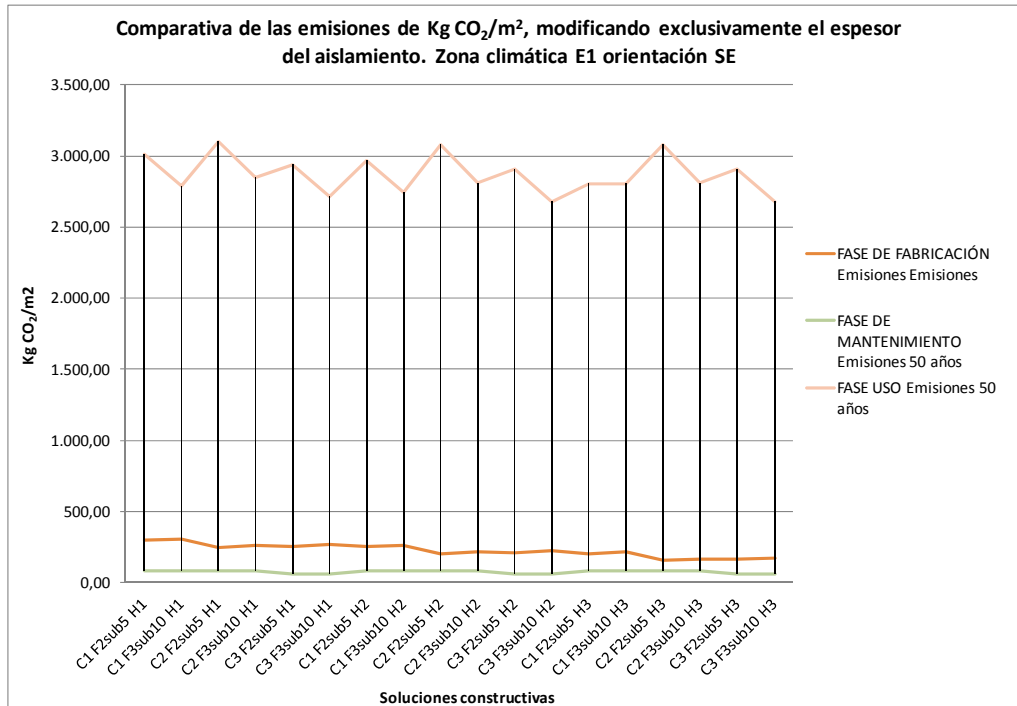


Figura 6.19 Emisiones equivalentes de CO₂/m² comparando exclusivamente combinaciones con aislamiento entre 5 y 10 cm de espesor en la zona E1. Orientación SE.

Si se comparan las soluciones constructivas variando únicamente el tipo de cubierta, se observa que durante la fase uso, las cubiertas no originan alteraciones en los consumos tan notables como las fachadas, por lo tanto el diseñador deberá prestar especial atención en la selección de la fachada de su edificio para mejorar la eficiencia energética. Aun así, se aprecia que la cubierta invertida C3 con una transmitancia térmica de 0,40W/m²K, se comporta de manera más eficiente que la cubierta convencional C1 con una transmitancia térmica de 0,44W/m²K, y que la cubierta ventilada C2 con una transmitancia térmica de 0,43W/m²K. Así mismo, se puede observar que las combinaciones que integran la cubierta invertida C3 mejoran al cabo de 50 años por su escaso coste de mantenimiento y por su buen comportamiento frente al calor (figura 6.19).

Desde el punto de vista del tipo de carpintería, se observa que los impactos generados por las diferentes soluciones constructivas no varían significativamente en función del tipo de carpintería utilizada, ya que los consumos y las emisiones producidas durante la fase uso dependen de la calidad de la carpintería seleccionada, de su transmitancia, permeabilidad, color y factor solar. Este estudio se ha realizado seleccionando carpinterías con prestaciones similares, por lo que la variación del comportamiento medioambiental dependerá fundamentalmente de los impactos generados en la fase de fabricación (figura 6.20).

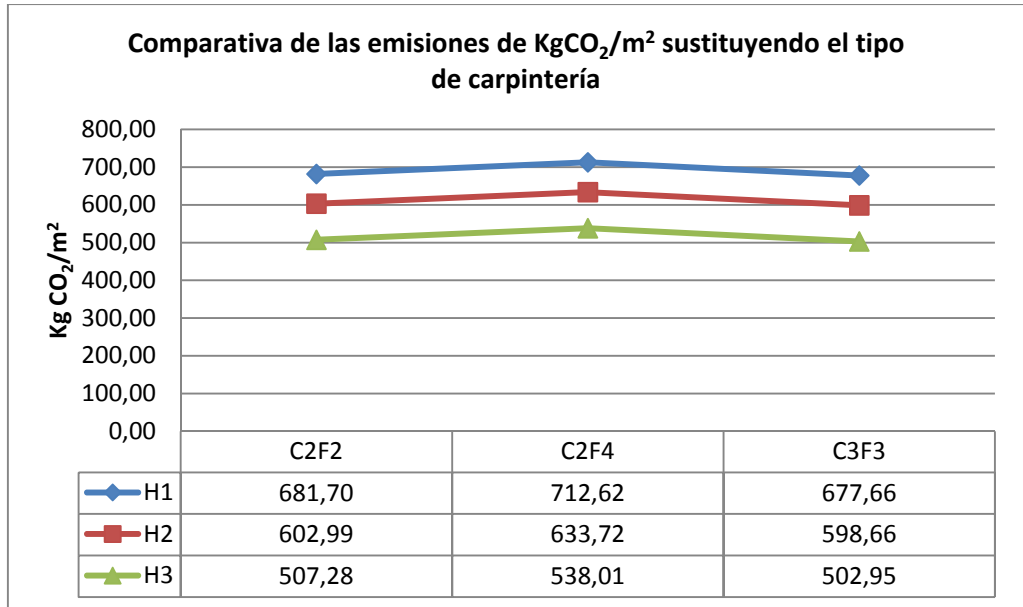


Figura 6.20 Emisiones eq. de CO₂/m² comparando combinaciones de fachada y cubierta con diferentes tipos de carpintería.

Aun así, existen variaciones según el tipo de carpintería seleccionada y ello puede ser debido a que las pérdidas (o ganancias) de energía a través de los cerramientos acristalados se producen básicamente de 3 modos:

-Por radiación a través del vidrio: en general, las mayores ganancias de energía se producen por radiación (directa y difusa) que entra a través del vidrio. Aquí influye también mucho la orientación y la superficie del vidrio. Hay que tener en cuenta que las carpinterías H2 de perfiles de PVC y H3 de madera suelen reducir la superficie acristalada con respecto a perfiles de aluminio.

-Por conducción a través del vidrio y de los perfiles: aquí, las carpinterías H2 de perfiles de PVC salen claramente beneficiados con respecto a las carpinterías H1 de con perfiles de aluminio, consecuencia principalmente de sus valores bajos de conductividad térmica.

-Por calor absorbido por los perfiles y el vidrio y luego cedido al interior: los perfiles y el vidrio se calientan y ceden parte de esa energía al interior. Las carpinterías H2 de PVC no se calientan (o enfrían) tanto como las carpinterías H1 de aluminio, también consecuencia de su baja conductividad.

Como conclusión general, se puede decir que para obtener una valoración global de los impactos de la envolvente a lo largo de todo el ciclo de vida de un edificio, es necesario comparar dos escenarios diferentes entre los que existe una vinculación directa, ya que la demanda energética del edificio dependerá en parte de las soluciones constructivas adoptadas para la envolvente y en parte de la eficiencia de las instalaciones incorporadas.

Para saber en qué medida merece la pena adoptar una solución constructiva u otra en la fase de diseño será necesario considerar los impactos ambientales generados en cada fase del ciclo de vida vinculados a la envolvente y posteriormente establecer un

Capítulo 6. COMPARATIVA DE LOS IMPACTOS DE LA FASE DE FABRICACIÓN CON LOS IMPACTOS DE LA FASE DE MANTENIMIENTO Y USO

sistema de homogeneización a partir de indicadores para poder valorar y comparar los resultados entre sí.

Por ello en el capítulo 7 se desarrollará un modelo basado en indicadores de sostenibilidad que permitirá asignar valores a cada solución constructiva en la fase inicial de diseño.

Capítulo 7 PROPUESTA DE UN MODELO DE EVALUACIÓN DEL IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DE LA ENVOLVENTE DEL EDIFICIO, A PARTIR DE INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD, EN LA FASE INICIAL DEL DISEÑO

A partir del análisis de caso de estudio del capítulo 5, se pueden obtener datos para contribuir al desarrollo un modelo que permita asignar indicadores (valores de impactos) a cada solución constructiva en la fase inicial de diseño.

Como se ha definido en el capítulo 3 de esta tesis, los indicadores como tales han de ser exactos, inequívocos y específicos, comprensibles y fáciles de interpretar, accesibles y sencillos de obtener evitando aquellos cuya interpretación requiera largos cálculos estadísticos y matemáticos. A su vez deben ser significativos y relevantes, representando la realidad de un sistema para poder actuar en consecuencia. También deben ser sensibles a los cambios, ya que solo así se podrá evaluar de una manera rápida, sencilla y continua el desarrollo de las actuaciones ambientales. Por último, deben ser válidos, científicamente solventes, y por lo tanto verificables y reproducibles, así como útiles para la acción. Los impactos ambientales a considerar deberán agrupar en unos pocos valores los principales efectos que ocasionan sobre el medio proporcionando una visión rápida de la situación del medio ambiente en un entorno determinado.

Un indicador es, tal y como se ha definido en el apartado 3.1, una variable o estimación ambiental (por ejemplo, emisiones de CO₂) que proporciona una información agregada y sintética sobre un fenómeno (por ejemplo, el cambio climático). La función principal de un indicador es por tanto, la de informar de forma clara y eficaz. Así pues, se hace necesario establecer un contenido mínimo indispensable para presentar los indicadores, tanto para procesos de selección de los propios indicadores como para el análisis y validación de la información que contienen con el fin de disponer de información concreta y concisa para evitar ambigüedades en su interpretación y poder llevar a cabo adecuadamente una correcta toma de decisiones en base a los mismos.

El objetivo fundamental del presente capítulo es la elaboración de un sistema de indicadores de sostenibilidad para los edificios de uso residencial que sirva para establecer unos valores para las diferentes soluciones constructivas. Estos indicadores permitirán incrementar la información que los catálogos de soluciones constructivas aportan al diseñador en la selección de soluciones constructivas de la envolvente de los edificios.

7.1 Aproximaciones metodológicas a la construcción de indicadores

Para poder llevar a cabo la toma de decisiones, es necesario manejar una única medida que permita sintetizar la información. Ahora bien, existen inconvenientes a la hora de valorar la información de una media sintética ya que se plantean problemas derivados de

Capítulo 7 PROPUESTA DE UN MODELO DE EVALUACIÓN DEL IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DE LA ENVOLVENTE DEL EDIFICIO, A PARTIR DE INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD, EN LA FASE INICIAL DEL DISEÑO

la heterogeneidad de los datos y de una excesiva simplificación, lo que puede dificultar la correlación entre los indicadores (Gallopín 1997).

Según Castro (2002), para elaborar adecuadamente un indicador será necesario realizar una adecuada selección de variables, una estandarización y ponderación de estas variables y finalmente llevar a cabo una normalización de las mismas.

La selección de cada variable debe realizarse sobre la base de su relevancia, su calidad, la frecuencia con que se muestrea y su disponibilidad al dominio público (Cepal, 2009).

X_{ij} = valor que toma la dimensión j en el caso i

A continuación los valores estandarizados se someten a un proceso de normalización consistente en transformar una serie de variables cuantificadas con diferentes unidades en variables con una unidad común. Según la clasificación establecida por Barba-Romero y Pomerol (1997), la normalización puede ser de tres tipos: a) sin cambio de magnitud, b) con cambio de magnitud a escala libre, o c) con cambio de magnitud a escala fija.

Así mismo, existen diferentes técnicas para normalizar indicadores.

La normalización min-max utiliza los valores mínimo y máximo observados para normalizar linealmente los datos de manera que los valores mínimos y máximos de los indicadores se desplacen a los valores 0 y 1, respectivamente, y todos los demás indicadores adopten valores relativos que varían en el rango adimensional (0, 1), de modo que la distribución original se mantenga (a excepción del factor escala).

Se pueden definir las siguientes funciones de normalización min-max en base a que el valor objetivo para el indicador sea un valor máximo X_{\max} (indicadores del tipo ‘cuanto mayor mejor’) o un valor mínimo X_{\min} (indicadores del tipo ‘cuanto menor mejor’) (Phillis y Andriantiatsaholiniaina, 2001)

· Si el valor objetivo es un máximo X_{\max}

$$X_q \leq X_{\max}$$
$$N(X_q) = \frac{X_q - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}}$$

· Si el valor objetivo es un mínimo X_{\min}

$$X_q \geq X_{\min}$$

$$N(X_q) = \frac{X_{\max} - X_q}{X_{\max} - X_{\min}}$$

Siendo

$N(x_q)$: Función de normalización

X_q : Valor actual del indicador q

X_{\max} : Valor máximo observado del indicador

X_{\min} : Valor mínimo observado del indicador.

Para permitir la comparación de las variables y facilitar el análisis, se pueden someter los valores obtenidos a un proceso de estandarización mediante su transformación a una

escala para cada indicador. Existen diferentes técnicas para llevar a cabo la ponderación de los valores, a continuación se enuncian los más habituales:

- Técnicas basadas en establecer para cada indicador un intervalo: $(X_i - X_{\min} / X_{\max} - X_{\min}) * 100$ (Drewnoski, 1970)
- Técnicas basadas en resumir la información considerada en un conjunto de indicadores, partiendo de unos valores de referencia (Nijkamo y Vreeker 2000).
- Técnicas basadas en el escalonamiento en el que se puntúan los indicadores de 1 a 5 o de 0 a 4 y se agregan los resultados (Sarandón, 2006).
- Técnicas multicriterio en las que deben de calcularse los pesos relativos de cada plano de requerimiento, criterio e indicador ambiental, realizados sucesivamente según este orden (Saaty, 1986).

7.2 Desarrollo de la metodología para la construcción de indicadores de sostenibilidad para evaluar la envolvente de los edificios

Tal y como se ha visto en el capítulo 3 de esta tesis, desde el punto de vista metodológico, existen multitud de métodos que suponen procedimientos alternativos para la evaluación y obtención de indicadores de sostenibilidad, (análisis de diferentes técnicas). En esta tesis se utilizará el modelo Presión, Estado y Respuesta, conocido como PER basado en la lógica causal de acción y respuestas. Según este modelo, los indicadores ambientales se diseñarán conforme al principio de causalidad (causa-efecto) entre los impactos identificados en distintas fases y la previsión razonada de las consecuencias previsibles.

7.2.1 Técnicas para la construcción de indicadores para evaluar la sostenibilidad de la envolvente de los edificios

Como también se ha explicado en el capítulo 3, la evaluación de la sostenibilidad mediante indicadores puede darse de dos formas: mediante un conjunto de indicadores simples o por un indicador sintético (o índice). Los indicadores simples están contruidos por la combinación de datos, y el indicador sintético por la conversión de los indicadores en un índice mediante una función matemática que los sintetiza. En esta tesis se desarrollará un modelo de evaluación formado por un conjunto de indicadores simples y posteriormente se convertirán los indicadores en un índice a partir de una matriz que se ha denominado matriz de decisión.

-En lo referente a la selección de variables, se determinarán los indicadores de sostenibilidad a desarrollar en cada una de las fases del ciclo de vida del edificio en base a las conclusiones obtenidas en el capítulo 4. Seguidamente se obtendrán las fórmulas de los indicadores seleccionados a partir de los datos derivados de la medición de los impactos reales según la metodología propuesta en el capítulo 5. Estas fórmulas servirán para desarrollar adecuadamente los indicadores seleccionados. Seguidamente se procederá a calcular los indicadores utilizando las fórmulas desarrolladas para comparar

Capítulo 7 PROPUESTA DE UN MODELO DE EVALUACIÓN DEL IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DE LA ENVOLVENTE DEL EDIFICIO, A PARTIR DE INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD, EN LA FASE INICIAL DEL DISEÑO

los valores reales de los impactos con los resultados obtenidos a partir de los indicadores. Finalmente se comprobará la validez del modelo en otras tipologías.

En lo que respecta a la toma de decisiones, se seguirán las fases propuestas por Castro J (2002), es decir, estandarización, ponderación y normalización.

-Los valores obtenidos se someterán a un proceso de estandarización y ponderación; para ello, primero se realizará el análisis por separado de cada uno de los indicadores simples, comparando su valor observado con el umbral (o valor límite deseado) y posteriormente se expresarán los resultados de todos los indicadores de forma simultánea mediante gráficos. En cuanto a la normalización, consistente en transformar una serie de variables cuantificadas con diferentes unidades en variables con una unidad común; esta se realizará mediante su transformación a una escala para cada indicador basándose en las técnicas del escalonamiento en el que se puntúan los indicadores de 0 a 4 estableciendo un sistema de puntuación a partir de los resultados obtenidos.

No obstante, la interpretación simultánea de los resultados de múltiples indicadores conlleva una dificultad añadida que puede complicar la toma de decisiones, en este caso la de seleccionar un sistema constructivo que permita mejorar la sostenibilidad; por ello para facilitar la toma de decisiones, se formalizará una matriz de decisión y finalmente se comprobará la validez de los resultados.

7.2.2 Listado definitivo de los indicadores a desarrollar

El listado de los indicadores seleccionados para llevar a cabo esta tesis; así como la definición y justificación de los mismos se ha obtenido a partir del análisis desarrollado en el capítulo 4. Así pues, según las conclusiones expuestas en el apartado 4.6, se han considerado suficientemente representativos los indicadores que describen el Potencial del calentamiento Global (emisiones equivalentes de CO₂); también se tendrán en cuenta los indicadores que describen el uso de recursos tales como el consumo de energía primaria en las fases de fabricación, mantenimiento y uso y el consumo de agua en la fase de fabricación; así mismo, se considerarán los indicadores que describen información ambiental complementaria como la generación de residuos peligrosos y no peligrosos en la fase de fabricación y los indicadores que permitirán valorar tanto los costes de inversión como los costes energéticos en las fases de fabricación, mantenimiento y uso del edificio.

7.2.3 Presentación y contenido de la información.

Existe gran variedad de posibles formatos de presentación de los indicadores, modificándose su contenido en función de la información que se pretende ofrecer. A su vez, distintos organismos tienen establecidos formatos y contenidos distintos basados en las características y tipos de informes que desarrollan.

La función principal del indicador es la de informar de forma clara y eficaz; por tanto, se hace necesario establecer un contenido mínimo indispensable para presentar los

indicadores. Un contenido básico a desarrollar puede ser el que se presenta a continuación (Aguirre, 2002)

1. Título del indicador. Mensaje clave describiendo sucintamente la conclusión que puede obtenerse del análisis de la información presentada en el gráfico y la tendencia ofrecida por el indicador o el tipo de indicador, dentro del marco de referencia en el que se desarrolla el sistema al que pertenece.
2. Análisis y evaluación de la información ofrecida por el indicador. Definición del problema ambiental al que se refiere y relevancia del mismo para analizar el problema. Este análisis amplía el objetivo para el que se desarrolla el indicador presentado en punto 1 y aporta información acerca del problema con el que se asocia.
3. Descripción metodológica. Metodología de tratamiento de datos. Análisis de las metodologías empleadas y posibilidad de comparación
4. Trabajos pendientes o futuros desarrollos que mejorarían la información. Marco legislativo o normativa vinculado al indicador con especificación de valores límite. Notas aclaratorias, observaciones, etc.
5. Obtención de la fórmula para calcular el indicador mediante un análisis de datos, fuente de datos y descripción de los parámetros, etc.
6. Indicadores complementarios y subindicadores. Siempre que se considere necesario pueden desarrollarse indicadores derivados o complementarios al indicador principal con el fin de ampliar la información que este suministra o matizar aspectos específicos.
7. Datos base. Datos básicos para el cálculo de cada indicador.

7.2.4 Desarrollo de la metodología adoptada para la obtención de los indicadores seleccionados

En el capítulo 5 de esta tesis se ha descrito y desarrollado la metodología propuesta para la obtención de los datos necesarios para desarrollar las fórmulas necesarias para la fabricación de los indicadores de sostenibilidad seleccionados

Según la norma ISO 14031, los datos utilizados para la creación de indicadores pueden derivarse de mediciones directas de datos concretos, mediciones relativas, agregación o ponderación de datos y otros índices.

A continuación se resumen los pasos seguidos para la obtención de los datos necesarios:

-En primer lugar se han calculado los impactos ambientales producidos durante las fases de fabricación y puesta en obra del edificio. En este sentido se han obtenido las emisiones equivalentes de CO₂, consumos de energía primaria, consumos de agua, residuos generados peligrosos y no peligrosos (se han agrupado los residuos correspondientes a la puesta en obra y al embalaje) y costes de inversión. En esta fase del cálculo, las unidades que se expresan por metro cuadrado de superficie del elemento construido.

-En segundo lugar, se han obtenido los impactos producidos por los diferentes elementos constructivos analizados (cubiertas, fachadas y carpinterías), durante la fase de mantenimiento del edificio, considerando exclusivamente el mantenimiento corrector que contempla la sustitución y reparación de los materiales que han dejado

Capítulo 7 PROPUESTA DE UN MODELO DE EVALUACIÓN DEL IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DE LA ENVOLVENTE DEL EDIFICIO, A PARTIR DE INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD, EN LA FASE INICIAL DEL DISEÑO

de cumplir su funcionalidad. En esta fase, se introducen, aisladamente, en la herramienta los materiales que forman parte de una determinada solución constructiva y que son susceptibles de ser sustituidos a lo largo de 50 años. El impacto ambiental de las emisiones de CO₂ y consumos de energía primaria durante las fases de mantenimiento se obtiene mediante el módulo TCQGMA y se multiplicará por el F_R obtenido a partir del número de veces que dicho material será sustituido a lo largo de toda la vida útil del edificio. La obtención del factor F_R se explica en el apartado 5.4.3 del capítulo 5.

En este sentido se han obtenido los impactos debidos a las emisiones de CO₂, los consumos energéticos y los costes de mantenimiento, ponderados en función de la proporción de material que integra cada solución constructiva y FR (tabla 7.1). En esta fase no se han tenido en cuenta los impactos debidos al consumo de agua ni los residuos generados, ni los costes debidos al mantenimiento preventivo porque se ha visto que afectan en una proporción muy pequeña respecto de los valores considerados en la fase de fabricación y puesta en obra (por debajo del 1%). En esta fase del cálculo, las unidades que se expresan por metro cuadrado de superficie del elemento construido.

Los resultados utilizados para el desarrollo de los indicadores de la fase de fabricación se muestran en las tablas 6.1, 6.2 y 6.3

Posteriormente se obtiene el valor de los impactos por metro cuadrado de superficie útil de vivienda, multiplicando cada resultado por el F_s correspondiente a fin de poder comparar los impactos de la fase de fabricación, puesta en obra y mantenimiento, con los impactos de la fase uso sobre la unidad funcional considerada (1m² de superficie útil de vivienda).

Seguidamente, se calculan los consumos y las emisiones de CO₂, debidos a las instalaciones de calefacción y de refrigeración; por considerar que estos impactos pueden estar vinculados a las soluciones constructivas adoptadas para la envolvente. No se han tenido en cuenta otras instalaciones (como las de producción de ACS) por entender que sus impactos no están vinculados a las soluciones constructivas de la envolvente.

Los resultados utilizados para el desarrollo de los indicadores de la fase de uso se recopilan en la tabla 6.4.

Los cálculos de la fase uso se realizan para las 45 combinaciones de la envolvente que se lista en la primera columna de la tabla 6.4, en las dos zonas climáticas (B3 y E1) y en las dos orientaciones (NE y SE)

Finalmente, a partir de estos resultados se desarrollarán las fórmulas para el cálculo de los indicadores tal y como se describe en el apartado 7.2.5

7.2.5 Obtención de las fórmulas para el cálculo de los impactos de la fase de fabricación y puesta en obra

7.2.5.1 Definición de la formula de los impactos en la fase de fabricación y puesta en obra

Para obtener el valor de los indicadores durante la fase de fabricación y puesta en obra se utilizarán los resultados de los impactos obtenidos por la herramienta TCQGMA según se ha explicado detalladamente en el capítulo 5 y resumido en el apartado 7.2.4. Todos los resultados se han multiplicado por el Fs correspondiente. Los valores obtenidos se han recopilado en la tabla 7.1, (esta tabla recoge los resultados que se habían mostrado en la tabla 6.1, marcando en tono azul el menor valor de cada impacto producido por cada elemento constructivo). En la primera fila se indica la fase de ciclo de vida considerada y en la segunda y tercera fila, se indican los impactos evaluados y las unidades correspondientes. Las unidades se expresan por metro cuadrado de superficie útil de vivienda.

La columna de la izquierda agrupa las variables correspondientes a los elementos constructivos que integrarán las combinaciones de la envolvente que se han utilizado en esta investigación, la segunda columna recoge el factor de superficie Fs correspondiente a cada elemento constructivo y el bloque de la derecha agrupa las columnas correspondientes a los impactos reales evaluados en la fase de fabricación y puesta en obra.

VARIABLES	Fs	IMPACTOS AMBIENTALES DE LA FASE DE FABRICACIÓN Y PUESTA EN OBRA					
		Emisiones equivalentes	Consumos de energía primaria	Agua	Residuos		Costes
				Consumo	Puesta en obra más embalaje (kg/m ²)		Inversión
m ² /m ² superficie útil vivienda	(kg CO ₂ /m ²)	(kWh/m ²)	(m ³ /m ²)	Peligrosos (kg/m ²)	No peligrosos e inertes (kg/m ²)	(€/m ²)	
C1	0,72	243,40	543,40	0,048	0,27	12,25	151,52
C2	0,72	177,62	472,42	0,016	0,12	16,12	143,09
C3	0,72	188,25	418,84	0,048	0,098	10,32	107,32
F1	0,53	67,20	218,19	0,03	0,00	22,92	98,24
F2	0,53	42,88	134,44	0,024	0,00	10,28	76,38
F3	0,53	61,39	215,29	0,024	0,00	10,90	88,15
F4	0,53	52,22	192,62	0,016	0,00	11,51	128,07
F5	0,53	88,04	414,95	0,01	0,00	0,00	758,72
H1	0,17	592,05	1.203,78	0,00	0,055	0,00	231,58
H2	0,17	324,42	743,75	0,00	0,06	0,00	218,94
H3	0,17	37,46	169,85	0,00	0,055	0,00	247,90

Tabla 7.1 Impactos derivados de los elementos constructivos fase de fabricación y puesta en obra

Cada elemento constructivo se identifica mediante letras y números, la letra identifica la clase de elemento C= cubiertas, F=fachadas, H=carpinterías, y el número identifica la subclase dentro de cada grupo con el siguiente significado.

Capítulo 7 PROPUESTA DE UN MODELO DE EVALUACIÓN DEL IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DE LA ENVOLVENTE DEL EDIFICIO, A PARTIR DE INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD, EN LA FASE INICIAL DEL DISEÑO

C1 Cubierta plana caliente continua.

C2 Cubierta plana ventilada.

C3 Cubierta plana invertida.

F1 Fachada de fábrica, hoja exterior de ladrillo caravista, aislamiento 5cm.

F2 Fachada de fábrica, hoja exterior enfoscada, aislamiento 5cm.

F3 Fachada de fábrica, hoja exterior enfoscada, aislamiento 10cm.

F4 Fachada ventilada, aislamiento por el exterior, espesor 5 cm.

F5 Fachada ligera tipo muro cortina.

H1 Carpintería de aluminio

H2 Carpintería de PVC.

H3 Carpintería de madera.

Para la obtención de la fórmula se obtendrá una constante para cada grupo de elementos constructivos y cada impacto. La constante corresponderá al menor valor del impacto en cada grupo que aparece en tono azul en la tabla 7.1. A continuación se obtendrán los factores de cada impacto dividiendo su valor real por el valor menor del impacto en cada grupo. El valor obtenido para los factores de cada impacto en cada grupo de elementos constructivos se muestra en la tabla 7.2.

	Factor emisiones	Factor consumo	Factor consumo agua	Factor residuos peligrosos	Factor residuos NO peligrosos	Factor costes inversión
C1	1,37	1,30	3	2,76	1,19	1,41
C2	1,00	1,13	1	1,22	1,56	1,33
C3	1,06	1,00	3	1,00	1,00	1,00
F1	1,57	1,62	3		2,23	1,29
F2	1,00	1,00	2,4		1,00	1,00
F3	1,43	1,60	2,4		1,06	1,15
F4	1,22	1,43	1,6		1,12	1,68
F5	2,05	3,09	1			9,93
H1	15,80	7,09		1,00		1,13
H2	8,66	4,38		1,00		1,00
H3	1,00	1,00		1,00		1,13

Tabla 7.2 Obtención de los factores de los impactos de las fase de fabricación y puesta en obra

7.2.5.2 Obtención de las ecuaciones para el cálculo de los impactos en la fase de fabricación y puesta en obra

$$\text{Emisiones de CO}_2 \text{ equivalentes en la fase de fabricación y puesta en obra} = \{177,62 \times F_{S,cub} \times (1,37 C1 + 1,00 C2 + 1,06 C3) + 42,28 \times F_{S,fac} \times (1,57 F1 + 1,00 F2 + 1,43 F3 + 1,22 F4 + 2,05 F5) + 37,46 \times F_{S,car} \times (15,80 H1 + 8,66 H2 + 1,00 H3) \} [1]$$

$$\begin{aligned} & \text{Consumos de energía primaria durante la fase de fabricación y} \\ & \text{puesta en obra} = \\ & \{418,84 \times F_{S,cub} \times (1,3C1 + 1,13C2 + 1,00C3) + 134,44 \times F_{S,fac} \times (1,62F1 + \\ & 1,00F2 + 1,60F3 + 1,43F4 + 3,09F5 + 169,85 \times F_{S,car} \times (1,3H1 + 1,13H2 + 1,00H3) \\ & [2] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{Consumos de agua durante la fase de fabricación y puesta en obra} = \\ & \{0,016 \times F_{S,cub} \times (3C1 + 1C2 + 3C3) + 0,01 \times F_{S,fac} \times (3F1 + 2,4F2 + 1,602,4F3 + \\ & 1,6F4 + 1F5 + 0,001 \times F_{S,car} \times (_H1 + _3H2 + 1,00H3) \quad 3 \end{aligned}$$

Generación de residuos peligrosos durante la fase de fabricación y puesta en obra

$$\begin{aligned} & = \{0,098 \times F_{S,cub} \times (2,76C1 + 1,22C2 + 1,00C3) \\ & + 0,00 \times F_{S,fac} \times (_F1 + _F2 + _F3 + _F4 + _F5) \\ & + 0,055 \times F_{S,car} \times (1H1 + 1H2 + 1H3) \quad [4] \end{aligned}$$

Generación de residuos NO peligrosos durante la fase de fabricación y puesta en obra =

$$\begin{aligned} & \{10,32 \times F_{S,cub} \times (1,19C1 + 1,56C2 + 1,00C3) + 10,28 \times F_{S,fac} \times (2,23F1 + \\ & 1,00F2 + 1,06F3 + 1,12F4 + _F5 + 0,001 \times F_{S,car} \times (_H1 + _H2 + _H3) \\ & [5] \end{aligned}$$

Costes de inversión en la fase de fabricación y puesta en obra =

$$\begin{aligned} & \{107,32 \times F_{S,cub} \times (1,41C1 + 1,33C2 + 1,00C3) + 76,38 \times F_{S,fac} \times (1,29F1 + \\ & 1,00F2 + 1,15F3 + 1,68F4 + 9,93F5 + 218,94 \times F_{S,car} \times (1,13H1 + 1,00H2 + 1,13H3) \\ & [6] \end{aligned}$$

Costes de la energía consumida en la fase de fabricación y puesta en obra =

$$\begin{aligned} & \left\{ (418,84 \times F_{S,cub} \times (1,3C1 + 1,13C2 + 1,00C3)) + (134,44 \times F_{S,fac} \times (1,62F1 + \right. \\ & 1,00F2 + 1,60F3 + 1,43F4 + 3,09F5 + (169,85 \times F_{S,car} \times (7,09H1 + 4,38H2 + 1,00H3) \\ & \left. \times \text{cost}_{kwhora} \right) \quad [7] \end{aligned}$$

El factor de superficie Fs variará para cada edificio y para cada elemento constructivo y deberá ser un dato a cumplimentar por el proyectista según se indica a continuación.

$F_{S,cub}$ = parte proporcional de cubierta por metro cuadrado de superficie útil de vivienda.

$F_{S,fac}$ = parte proporcional de fachada por metro cuadrado de superficie útil de vivienda.

$F_{S,car}$ = parte proporcional de carpintería por metro cuadrado de superficie útil de vivienda.

7.2.6 Obtención de las fórmulas para el cálculo de los impactos de la fase de mantenimiento

7.2.6.1 Definición de la fórmula de los impactos en la fase de mantenimiento

Para obtener el valor de los indicadores durante la fase de mantenimiento se utilizarán los resultados de los impactos obtenidos por la herramienta TCQGMA según se ha explicado detalladamente en el capítulo 5 y resumido en el apartado 7.2.4. Todos los resultados se han multiplicado por el F_s correspondiente. Los valores obtenidos se han recopilado en la tabla 7.3, (esta tabla recoge los resultados que se habían mostrado en la tabla 6.3, marcando en tono azul el menor valor de cada impacto producido por cada elemento constructivo).

La columna de la izquierda agrupa las variables correspondientes a los elementos constructivos que integrarán las combinaciones de la envolvente que se han utilizado en esta investigación, la segunda columna recoge el factor de superficie F_s correspondiente a cada elemento constructivo y el bloque de la derecha agrupa las columnas correspondientes a los impactos reales evaluados en la fase de mantenimiento.

La designación de los elementos constructivos se ha explicado en el apartado 7.2.5.1

VARIABLES	Fs m ² /m ² superficie útil vivienda	FASE DE MANTENIMIENTO		
		Costes	Mantenimiento corrector	
		Mantenimiento (€)	Emisiones (kg CO ₂ /m ²)	Consumo (kWh/m ²)
C1	0,72	93,72	92,31	172,68
C2	0,72	93,72	92,31	172,68
C3	0,72	67,24	66,08	130,51
F1	0,53	22,66	7,39	14,09
F2	0,53	22,66	7,39	14,09
F3	0,53	22,66	7,39	14,09
F4	0,53	11,78	4,15	13,00
F5	0,53	153,34	63,84	294,91
H1	0,17	165,24	67,06	300,99
H2	0,17	165,24	67,06	300,99
H3	0,17	409,43	71,88	326,93

Tabla 7.3 Impactos derivados de los elementos constructivos fase de mantenimiento

Para la obtención de la fórmula se seguirá el mismo procedimiento descrito en el apartado 7.2.5.2, es decir, se obtendrá una constante para cada grupo en cada impacto. La constante corresponderá al menor valor del impacto en cada grupo que aparece en tono azul en la tabla 7.3. Seguidamente se obtendrán los factores de cada impacto dividiendo su valor real por el valor menor del impacto en cada grupo. El valor obtenido

Capítulo 7 PROPUESTA DE UN MODELO DE EVALUACIÓN DEL IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DE LA ENVOLVENTE DEL EDIFICIO, A PARTIR DE INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD, EN LA FASE INICIAL DEL DISEÑO

para los factores de cada impacto en cada grupo de elementos constructivos se muestra en la tabla 7.4.

	Factor costes mantenimiento	Factor emisiones CO ₂	Factor consumo kWh
C1	1,39	1,40	1,32
C2	1,39	1,40	1,32
C3	1,00	1,00	1,00
F1	1,92	1,8	1,0
F2	1,92	1,8	1,0
F3	1,92	1,8	1,0
F4	1,00	1,0	0,9
F5	13,02	15,4	20,9
H1	1,00	1,0	1,0
H2	1,00	1,0	1,0
H3	2,48	1,1	1,1

Tabla 7.4 Obtención de los factores de los impactos de las fase de mantenimiento

7.2.6.2 Obtención de las ecuaciones para el cálculo de los impactos en la fase de mantenimiento

$$\text{Emisiones de CO}_2 \text{ equivalentes en la fase de mantenimiento} = \{66,08 \times F_{S,cub} \times (1,4 C1 + 1,4 C2 + 1,00 C3) + 7,39 \times F_{S,fac} \times (1,8 F1 + 1,8 F2 + 1,8 F3 + 1,0 F4 + 15,4 F5) + 63,84 \times F_{S,car} \times (1,0 H1 + 1,0 H2 + 1,1 H3)\} \quad 8$$

$$\text{Consumos de energía primaria durante la fase de mantenimiento} = \{130,51 \times F_{S,cub} \times (1,32 C1 + 1,32 C2 + 1,00 C3) + 13,00 \times F_{S,fac} \times (1,00 F1 + 1,00 F2 + 1,00 F3 + 0,9 F4 + 20,9 F5) + 300,99 \times F_{S,car} \times (1,0 H1 + 1,0 H2 + 1,1 H3)\} \quad [9]$$

$$\begin{aligned} \text{Costes de inversión en la fase de mantenimiento} \\ = \{67,24 \times F_{S,cub} \times (1,39 C1 + 1,39 C2 + 1,00 C3) \\ + 11,78 \times F_{S,fac} \times (1,92 F1 + 1,92 F2 + 1,92 F3 + 1,00 F4 \\ + 13,02 F5) + 165,24 \times F_{S,car} \times (1,00 H1 + 1,00 H2 + 2,48 H3)\} \quad [10] \end{aligned}$$

$$\text{Costes de los consumos energéticos en la fase de mantenimiento} = \{130,51 \times F_{S,cub} \times (1,32 C1 + 1,32 C2 + 1,00 C3) + 13,00 \times F_{S,fac} \times (1,0 F1 + 1,0 F2 + 1,0 F3 + 0,9 F4 + 20,9 F5) + 300,99 \times F_{S,car} \times (1,00 H1 + 1,00 H2 + 1,1 H3)\} \quad 11$$

El factor de superficie Fs variará para cada edificio y para cada elemento constructivo y deberá ser un dato a cumplimentar por el proyectista según se ha indicado en el apartado 7.2.5.2.

7.2.7 Obtención de las fórmulas para el cálculo de los impactos de la fase de uso

7.2.7.1 Elección del modelo de regresión lineal

Para llevar a cabo el desarrollo del indicador, se ha considerado de interés toda la información obtenida a través del caso de estudio

Un modelo de regresión lineal múltiple consiste en un modelo matemático por el cual se predice el valor de una variable dependiente, y , mediante la combinación lineal de los valores de varias variables explicativas, $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$, más un término aleatorio de valor constante b_0 . Así, el modelo de regresión matemático presentaría la forma que se indica en la siguiente ecuación:

$$Y = b_0 + m_1x_1 + m_2x_2 + m_3x_3 + \dots + m_nx_n$$

Donde m_i es el coeficiente de la variable x_i . Así cuanto mayor es m_i , mayor es la influencia de la variable x_i en la variable dependiente.

En este trabajo, se utiliza el modelo de regresión lineal simple utilizando los factores analizados en el caso de estudio: zona climática, la orientación, tres tipos de cubierta, cinco tipos de fachada y tres tipos de carpintería; como variables explicativas y el impacto durante la fase de uso como variable dependiente. De este modo, se calcula un modelo de regresión lineal múltiple para cada uno de los siguientes impactos de la fase uso:

- Emisiones equivalentes de CO₂ de las instalaciones de calefacción, por metro cuadrado de superficie útil de la vivienda
- Emisiones equivalentes de CO₂ de las instalaciones de refrigeración, por metro cuadrado de superficie útil de la vivienda
- Consumos de energía primaria de las instalaciones de calefacción, por metro cuadrado de superficie útil de la vivienda
- Consumos de energía primaria de las instalaciones de calefacción, por metro cuadrado de superficie útil de la vivienda

7.2.7.2 Definición de la fórmula de los indicadores en la fase de uso

La tabla 7.5 resume parte de los datos para calcular el modelo de regresión. (La matriz Excel completa utilizada para la obtención de todas las ecuaciones se muestra en el anexo I).

La matriz se divide en dos bloques de columnas: el bloque de la izquierda agrupa las variables explicativas utilizadas para la obtención de la fórmula de cada indicador y el bloque de la derecha agrupa las variables dependientes correspondientes a los impactos evaluados.

El primer bloque está formado por diez columnas: en la primera columna se listan las combinaciones de las soluciones constructivas evaluadas; en las siguientes nueve

Capítulo 7 PROPUESTA DE UN MODELO DE EVALUACIÓN DEL IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DE LA ENVOLVENTE DEL EDIFICIO, A PARTIR DE INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD, EN LA FASE INICIAL DEL DISEÑO

columnas se codifican en binario cada una de las variables utilizadas como datos de entrada para la obtención de las fórmulas.

El primer grupo de variables lo constituyen los elementos constructivos que integrarán las combinaciones de la envolvente que se han utilizado en esta investigación; en la primera fila de cada columna se identifica mediante letras y números el tipo de variable. La designación de los elementos constructivos se ha explicado en el apartado 7.2.5.1

La orientación de la envolvente se identifica con dos letras

NE Orientación Noreste

SE Orientación Sureste (no aparece)

La zona climática se identifica con una letra y un número. La letra hace referencia a la severidad climática de invierno y el número hace referencia a la severidad climática del verano siguiendo la misma codificación establecida en el CTE para la identificación de las zonas climáticas.

B3 Zona climática B3

E1 Zona climática E1 (no aparece)

La codificación en binario permite identificar para cada combinación de la envolvente, qué tipo de elemento constructivo forma parte de ella; así por ejemplo, teniendo en cuenta que se han considerado 3 tipos de cubierta, si la cubierta plana caliente C1 forma parte de una solución constructiva en su casilla correspondiente aparece el número 1 y en la casilla C2 aparece un 0; si la cubierta plana ventilada C2 forma parte de una solución constructiva, en su casilla aparece un 1 y en la casilla de C1 aparece un 0; si la cubierta plana invertida C3 forma parte de la solución constructiva, aparece un 0 en la casilla C1 y un 0 en la casilla C2.

El resto de los elementos constructivos están codificados de la misma manera.

Capítulo 7 PROPUESTA DE UN MODELO DE EVALUACIÓN DEL IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DE LA ENVOLVENTE DEL EDIFICIO, A PARTIR DE INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD, EN LA FASE INICIAL DEL DISEÑO

SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS	VARIABLES										FASE USO			
	C1	C2	F1	F2	F3	F4	H1	H2	NE	B3	Emis calefac	Emis refrig	Consum calef	consum refrig
											(kg CO ₂ /m ²)	(kg CO ₂ /m ²)	(kWh/m ²)	(kWh/m ²)
C1 F1sub5 H1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	1	8,70	4,80	42,90	19,20
C1 F2sub5 H1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1	8,50	4,80	42,20	19,20
C1 F3sub10 H1	1	0	0	0	1	0	1	0	1	1	7,70	4,60	38,10	18,60
C1 F4sub5 H1	1	0	0	0	0	1	1	0	1	1	8,50	5,00	42,10	19,90
C1 F5sub0 H1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	5,90	6,80	27,70	27,30
C2 F1sub5 H1	0	1	1	0	0	0	1	0	1	1	8,90	4,80	44,20	19,30
C2 F2sub5 H1	0	1	0	1	0	0	1	0	1	1	8,70	4,90	43,40	19,70
C2 F3sub10 H1	0	1	0	0	1	0	1	0	1	1	7,80	4,80	38,50	19,40
C2 F4sub5 H1	0	1	0	0	0	1	1	0	1	1	8,80	4,90	43,60	19,60
C2 F5sub0 H1	0	1	0	0	0	0	1	0	1	1	5,60	6,70	27,70	26,90
C3 F1sub5 H1	0	0	1	0	0	0	1	0	1	1	8,50	4,70	42,30	18,70
C3 F2sub5 H1	0	0	0	1	0	0	1	0	1	1	8,40	4,50	41,60	17,90
C3 F3sub10 H1	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1	7,60	4,30	37,60	17,30
C3 F4sub5 H1	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	8,50	4,70	41,90	19,00
C3 F5sub0 H1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	5,30	6,60	26,10	26,60
C1 F1sub5 H2	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	8,50	4,80	41,90	19,30
C1 F2sub5 H2	1	0	0	1	0	0	0	1	1	1	8,30	4,80	41,20	19,30
C1 F3sub10 H2	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	7,50	4,80	37,00	19,10
C1 F4sub5 H2	1	0	0	0	0	1	0	1	1	1	8,30	5,00	41,00	20,00
C1 F5sub0 H2	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	5,80	6,80	27,20	27,40
C2 F1sub5 H2	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	8,70	4,60	43,10	18,30
C2 F2sub5 H2	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1	8,50	4,90	42,30	19,80
C2 F3sub10 H2	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	7,60	4,90	37,50	19,50
C2 F4sub5 H2	0	1	0	0	0	1	0	1	1	1	8,60	4,90	42,50	19,70
C2 F5sub0 H2	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	5,50	6,70	27,30	27,00
C3 F1sub5 H2	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	8,30	4,80	41,20	19,20
C3 F2sub5 H2	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	8,20	4,60	40,60	18,30
C3 F3sub10 H2	0	0	0	0	1	0	0	1	1	1	7,40	4,30	36,50	17,40
C3 F4sub5 H2	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	8,10	4,90	40,40	19,50
C3 F5sub0 H2	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	5,20	6,70	25,60	26,80
C1 F1sub5 H3	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	8,50	4,80	41,90	19,30
C1 F2sub5 H3	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	8,30	4,80	41,20	19,30
C1 F3sub10 H3	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	7,50	4,80	37,00	19,10
C1 F4sub5 H3	1	0	0	0	0	1	0	0	1	1	8,30	5,00	41,00	20,00

Tabla 7.5 Matriz Excel de regresión lineal múltiple para la obtención de la fórmula de cada uno de los indicadores en la fase uso del edificio

Para la obtención de la fórmula de cada indicador se han seleccionado los datos correspondientes a la columna del indicador correspondiente (variable dependiente) que se pretende calcular y los datos correspondientes a las columnas de todas las variables explicativas; de esta manera se han obtenido cuatro ecuaciones que se identifican en el siguiente apartado.

7.2.7.3 Obtención de las ecuaciones:

Las ecuaciones de los modelos de regresión que se obtienen son:

Emisiones equivalentes de CO₂ por calefacción en un año por m² de superficie útil =

$$(23,7 - 18,06 B3 + 0,05 NE - 0,07H2 + 0,20H1 + 2,31F4 + 0,84F3 + 2,28F2 + 2,62F1 + 0,67C2 + 0,49C1) \quad [12]$$

Emisiones equivalentes de CO₂ por refrigeración en un año por m² de superficie útil =

$$(1,5787 + 4,66 B3 + 0,01 NE - 0,03H2 - 0,08H1 - 1,37F4 - 1,49F3 - 1,45F2 - 1,44F1 + 0,08C2 + 0,09C1) \quad [13]$$

Consumo eléctrico de la calefacción en un año por m² de superficie útil =

$$(116,4009 - 89,40B3 + 0,10 NE - 0,27H2 + 1,27H1 + 12,73F4 + 5,36F3 + 12,93F2 + 14,32 F1 + 3,21C2 + 1,44C1) \quad [14]$$

Consumo eléctrico de la refrigeración en un año por m² de superficie útil =

$$(6,2829 + 18,65B3 - 0,01 NE - 0,23H2 - 0,30H1 - 5,54F4 - 6,02F3 - 5,81 F2 - 5,78 F1 + 0,46C2 + 0,48C1) \quad [15]$$

Todas las fórmulas se han obtenido para un periodo de un año.

7.2.7.4 Comprobación de la validez del modelo de regresión lineal múltiple r²

Una vez realizados los modelos de regresión para predecir los impactos en la fase de uso, se procede a analizar la idoneidad de dichos modelos. Para ello, en primer lugar se analiza el coeficiente de determinación r², que mide la bondad del ajuste del modelo indicando qué porcentaje de la varianza de los impactos es explicado por el modelo de regresión. Este coeficiente tiene un valor entre 0 y 1, y cuanto más se aproxima a 1 mejor explica el modelo de regresión las variaciones en los valores de los impactos. La tabla 7.8 recoge los valores de r² de las regresiones realizadas

Impactos fase uso	Em_{eq,CO_2cal}^{uso}	Em_{eq,CO_2ref}^{uso}	$Con_{kWh cal}^{uso}$	$Con_{epkWh ref}^{uso}$
r ²	0,9963	0,9841	0,9978	0,9819

Tabla 7.6 Valores de r² en las regresiones realizadas

Como puede verse en la tabla 7.6, el menor r² es de 0,9819, por lo que todos los modelos de regresión se ajustan bastante bien a los datos reales.

También se ha comprobado el estadístico F, que permite comprobar si realmente las variables utilizadas para el modelo de regresión explican el valor de los impactos analizados. Es decir, podría darse el caso de que los valores de r² fueran buenos, pero no porque las variables independientes expliquen los impactos analizados sino porque por pura casualidad los datos se ajustaran bien. Cuando no hay relación entre las variables

Capítulo 7 PROPUESTA DE UN MODELO DE EVALUACIÓN DEL IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DE LA ENVOLVENTE DEL EDIFICIO, A PARTIR DE INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD, EN LA FASE INICIAL DEL DISEÑO

independientes x_i y la dependiente y , el valor del estadístico F debe estar por debajo del valor F crítico, obteniéndose este de tablas de distribución de la F, que depende de los grados de libertad n y N . Siendo n igual al número de grados de libertad y N al tamaño de la muestra menos el número de grados de libertad (df). Así, para los modelos de regresión realizados:

$$N = 180$$

$$df = 169$$

$$n = N - df = 180 - 169 = 11$$

El valor F crítico para un error $\alpha = 0,05$ es de 1,88.

La tabla 7.7 muestra el valor de la distribución de la F para cada uno de los modelos de regresión:

Impactos fase uso	$Em_{eq,CO_2}^{uso cal}$	$Em_{eq,CO_2}^{uso ref}$	$Con_{kWh}^{uso cal}$	$Con_{epkWh}^{uso ref}$
F	4551,9	1048,84	7530,38	917,003

Tabla 7.7 Valor de la distribución de la F para cada uno de los modelos de regresión

Como puede verse, todos los valores de la F son muy superiores al valor crítico, por lo que se deduce que el modelo de regresión es adecuado para explicar los valores de los impactos.

Ahora bien se ha podido comprobar en el capítulo 6; que algunos indicadores varían significativamente en la fase uso, en función del tipo de edificio por lo que se ha procedido a calcular un factor corrector del valor estimado del indicador en función del tipo de edificio.

7.2.7.5 Obtención del factor corrector en función del tipo de edificio y del tipo de impacto $F_{viv, tipo\ impacto}$

Para la obtención del factor corrector en función del tipo de, se han utilizado como referencia los valores obtenidos al calcular los impactos reales de la fase uso de la tipología utilizada como caso de estudio (vivienda adosada). Estos valores de referencia se han comparado con los obtenidos al calcular los impactos reales de las tipologías utilizadas en la comprobación de los resultados (bloque de viviendas y vivienda unifamiliar).

En la comparación de resultados, se han utilizado 2 combinaciones de la envolvente en cada caso (la combinación con peor y mejor comportamiento medioambiental); en las 2 orientaciones estudiadas (NE y SE) y en las 2 zonas climáticas descritas (B3 y E1). En total se han comparado 8 resultados de cada una de las tipologías analizadas. La comparación se ha realizado gráficamente y numéricamente.

Las diferencias entre los impactos se presentan en la figura 7.1. Como puede verse la distancia entre los valores de un tipo de vivienda y otro se va manteniendo más o menos

Capítulo 7 PROPUESTA DE UN MODELO DE EVALUACIÓN DEL IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DE LA ENVOLVENTE DEL EDIFICIO, A PARTIR DE INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD, EN LA FASE INICIAL DEL DISEÑO

constante, para una misma zona climática, a excepción de algún punto en el que se modifica esta tendencia.

Se observa que hay una modificación brusca en cada gráfico cuando variamos de zona climática, pero no hay un cambio significativo a causa de la orientación; por lo que se deduce que el factor corrector deberá calcularse en función del impacto, en función de la tipología y en función de la zona climática.

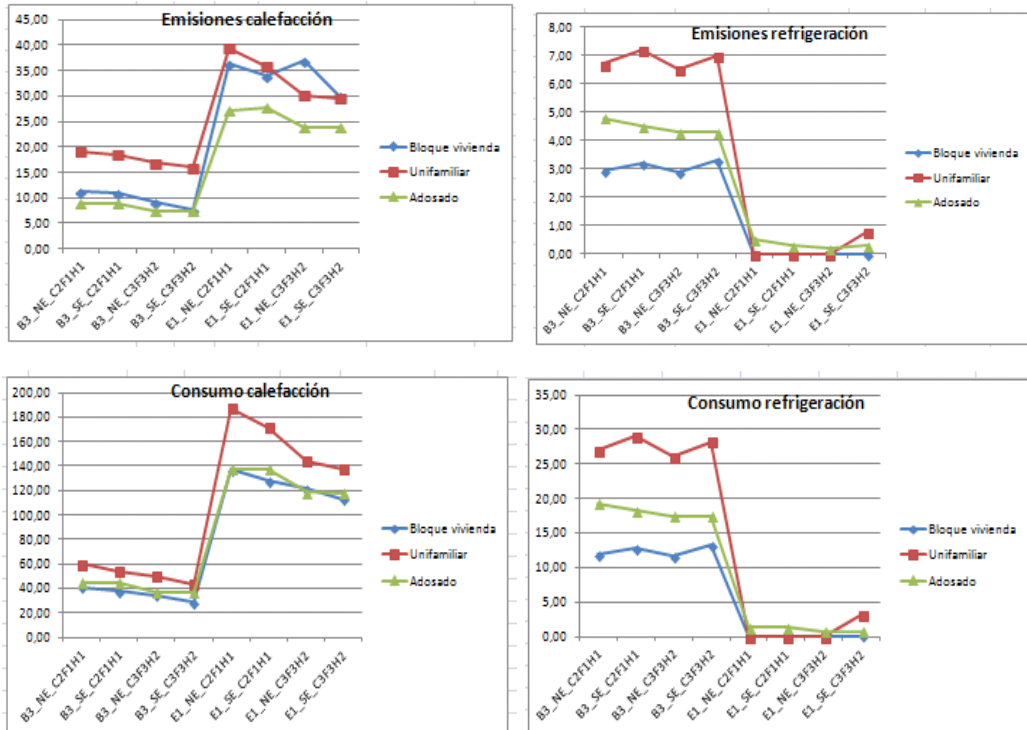


Figura 7.1 Comparación de los impactos reales respecto de los valores de referencia.

Para que los indicadores obtenidos para viviendas adosadas se apliquen a otros tipos de vivienda, se calcula la diferencia entre el promedio de valores de los impactos en las tipologías de bloque y unifamiliar y los impactos de la vivienda adosada, para cada uno de los impactos y cada zona climática (tabla 7.8)

El valor numérico de estas diferencias constituye el factor tipo de vivienda F_{tviv} , y se añadirá a las ecuaciones nº 12, 13, 14 y 15.

Capítulo 7 PROPUESTA DE UN MODELO DE EVALUACIÓN DEL IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DE LA ENVOLVENTE DEL EDIFICIO, A PARTIR DE INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD, EN LA FASE INICIAL DEL DISEÑO

COMBINACIÓN CONSTRUCTIVA	Emis calefac	Emis refriger	Consum calef	Consum refriger	FACTOR SEGÚN EL TIPO DE VIVIENDA: ADOSADO							
	(kg CO ₂ /m ²)	(g CO ₂ /m ³)	(kWh/m ²)	(kWh/m ³)	Emis cal	F(tviv,CO ₂ cal,B3)	Emis ref	F(tviv,CO ₂ ref,B3)	Cons cal	F(tviv,kWhcal,B3)	Cons ref	F(tviv,kWhref,B3)
B3_NE_C2F1H1	8,90	4,80	44,20	19,30	1	1	1	1	1	1	1	1
B3_SE_C2F1H1	8,90	4,50	44,20	18,20	1		1		1		1	
B3_NE_C3F3H2	7,40	4,30	36,50	17,40	1		1		1		1	
B3_SE_C3F3H2	7,40	4,30	36,50	17,40	1		1		1		1	
						F(tviv,CO ₂ cal,E1)	Emis ref	F(tviv,CO ₂ ref,E1)	Cons cal	F(tviv,kWhcal,E1)	Cons ref	F(tviv,kWhref,E1)
E1_NE_C2F1H1	27,20	0,50	137,50	1,30	1	1	1	1	1	1	1	1
E1_SE_C2F1H1	27,70	0,30	137,50	1,30	1		1		1		1	
E1_NE_C3F3H2	23,90	0,20	118,40	0,70	1		1		1		1	
E1_SE_C3F3H2	23,90	0,30	118,30	0,70	1		1		1		1	
SOLUCION CONSTRUCTIVA	Emis calefac	Emis refriger	Consum calef	Consum refriger	FACTOR SEGÚN EL TIPO DE VIVIENDA: BLOQUE							
	(kg CO ₂ /m ²)	(g CO ₂ /m ³)	(kWh/m ²)	(kWh/m ³)	Emis cal	F(tviv,CO ₂ cal,B3)	Emis ref	F(tviv,CO ₂ ref,B3)	Cons cal	F(tviv,kWhcal,B3)	Cons ref	F(tviv,kWhref,B3)
B3_NE_C2F1H1	11,20	2,94	41,00	11,80	1,26	1,18	0,61	0,69	0,93	0,88	0,61	0,69
B3_SE_C2F1H1	10,90	3,20	37,90	12,80	1,22		0,71		0,86		0,70	
B3_NE_C3F3H2	9,10	2,90	34,40	11,70	1,23		0,67		0,94		0,67	
B3_SE_C3F3H2	7,60	3,30	28,80	13,20	1,03		0,77		0,79		0,76	
						F(tviv,CO ₂ cal,E1)	Emis ref	F(tviv,CO ₂ ref,E1)	Cons cal	F(tviv,kWhcal,E1)	Cons ref	F(tviv,kWhref,E1)
E1_NE_C2F1H1	36,30	0,00	136,70	0,10	1,33	1,34	0,00	0,00	0,99	0,98	0,08	0,11
E1_SE_C2F1H1	34,00	0,00	128,00	0,10	1,23		0,00		0,93		0,08	
E1_NE_C3F3H2	36,90	0,00	121,50	0,10	1,54		0,00		1,03		0,14	
E1_SE_C3F3H2	29,90	0,00	112,60	0,10	1,25		0,00		0,95		0,14	
SOLUCION CONSTRUCTIVA	Emis calefac	Emis refriger	Consum calef	Consum refriger	FACTOR SEGÚN EL TIPO DE VIVIENDA: UNIFAMILIAR							
	(kg CO ₂ /m ²)	(g CO ₂ /m ³)	(kWh/m ²)	(kWh/m ³)	Emis cal	F(tviv,CO ₂ cal,B3)	Emis ref	F(tviv,CO ₂ ref,B3)	Cons cal	F(tviv,kWhcal,B3)	Cons ref	F(tviv,kWhref,B3)
B3_NE_C2F1H1	12,40	6,70	59,60	27,03	1,39	1,31	1,40	1,53	1,35	1,27	1,40	1,53
B3_SE_C2F1H1	11,20	7,20	53,60	29,00	1,26		1,60		1,21		1,59	
B3_NE_C3F3H2	10,30	6,50	49,30	26,00	1,39		1,51		1,35		1,49	
B3_SE_C3F3H2	8,90	7,00	42,80	28,20	1,20		1,63		1,17		1,62	
						F(tviv,CO ₂ cal,E1)	Emis ref	F(tviv,CO ₂ ref,E1)	Cons cal	F(tviv,kWhcal,E1)	Cons ref	F(tviv,kWhref,E1)
E1_NE_C2F1H1	39,40	0,00	187,10	0,00	1,45	1,30	0,00	0,67	1,36	1,24	0,00	0,29
E1_SE_C2F1H1	35,90	0,00	171,30	0,00	1,30		0,00		1,25		0,00	
E1_NE_C3F3H2	30,20	0,00	144,10	0,00	1,26		0,00		1,22		0,00	
E1_SE_C3F3H2	28,70	0,80	136,80	3,20	1,20		2,67		1,16		1,18	

Tabla 7.8 Obtención del factor corrector según el tipo de vivienda y según el tipo de impacto

$F_{tviv,CO_2,ref,B3}$ = Factor corrector de las emisiones equivalentes de CO₂ de las instalaciones de refrigeración según la tipología de edificio en la zona B3

$F_{tviv,CO_2,ref,E1}$ = Factor corrector de las emisiones equivalentes de CO₂ de las instalaciones de refrigeración según la tipología de edificio en la zona E1

$F_{tviv,kwhref,B3}$ = Factor corrector de los consumos de energía primaria de las instalaciones de refrigeración según la tipología de edificio en la zona B3

$F_{tviv,kwhref,E1}$ = Factor corrector de los consumos de energía primaria de las instalaciones de refrigeración según la tipología de edificio en la zona E1

7.3 Comprobación de la validez del modelo

Para comprobar la validez del modelo se han seleccionado las combinaciones que habían resultado tener de forma global, el peor y el mejor comportamiento medioambiental en la vivienda adosada, que son las siguientes:

- La peor C2F1H1 (Cubierta plana ventilada, Fachada de fábrica, hoja exterior de ladrillo caravista, aislamiento 5cm y carpintería de aluminio).
- La mejor C3F3H2 (C3 Cubierta plana invertida, Fachada de fábrica, hoja exterior enfoscada, aislamiento 10cm).

Para la comprobación de los resultados se han seguido los siguientes pasos:

- En primer lugar, se han utilizado los valores correspondientes a los impactos reales considerados, en las diferentes fases del ciclo de vida de las dos combinaciones descritas, calculados en el capítulo 5.8, para cada una de las tipologías (vivienda adosada, bloque de viviendas y vivienda unifamiliar aislada), en las dos orientaciones estudiadas (Noreste y Sureste) y en las dos zonas climáticas analizadas (B3 y E1). En total se han comprobado 2 combinaciones en 3 tipologías, en 2 orientaciones y 2 zonas climáticas respectivamente, es decir 24 opciones.
- En segundo lugar, se han calculado los valores estimados de los indicadores desarrollados en esta tesis, para estas mismas combinaciones.
- En tercer lugar, se han comparado los resultados obtenidos en cada caso, es decir, se ha comparado el resultado real de cada impacto con el valor estimado del indicador correspondiente. Los resultados obtenidos muestran en el ANEXO 2, en las tablas A.2.1, A.2.2, A.2.3, A.2.4, A.2.5, A.2.6, A.2.7, A.2.8, A.2.9, A.2.10, A.2.11, A.2.12, A.2.13, A.2.14, A.2.15, A.2.16 y A.2.17. En estas tablas se pueden observar los errores relativos y los errores absolutos obtenidos en la comparación de los valores reales y los valores estimados cada uno de los indicadores calculados en cada una de las fases del ciclo de vida; así mismo, se muestra el promedio del error cometido en cada fase.

Se puede observar que los errores cometidos en los indicadores durante la fase de fabricación y puesta en obra y durante la fase de mantenimiento, apenas son significativos. A continuación se comentan los resultados de la comprobación del nivel de error del modelo:

- En cuanto a la fase de fabricación y puesta en obra, el error relativo cometido, en términos porcentuales, no supera el 0,46% siendo el promedio del error relativo de un 0,31%; el signo negativo de todos los valores confirma que el error se produce siempre en el mismo sentido. En esta misma fase el máximo error absoluto es de 1,32 y el promedio del error absoluto es de 0,77.
- En cuanto a la fase de mantenimiento, el error relativo cometido, en términos porcentuales, para algunos valores llega a ser del 11,20%, sin embargo, se observa que el promedio es del 7,15%; el signo negativo de todos los valores

- confirma que el error se produce siempre en el mismo sentido. En esta misma fase el máximo error absoluto es de 7,91 y el promedio del error absoluto es de 4,59. Por lo que el error se encuentra dentro de valores admisibles.
- En cuanto a la fase uso, el error relativo cometido en el indicador Emisiones Equivalentes de CO₂ debidos a las emisiones de la calefacción, en términos porcentuales, se mueve en la mayoría de los casos entre valores aceptables del 0,15 al 10,5%; sin embargo se puede ver que en dos de los valores llega a ser del 16,88% y del 18,47% respectivamente; lo que podría hacer dudar de la validez del indicador. Sin embargo se puede observar que el promedio de los errores relativos es del -1,96% y que el error relativo de una determinada solución constructiva mantiene el mismo signo y es semejante en todas las tipologías, por lo que se considera que los valores estimados aportados por el indicador pueden ser aceptables.
 - En esta misma de fase uso, el error relativo cometido en el indicador Emisiones Equivalentes de CO₂ debidos a las emisiones de la refrigeración, no puede ser comprobado en varios de los resultados puesto que se trata de valores reales insignificantes y esto dispara el valor relativo del indicador en términos porcentuales. Precisamente, se puede ver que para los valores reales del impacto que se aproximan a 0, el valor absoluto del error también es muy pequeño. Sin embargo, se podría dudar de la validez del indicador. Una posible alternativa sería considerar el valor de las emisiones en la fase uso de forma global, es decir, considerar las emisiones de calefacción y de refrigeración como un solo indicador; de manera que se compensen los resultados. No obstante, se ha considerado de interés obtener el valor del impacto estimado en la fase uso por separado para calefacción y refrigeración, y unificar los valores del indicador, tras la ponderación.
 - El indicador Consumo de energía primaria muestra errores de las mismas características que el indicador Emisiones equivalentes de CO₂ en todas las fases del ciclo de vida. Al igual que el indicador Costes energéticos, ya que en este caso, se valora el coste de los consumos estimados en el indicador anterior.
 - Los indicadores consumo de agua, residuos generados y costes de amortización muestran errores insignificantes.

7.4 Construcción de los indicadores seleccionados

A continuación se presenta la ficha modelo que se ha utilizado para incorporar la información necesaria de cada indicador, siguiendo el esquema desarrollado por (Quiroga, 2009). Al esquema original se le ha incorporado en el primer apartado la información (d) correspondiente a fases del ciclo de vida.

INDICADOR
(a) Nombre:
(b) Breve definición:
(c) Unidad de medida:
(d) Fases del ciclo de vida:
RELEVANCIA POLÍTICA
(a) Propósito:
(b) Relevancia hacia el desarrollo sostenible o insostenible:
(c) Convenciones y acuerdos internacionales:
(d) Objetivos internacionales o estándares recomendados:
(e) Enlaces a otros indicadores:
DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA
(a) Definiciones y conceptos básicos:
(b) Métodos de medida:
(c) Limitaciones del indicador:
(d) Estado de la metodología:
(e) Indicadores o definiciones alternativos:
ANÁLISIS DE DATOS
(a) Datos necesarios para recopilar el indicador:
(b) Fuentes y disponibilidad de la base de datos a nivel nacional e internacional:
(c) Referencias de la base de datos:
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS
(a) Lecturas:
(b) Páginas en Internet:

A continuación se describen los indicadores desarrollados

7.4.1 Emisiones de CO₂ vinculadas a las soluciones constructivas de la envolvente de los edificios

1.INDICADOR, Emisiones de CO ₂ vinculadas a las soluciones constructivas de la envolvente de los edificios	
Nombre	Emisiones de CO ₂ vinculadas a las soluciones constructivas de la envolvente de los edificios
Breve definición	<p>Este indicador muestra la relación entre las emisiones totales de CO₂ equivalente, resultante de la suma de los gases causantes del Potencial de Calentamiento Global (GWP) con origen en la producción y transformación de los materiales de construcción y la puesta en obra de los edificios.</p> <p>Los principales gases causantes del efecto invernadero son:</p> <p>El metano, CH₄.</p> <p>El óxido nitroso, N₂O.</p> <p>Los clorofluorocarbonados (CFCs).</p> <p>El vapor de agua H₂O</p>
Unidad de medida	(kg eq CO ₂ /m ²) Kilogramos equivalentes de emisiones de CO ₂ por metro cuadrado de superficie útil del edificio en un año/ y en un periodo de 50 años.

Fases del ciclo de vida	Fase de fabricación	Fase de mantenimiento	Fase uso
	x	x	x

2. RELEVANCIA POLÍTICA	
Propósito	Este indicador mide las emisiones directas en kilogramos equivalentes de dióxido de carbono durante: la fase de fabricación de los materiales y puesta en obra, la fase uso y mantenimiento por la sustitución de determinados materiales y la fase uso del edificio por las emisiones equivalentes de CO ₂ debidas a las instalaciones de calefacción y de refrigeración.

Capítulo 7 PROPUESTA DE UN MODELO DE EVALUACIÓN DEL IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DE LA ENVOLVENTE DEL EDIFICIO, A PARTIR DE INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD, EN LA FASE INICIAL DEL DISEÑO

<p>Relevancia hacia el desarrollo sostenible o insostenible</p>	<p>En España, según la nomenclatura IPCC (siglas en inglés del Panel Intergubernamental de Cambio Climático) más de las tres cuartas partes de las emisiones totales de los seis gases contemplados en el Protocolo de Kioto proceden del “Procesado de la energía” (categoría 1 de la IPCC en la que se incluye, entre otras, las industrias energéticas y las actividades de transporte). El aumento de CO₂ y otros gases, resultantes de las actividades del hombre como CH₄, N₂O, CHC-11 y CF₄, en la atmósfera es el principal causante del efecto invernadero</p> <p>El efecto invernadero constituye uno de los principales motivos del calentamiento global (cambio climático) y puede tener un elevado impacto económico, ya que según el panel intergubernamental de las Naciones Unidas contra el cambio climático podría tener un impacto estimado del 20% sobre el PIB de la economía mundial. La concentración actual de CO₂ en la atmósfera se encuentra sobre las 380 partículas por millón (ppm). Según los estudios de la Agencia Internacional de la Energía el nivel de partículas podría superar las 450-550 ppm, sino se adoptan políticas de control de las emisiones y se mantiene la tendencia actual. La concentración de CO₂ en la atmósfera podría aumentar hasta los 1260 ppm en el año 2100. La estabilización de las concentraciones de los gases efecto invernadero a niveles admisibles exigirá no solo la estabilización de las emisiones anuales, sino una importante reducción en términos absolutos de las mismas.</p>
<p>Convenciones y acuerdos internacionales</p>	<p>A nivel internacional los compromisos más importantes están ligados al Protocolo de Kioto. Este Protocolo fue aprobado por la Unión Europea en Febrero de 2002, tras su ratificación por parte de Rusia.</p> <p>El Protocolo de Kioto es un instrumento internacional destinado a luchar contra el cambio climático y representa el compromiso de la mayoría de Estados desarrollados de reducir las emisiones de los gases que producen el efecto invernadero.</p> <p>La Directiva 2001/77/CE de 27 de septiembre de 2001 relativa a la promoción de la electricidad generada a partir de fuentes de energías renovables en el mercado interior de la electricidad, fijó la cuota del 22,1 % de electricidad generada a partir de energía renovable sobre el consumo de electricidad de la Unión Europea en el año 2010. A más largo plazo, el Consejo europeo insiste en la necesidad de incrementar la eficiencia energética en la UE para lograr el objetivo de ahorrar un 20% del consumo de energía en la UE en comparación con los valores proyectados para 2020. Establece también los objetivos vinculantes de alcanzar un porcentaje del 20% de energías renovables y la necesidad de reducir las</p>

Capítulo 7 PROPUESTA DE UN MODELO DE EVALUACIÓN DEL IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DE LA ENVOLVENTE DEL EDIFICIO, A PARTIR DE INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD, EN LA FASE INICIAL DEL DISEÑO

	emisiones de gases efecto invernadero en un 20%.
Objetivos internacionales estándares recomendados	o La Directiva de 2009/28/CE relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables, fija como objetivo el conseguir una cuota del 20% de energía procedente de fuentes renovables. Para ello establece objetivos para cada uno de los Estados miembros en el año 2020. Por último existe un consenso en la comunidad internacional sobre la necesidad de adoptar medidas para impedir un incremento de la temperatura del planeta superior a 2° centígrado. A partir de 2020 se espera que las medidas de eficiencia energética puestas en marcha, mantengan los ritmos de crecimiento de la demanda en porcentajes cercanos al 0,6% anual, por lo que la demanda de energía primaria superaría los 1900 TWh en el 2030.

3.DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA	
Definiciones conceptos	y <p>Fase de fabricación y puesta en obra: $Em_{eqCO_2}^{fab}$ = Emisiones de CO₂ por metro cuadrado de superficie útil de la vivienda, en la fase de fabricación, de cada uno de los materiales que integran cada elemento constructivo de la envolvente</p> <p>Fase de mantenimiento: $Em_{eqCO_2}^{man}$ = Emisiones de CO₂ por metro cuadrado de superficie útil de la vivienda, en la fase de mantenimiento, de cada uno de los materiales que integran cada elemento constructivo de la envolvente que vaya a ser sustituido a lo largo de la vida útil.</p> <p>Se obtendrán por separado para cada material de cada elemento constructivo las emisiones de CO₂ de fabricación y puesta en obra y se le asignará un factor de reacondicionamiento Fr equivalente a tantas veces como tenga que ser sustituido este elemento durante la vida útil considerada para todo el edificio.</p> <p>Fase de uso: $Em_{eqCO_2}^{uso}$ = Emisiones de CO₂ por metro cuadrado de superficie útil de la vivienda, en la fase de uso, vinculadas a cada una de las soluciones constructivas analizadas.</p> <p>Los impactos considerados serán los relacionados con las emisiones de CO₂ de las instalaciones cuyo funcionamiento se pueda vincular a la envolvente del edificio (considerando por separado las instalaciones de calefacción y de refrigeración).</p> <p>Definición de las variables correspondientes a los elementos constructivos.</p>

Capítulo 7 PROPUESTA DE UN MODELO DE EVALUACIÓN DEL IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DE LA ENVOLVENTE DEL EDIFICIO, A PARTIR DE INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD, EN LA FASE INICIAL DEL DISEÑO

	<p>C1 Cubierta plana caliente continua. C2 Cubierta plana ventilada. C3 Cubierta plana invertida.</p> <p>F1 Fachada de fábrica, hoja exterior de ladrillo caravista, aislamiento 5cm. F2 Fachada de fábrica, hoja exterior enfoscada, aislamiento 5cm. F3 Fachada de fábrica, hoja exterior enfoscada, aislamiento 10cm. F4 Fachada ventilada, aislamiento por el exterior, espesor 5 cm. F5 Fachada ligera tipo muro cortina.</p> <p>H1 Carpintería de aluminio H2 Carpintería de PVC. H3 Carpintería d madera</p> <p>Definición de los factores utilizados para el cálculo del indicador Factores de superficie (Fs) $F_{S,cub}$ = parte proporcional de cubierta por metro cuadrado de superficie útil de vivienda. $F_{S,fac}$ = parte proporcional de fachada por metro cuadrado de superficie útil de vivienda. $F_{S,car}$ = parte proporcional de carpintería por metro cuadrado de superficie útil de vivienda.</p> <p>Factores para la obtención del indicador en la fase de fabricación F_{cub,CO_2}^{fab} = Factor según el tipo de cubierta para las emisiones de CO₂ en la fase de fabricación</p> <p>F_{fac,CO_2}^{fab} = Factor según el tipo de fachada para las emisiones de CO₂ en la fase de fabricación</p> <p>F_{car,CO_2}^{fab} = Factor según el tipo de carpintería para las emisiones de CO₂ en la fase de fabricación</p> <hr/> <p>Factores para la obtención del indicador en la fase de mantenimiento</p>
--	--

Capítulo 7 PROPUESTA DE UN MODELO DE EVALUACIÓN DEL IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DE LA ENVOLVENTE DEL EDIFICIO, A PARTIR DE INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD, EN LA FASE INICIAL DEL DISEÑO

	<p>F_{cub,CO_2}^{man} = Factor según el tipo de cubierta para las emisiones de CO₂ en la fase de mantenimiento</p> <p>F_{fac,CO_2}^{man} = Factor según el tipo de fachada para las emisiones de CO₂ en la fase de mantenimiento</p> <p>F_{car,CO_2}^{man} = Factor según el tipo de carpintería para las emisiones de CO₂ en la fase de mantenimiento.</p> <p>Factores para la obtención del indicador emisiones equivalentes de CO₂ debidas a las instalaciones de calefacción en la fase uso</p> <p>Dónde :</p> <p>F_{Z,CO_2cal}^{uso} = Factor según la zona climática para las emisiones de CO₂ de las instalaciones de calefacción en la fase uso ,</p> <p>F_{Or,CO_2cal}^{uso} = Factor según la orientación para las emisiones de CO₂ de las instalaciones de calefacción en la fase uso ,</p> <p>F_{cub,CO_2cal}^{uso} = Factor según el tipo de cubierta para las emisiones de CO₂ de las instalaciones de calefacción en la fase uso ,</p> <p>F_{fac,CO_2cal}^{uso} = Factor según el tipo de fachada para las emisiones de CO₂ de las instalaciones de calefacción en la fase uso ,</p> <p>F_{car,CO_2cal}^{uso} = Factor según el tipo de carpintería para las emisiones de CO₂ de las instalaciones de calefacción en la fase uso ,</p> <p>Factores correctores según el tipo de vivienda , según el tipo de indicador y según la zona climática</p> <p>$F_{tviv,CO_2cal,B3}$ = Factor corrector de las emisiones CO₂ de las instalaciones de calefacción según la tipología de edificio en la zona B3</p> <p>$F_{tviv,CO_2cal,E1}$ = Factor corrector de las emisiones CO₂ de las instalaciones de calefacción según la tipología de edificio en la zona B3</p> <p>Factores para la obtención del indicador emisiones equivalentes de CO₂ debidas a las instalaciones de refrigeración</p>
--	---

Capítulo 7 PROPUESTA DE UN MODELO DE EVALUACIÓN DEL IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DE LA ENVOLVENTE DEL EDIFICIO, A PARTIR DE INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD, EN LA FASE INICIAL DEL DISEÑO

	<p>en la fase uso</p> <p>F_{Z,CO_2ref}^{uso} = Factor según la zona climática para las emisiones de CO₂ de las instalaciones de refrigeración en la fase uso ,</p> <p>F_{Or,CO_2ref}^{uso} = Factor según la orientación para las emisiones de CO₂ de las instalaciones de refrigeración en la fase uso ,</p> <p>F_{cub,CO_2ref}^{uso} = Factor según el tipo de cubierta para las emisiones de CO₂ de las instalaciones de refrigeración en la fase uso ,</p> <p>F_{fac,CO_2ref}^{uso} = Factor según el tipo de fachada para las emisiones de CO₂ de las instalaciones de refrigeración en la fase uso ,</p> <p>F_{car,CO_2ref}^{uso} = Factor según el tipo de carpintería para las emisiones de CO₂ de las instalaciones de refrigeración en la fase uso ,</p> <p>Factores correctores según el tipo de vivienda , según el tipo de indicador y según la zona climática</p> <p>$F_{tviv,CO_2ref,B3}$ = Factor corrector de las emisiones CO₂ de las instalaciones de refrigeración según la tipología de edificio en la zona B3</p> <p>$F_{tviv,CO_2ref,E1}$ = Factor corrector de las emisiones CO₂ de las instalaciones de refrigeración según la tipología de edificio en la zona B3</p>
Métodos de medida	<p>Para obtener el indicador $Em_{eqCO_2}^{fab}$ durante la fase de fabricación y puesta en obra se utilizan los valores obtenidos a partir de la herramienta TCQGMA.</p> $Em_{eqCO_2}^{fab} = \left\{ 177,62 \times F_{S,cub} \times F_{cub,CO_2}^{fab} + 42,28 \times F_{S,fac} \times F_{fac,CO_2}^{fab} + 37,46 \times F_{S,car} \times F_{car,CO_2}^{fab} \right\}$ <p>Para obtener el indicador $Em_{eqCO_2}^{man}$ durante la fase de mantenimiento se utilizan los resultados obtenidos por la herramienta TCQGMA multiplicados por el factor de</p>

	<p>reacondicionamiento en base al número de veces que cada material deberá ser sustituido a lo largo de la vida útil del edificio.</p> $Em_{eqCO_2}^{man} = \{ (66.08 \times F_{S,cub} \times F_{cub,CO_2}^{man}) + (7.39 \times F_{S,fac} \times F_{fac,CO_2}^{man}) + (63.84 \times F_{S,car} \times F_{car,CO_2}^{fab}) \}$ <hr/> <p>Para obtener el indicador $Em_{eqCO_2}^{uso}$ durante la fase uso del edificio vinculado a las soluciones constructivas de la envolvente, se han utilizado las herramientas de simulación energética LIDER y CALENER VYP, para el tipo de edificio según el uso considerado, sustituyendo las soluciones constructivas de la envolvente (cubiertas, fachadas y carpinterías), y/o las zonas climáticas (B3, E1), y/o la orientación (NE, SE), manteniendo fijas las demás variables. Se han obtenido, por separado, los siguientes indicadores:</p> <p>Em_{eq,CO_2cal}^{uso} = (Emisiones durante las fase uso producidas por las instalaciones de calefacción), calculado las emisiones de CO₂ de las instalaciones de calefacción.</p> <p>$Em_{eqCO_2ref}^{uso}$ = (Emisiones durante las fase uso producidas por las instalaciones de refrigeración), calculado las emisiones de CO₂ de las instalaciones de refrigeración.</p> $Em_{eq,CO_2cal}^{uso} = [23,7 + F_{Z,CO_2cal}^{uso} + F_{Or,CO_2cal}^{uso} + F_{cub,CO_2cal}^{uso} + F_{fac,CO_2cal}^{uso} + F_{car,CO_2cal}^{uso}] \times N^{50años} \times F_{tviv,CO_2calef}$ $Em_{eq,CO_2ref}^{uso} = [1,58 + F_{Z,CO_2ref}^{uso} + F_{Or,CO_2ref}^{uso} + F_{cub,CO_2ref}^{uso} + F_{fac,CO_2ref}^{uso} + F_{car,CO_2ref}^{uso}] \times N^{50años} \times F_{tviv,CO_2ref}$
--	---

Capítulo 7 PROPUESTA DE UN MODELO DE EVALUACIÓN DEL IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DE LA ENVOLVENTE DEL EDIFICIO, A PARTIR DE INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD, EN LA FASE INICIAL DEL DISEÑO

Limitaciones del indicador	Se tendrá en cuenta que: Para la obtención de este indicador, se han considerado por el momento dos orientaciones (Noreste y Sureste) y dos zonas climáticas con severidades climáticas opuestas (B3 y E1), combinando únicamente tres tipos de cubierta y cinco tipos de fachada con tres clases de carpintería. Las soluciones constructivas de la envolvente consideradas en cada zona climática se ajustan a los requerimientos del CTE.
Estado de la metodología	La metodología está en proceso de mejora debido a las limitaciones de las herramientas seleccionadas en cuanto a los impactos evaluados y a la intención de incorporar nuevas variables para la obtención de un mayor número de datos.
Indicadores definiciones alternativos	Existen otros indicadores producidos por las envolventes durante la fase de fabricación y por las instalaciones de calefacción y de refrigeración durante la fase uso que están también denominados por categorías de impacto

4. ANÁLISIS DE DATOS																																	
Datos necesarios para recopilar el indicador	<p>Para obtener el indicador $Em_{eqCO_2}^{fab}$ durante la fase de fabricación y puesta en obra se utilizan los siguientes datos:</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th colspan="4">Valores de referencia en viviendas adosadas*</th> </tr> <tr> <th></th> <th>$F_{S,cub}$</th> <th>$F_{S,fac}$</th> <th>$F_{S,car}$</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Viv. adosada</td> <td>0,72</td> <td>0,53</td> <td>0,17</td> </tr> </tbody> </table> <p>*Datos a cumplimentar por el proyectista calculando la parte proporcional de superficie de envolvente por metro cuadrado de superficie útil de la vivienda.</p> <p>F_{cub,CO_2}^{fab} = Factor según el tipo de cubierta para las emisiones de CO₂ en la fase de fabricación</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th></th> <th>C1</th> <th>C2</th> <th>C3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>F_{cub,CO_2}^{fab}</td> <td>1,37</td> <td>1,00</td> <td>1,06</td> </tr> </tbody> </table> <p>F_{fac,CO_2}^{fab} = Factor según el tipo de fachada para las emisiones de CO₂ en la fase de fabricación</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th></th> <th>F1</th> <th>F2</th> <th>F3</th> <th>F4</th> <th>F5</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>F_{fac,CO_2}^{fab}</td> <td>1,57</td> <td>1,00</td> <td>1,43</td> <td>1,22</td> <td>2,05</td> </tr> </tbody> </table>	Valores de referencia en viviendas adosadas*					$F_{S,cub}$	$F_{S,fac}$	$F_{S,car}$	Viv. adosada	0,72	0,53	0,17		C1	C2	C3	F_{cub,CO_2}^{fab}	1,37	1,00	1,06		F1	F2	F3	F4	F5	F_{fac,CO_2}^{fab}	1,57	1,00	1,43	1,22	2,05
Valores de referencia en viviendas adosadas*																																	
	$F_{S,cub}$	$F_{S,fac}$	$F_{S,car}$																														
Viv. adosada	0,72	0,53	0,17																														
	C1	C2	C3																														
F_{cub,CO_2}^{fab}	1,37	1,00	1,06																														
	F1	F2	F3	F4	F5																												
F_{fac,CO_2}^{fab}	1,57	1,00	1,43	1,22	2,05																												

F_{car,CO_2}^{fab} = Factor según el tipo de carpintería para las emisiones de CO₂ en la fase de fabricación

	H1	H2	H3
F_{car,CO_2}^{fab}	15,80	8,66	1,00

Para obtener el indicador $Em_{eqCO_2}^{man}$ durante la fase de mantenimiento se utilizan los siguientes datos:

Valores de referencia en distintas tipologías de edificio*			
	$F_{S,cub}$	$F_{S,fac}$	$F_{S,car}$
Viv. adosada	0,72	0,53	0,17

*Datos a implementar por el proyectista calculando la parte proporcional de superficie de envolvente por metro cuadrado de superficie útil de la vivienda.

F_{cub,CO_2}^{man} = Factor según el tipo de cubierta para las emisiones de CO₂ en la fase de mantenimiento

	C1	C2	C3
F_{cub,CO_2}^{man}	1,4	1,4	1,00

F_{fac,CO_2}^{man} = Factor según el tipo de fachada para las emisiones de CO₂ en la fase de mantenimiento

	F1	F2	F3	F4	F5
F_{fac,CO_2}^{man}	1,8	1,8	1,8	1,0	15,4

F_{car,CO_2}^{man} = Factor según el tipo de carpintería para las emisiones de CO₂ en la fase de mantenimiento

	H1	H2	H3
F_{car,CO_2}^{man}	1,0	1,0	1,1

Para obtener el indicador $Em_{eqCO_2}^{uso}$ durante la fase uso del edificio vinculado a las soluciones constructivas de la envolvente, se utilizan los siguientes datos:

F_{Z,CO_2cal}^{uso} = Factor según la zona climática para las emisiones de CO₂ de las instalaciones de calefacción en la fase uso ,

	B3	E1
F_{Z,CO_2cal}^{uso}	-18,06	0

F_{Or,CO_2cal}^{uso} = Factor según la orientación para las emisiones de CO₂ de las instalaciones de calefacción en la fase uso ,

	NE	SE
F_{Or,CO_2cal}^{uso}	0,05	0

F_{cub,CO_2cal}^{uso} = Factor según el tipo de cubierta para las emisiones de CO₂ de las instalaciones de calefacción en la fase uso ,

	C1	C2	C3
F_{cub,CO_2cal}^{uso}	0,49	0,67	0

F_{fac,CO_2cal}^{uso} = Factor según el tipo de fachada para las emisiones de CO₂ de las instalaciones de calefacción en la fase uso ,

	F1	F2	F3	F4	F5
F_{fac,CO_2cal}^{uso}	2,62	2,28	0,84	2,31	0

F_{car,CO_2cal}^{uso} = Factor según el tipo de carpintería para las emisiones de CO₂ de las instalaciones de calefacción en la fase uso ,

	H1	H2	H3
F_{car,CO_2cal}^{uso}	0,20	-0,07	0

F_{tviv,CO_2cal} = Factor corrector de las emisiones CO₂ de las instalaciones de calefacción según la tipología de edificio y la zona climática

	Adosado	Bloque	Unifamiliar
$F_{tviv,CO_2cal,B3}$	1	1,18	1,31
$F_{tviv,CO_2cal,E1}$	1	1,34	1,30

$F_{tviv,CO_2cal,B3}$ = Factor corrector de las emisiones CO₂ de las instalaciones de calefacción según la tipología de edificio en la zona B3

$F_{tviv,CO_2cal,E1}$ = Factor corrector de las emisiones CO₂ de las instalaciones de calefacción según la tipología de edificio en la zona E1

F_{Z,CO_2ref}^{uso} = Factor según la zona climática para las emisiones de CO₂ de las instalaciones de refrigeración en la fase uso ,

	B3	E1
F_{Z,CO_2ref}^{uso}	4,66	0

F_{Or,CO_2ref}^{uso} = Factor según la orientación para las emisiones de CO₂ de las instalaciones de refrigeración en la fase uso ,

	NE	SE
F_{Or,CO_2ref}^{uso}	0,01	0

F_{cub,CO_2ref}^{uso} = Factor según el tipo de cubierta para las emisiones de CO₂ de las instalaciones de refrigeración en la fase uso ,

	C1	C2	C3
F_{cub,CO_2ref}^{uso}	0,09	0,08	0

F_{fac,CO_2ref}^{uso} = Factor según el tipo de fachada para las emisiones de CO₂ de las instalaciones de refrigeración en la fase uso ,

	F1	F2	F3	F4	F5
F_{fac,CO_2ref}^{uso}	-1,44	-1,45	-1,49	-1,37	0

F_{car,CO_2ref}^{uso} = Factor según el tipo de carpintería para las emisiones de CO₂ de las instalaciones de refrigeración en la fase uso ,

	H1	H2	H3
F_{fac,CO_2ref}^{uso}	-0,08	-0,03	0

F_{tviv,CO_2ref} = Factor corrector de las emisiones CO₂ de las instalaciones de refrigeración según la tipología de edificio y la zona climática

	Adosado	Bloque	Unifamiliar
$F_{tviv,CO_2ref,B3}$	1	0,69	1,53
$F_{tviv,CO_2ref,E1}$	1	0,1	0,67

$F_{tviv,CO_2ref,B3}$ = Factor corrector de las emisiones CO₂ de las

Capítulo 7 PROPUESTA DE UN MODELO DE EVALUACIÓN DEL IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DE LA ENVOLVENTE DEL EDIFICIO, A PARTIR DE INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD, EN LA FASE INICIAL DEL DISEÑO

	<p>instalaciones de refrigeración según la tipología de edificio en la zona B3</p> <p>$F_{tviv,CO_2ref,E1}$ = Factor corrector de las emisiones CO₂ de las instalaciones de refrigeración según la tipología de edificio en la zona E1</p>
--	--

5.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	
Lecturas	<p>Informe de la subcomisión de análisis de la estrategia energética española para los próximos 25 años. Comisión de Industria, Turismo y Comercio de congreso de los Diputados. España 17/11/2010.</p> <p>Castro Bolaño, J.M.: (2009) “Indicadores de Desarrollo Sostenible Urbano. Una Aplicación para Andalucía”, Edición electrónica gratuita. Texto completo en www.eumed.net/tesis/jmc. ISBN-13: 978-84-692-3975-9.</p> <p>Arce Ruiz, R. M., García de Durango, J. y Palomino Monzón, C. (2006) “Propuesta de indicadores para la sostenibilidad de las infraestructuras”. Actas del III Congreso Internacional de Ingeniería Civil, Territorio y Medio Ambiente. “Agua, Biodiversidad e Ingeniería” Zaragoza, 25-27, octubre, 2006. Ed.: Colegio de Ingenieros de Caminos, C.P.</p> <p>Inventario de Emisiones a la Atmósfera de España. Edición 2009 [Serie 1990-2007]. Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino.</p> <p>UNE-ISO/TS 21929-1:2009 IN</p> <p>Sostenibilidad en construcción de edificios - Indicadores de sostenibilidad - Parte 1: Marco para el desarrollo de indicadores para edificios</p> <p>BEDEC “Base de datos para la Construcción, 2012-2013”, ItEC.</p>
Páginas de Internet	<p>http://www.esa.chalmers.se/Publications/PDF-files/Dis/kappa.pdf</p> <p>http://www.suelosolar.es</p> <p>http://www.idae.es/</p> <p>http://www.minetur.gob.es</p> <p>http://www.itec.es</p> <p>http://www.apabcn.cat</p> <p>http://www.juntadeandalucia.es</p>

Capítulo 7 PROPUESTA DE UN MODELO DE EVALUACIÓN DEL IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DE LA ENVOLVENTE DEL EDIFICIO, A PARTIR DE INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD, EN LA FASE INICIAL DEL DISEÑO

6.APLICACIÓN DEL INDICADOR		
Ámbito de aplicación	de	Emisiones de CO ₂ derivadas de las soluciones constructivas de la envolvente de los edificios de uso residencial en España

7.4.2 Consumo de energía primaria vinculado a las soluciones constructivas de la envolvente de los edificios

Metodología del indicador

1.INDICADOR	
Nombre	Consumo de energía primaria vinculado a las soluciones constructivas de la envolvente de los edificios
Breve definición	Este indicador muestra la relación entre el consumo de energía primaria equivalente con origen en la producción y transformación de los materiales de construcción y la puesta en obra de los edificios.
Unidad de medida	(kWh/m ²) kilovatios hora por metro cuadrado de superficie útil del edificio en un año y en un periodo de 50 años.

Fases del ciclo de vida	Fase de fabricación	Fase de mantenimiento	Fase uso
	x	x	x

2.RELEVANCIA POLÍTICA	
Propósito	Este indicador mide el consumo de energía primaria las emisiones indirectas en kilogramos equivalentes de dióxido de carbono derivadas de los consumos de las instalaciones durante: la fase de fabricación de los materiales y puesta en obra, la fase uso y mantenimiento por la sustitución de determinados materiales, la fase uso del edificio debido a los consumos de las instalaciones de calefacción y de refrigeración
Relevancia hacia el desarrollo sostenible o insostenible	El consumo de energía primaria procedente de los combustibles fósiles es responsable de grandes presiones ambientales (calentamiento global, acidificación, oxidación fotoquímica, daños sobre la salud, etc.), por lo que el seguimiento de este consumo y el análisis de su producción según fuentes de energía son aspectos fundamentales para la planificación de las estrategias energéticas y la gestión del medio ambiente. La demanda mundial de todas las fuentes de energía aumentará durante los años 2010-2035. En este contexto, cabe esperar las siguientes evoluciones en la disponibilidad y coste de las materias primas: <ul style="list-style-type: none"> • Aumentos moderados de la demanda de petróleo que serían cubiertos en su mayoría por la producción de petróleo de la OPEP y por la producción de otros combustibles líquidos no convencionales (biocombustibles, crudos pesados, etc.) que podrían ser competitivos en coste con el petróleo. • Aumentos progresivos de la demanda de gas natural que serán cubiertos en su mayoría por países de Oriente Medio. Sin

Capítulo 7 PROPUESTA DE UN MODELO DE EVALUACIÓN DEL IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DE LA ENVOLVENTE DEL EDIFICIO, A PARTIR DE INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD, EN LA FASE INICIAL DEL DISEÑO

		<p>embargo, los elevados precios del gas durante los años anteriores a la crisis demostraron la viabilidad de obtener reservas de gas no convencionales a un coste competitivo (mediante la aplicación de nuevas tecnologías),</p> <ul style="list-style-type: none"> • Respecto al carbón, será el combustible fósil de mayor crecimiento, debido a que países en vías de desarrollo como China e India, así como otros países industrializados cuentan con importantes reservas de carbón como EEUU y Australia lo utilicen
Convenciones y acuerdos internacionales		<p>A nivel internacional los compromisos más importantes están ligados al Protocolo de Kioto. Este Protocolo fue aprobado por la Unión Europea en Febrero de 2002, tras su ratificación por parte de Rusia.</p> <p>El Protocolo de Kioto es un instrumento internacional destinado a luchar contra el cambio climático y representa el compromiso de la mayoría de Estados desarrollados de reducir las emisiones de los gases que producen el efecto invernadero.</p> <p>La Directiva 2001/77/CE de 27 de septiembre de 2001 relativa a la promoción de la electricidad generada a partir de fuentes de energías renovables en el mercado interior de la electricidad, fijó la cuota del 22,1 % de electricidad generada a partir de energía renovable sobre el consumo de electricidad de la Unión Europea en el año 2010. A más largo plazo, el Consejo europeo insiste en la necesidad de incrementar la eficiencia energética en la UE para lograr el objetivo de ahorrar un 20% del consumo de energía en la UE en comparación con los valores proyectados para 2020. Establece también los objetivos vinculantes de alcanzar un porcentaje del 20% de energías renovables y la necesidad de reducir las emisiones de gases efecto invernadero en un 20%.</p>
Objetivos internacionales estándares recomendados		<p>La Directiva de 2009/28/CE relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables, fija como objetivo el conseguir una cuota del 20% de energía procedente de fuentes renovables. Para ello establece objetivos para cada uno de los Estado miembros en el año 2020. Por último existe un consenso en la comunidad internacional sobre la necesidad de adoptar medidas para impedir un incremento de la temperatura del planeta superior a 2º centígrado. A partir de 2020 se espera que las medidas de eficiencia energética puestas en marcha, mantengan los ritmos de crecimiento de la demanda en porcentajes cercanos al 0,6% anual, por lo que la demanda de energía primaria superaría los 1900 TWh en el 2030.</p>
Enlaces a otros indicadores		

3.DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA	
Definiciones y conceptos	<p>La energía primaria es aquella que se obtiene directamente en un yacimiento de la naturaleza. Existen dos grupos: Las energías primarias no renovables (petróleo, carbón, gas y uranio) y las energías primarias renovables (hidroeléctrica, eólica, solar y biomasa).</p> <p>El sector energético parte de las energías primarias (las que se encuentran en la naturaleza) y a través de sus tecnologías las convierte en energías finales (disponibles en el mercado en forma de combustible, calor y electricidad). La energía primaria, por tanto, es aquella que no ha sido sometida a ningún proceso de conversión. La energía suministrada al consumidor para ser convertida en energía útil, se denomina energía final.</p> <p>El consumo de energía primaria se obtiene añadiendo al consumo de energía final no eléctrico los consumos propios, los consumos en transformación (especialmente en la generación eléctrica) y las pérdidas.</p> <p>Fase de fabricación y puesta en obra:</p> <p>Con_{epkWh}^{fab} = Consumo de energía primaria en (kWh/m²) por metro cuadrado de superficie útil de la vivienda de cada uno de los materiales que integran cada elemento constructivo de la envolvente</p> <p>Fase de mantenimiento:</p> <p>Con_{epkWh}^{man} = Consumo de energía primaria en (kWh/m²) por metro cuadrado de superficie construida de la vivienda de cada uno de los materiales que integran un elemento constructivo que vayan a ser sustituidos a lo largo de la vida útil.</p> <p>Se obtendrán por separado para cada material de cada elemento constructivo el consumo de energía primaria durante la fase uso y se le asignará un factor de reacondicionamiento Fr equivalente a tantas veces como tenga que ser sustituido este elemento durante la vida útil considerada para todo el edificio</p> <p>Fase de uso:</p> <p>Con_{epkWh}^{uso} = Consumo de energía primaria en (kWh/m²) de las instalaciones de refrigeración y calefacción por metro cuadrado de superficie útil de la vivienda</p> <p>Los valores considerados serán los relacionados con el consumo de energía de las instalaciones cuyo funcionamiento se pueda vincular a la envolvente del edificio (considerando por separado las instalaciones de calefacción y de refrigeración).</p>

Capítulo 7 PROPUESTA DE UN MODELO DE EVALUACIÓN DEL IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DE LA ENVOLVENTE DEL EDIFICIO, A PARTIR DE INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD, EN LA FASE INICIAL DEL DISEÑO

	<p>Definición de las variables correspondientes a los elementos constructivos.</p> <p>C1 Cubierta plana caliente continua. C2 Cubierta plana ventilada. C3 Cubierta plana invertida.</p> <p>F1 Fachada de fábrica, hoja exterior de ladrillo caravista, aislamiento 5cm. F2 Fachada de fábrica, hoja exterior enfoscada, aislamiento 5cm. F3 Fachada de fábrica, hoja exterior enfoscada, aislamiento 10cm. F4 Fachada ventilada, aislamiento por el exterior, espesor 5 cm. F5 Fachada ligera tipo muro cortina.</p> <p>H1 Carpintería de aluminio H2 Carpintería de PVC. H3 Carpintería d madera</p> <p>Definición de los factores utilizados para el cálculo del indicador Factores de superficie (Fs)</p> <p>$F_{S,cub}$ = parte proporcional de cubierta por metro cuadrado de superficie útil de vivienda. $F_{S,fac}$ = parte proporcional de fachada por metro cuadrado de superficie útil de vivienda. $F_{S,car}$ = parte proporcional de carpintería por metro cuadrado de superficie útil de vivienda.</p> <p>Factores para la obtención del indicador en la fase de fabricación</p> <p>F_{cubKwh}^{fab} = Factor según el tipo de cubierta para los consumos de energía primaria en kWh/m² en la fase de fabricación</p> <p>F_{facKwh}^{fab} = Factor según el tipo de cubierta para los consumos de energía primaria en kWh/m² en la fase de fabricación</p> <p>$F_{car Kwh}^{fab}$ = Factor según el tipo de carpintería para los consumos de energía primaria en kWh/m² en la fase de fabricación</p> <hr/>
--	--

	<p>Factores para la obtención del indicador en la fase de mantenimiento</p> <p>$F_{cub,kWh}^{man}$ = Factor según el tipo de cubierta para los consumos de energía primaria en kWh /m² en la fase de mantenimiento.</p> <p>$F_{fac,kWh}^{man}$ = Factor según el tipo de fachada para los consumos de energía primaria en kWh /m² en la fase de mantenimiento.</p> <p>$F_{car,kWh}^{man}$ = Factor según el tipo de carpintería para los consumos de energía primaria en kWh /m² en la fase de mantenimiento.</p> <p>Factores para la obtención del indicador consumos de energía primaria debidas a las instalaciones de calefacción en la fase uso</p> <p>$F_{Z,kWhcal}^{uso}$ = Factor según la zona climática para los consumos de energía primaria en kWh de las instalaciones de calefacción en la fase uso ,</p> <p>$F_{Or,kWhcal}^{uso}$ = Factor según la orientación para los consumos de energía primaria en kWh de las instalaciones de calefacción en la fase uso ,</p> <p>$F_{cub,kWhcal}^{uso}$ = Factor según el tipo de cubierta para los consumos de energía primaria en kWh de las instalaciones de calefacción en la fase uso ,</p> <p>$F_{fac,kWhcal}^{uso}$ = Factor según el tipo de fachada para los consumos de energía primaria en kWh de las instalaciones de calefacción en la fase uso ,</p> <p>$F_{car,kWhcal}^{uso}$ = Factor según el tipo de carpintería para los consumos de energía primaria en kWh de las instalaciones de calefacción en la fase uso</p> <p>Factores correctores según el tipo de vivienda , según el tipo de indicador y según la zona climática</p> <p>$F_{tviv,kWhcal,B3}$ = Factor corrector de los consumos de energía primaria de las instalaciones de calefacción según la tipología de edificio en la zona B3</p> <p>$F_{tviv,kWhcal,E1}$ = Factor corrector de los consumos de energía primaria de las instalaciones de calefacción según la tipología de edificio en la zona E1</p>
--	---

Capítulo 7 PROPUESTA DE UN MODELO DE EVALUACIÓN DEL IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DE LA ENVOLVENTE DEL EDIFICIO, A PARTIR DE INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD, EN LA FASE INICIAL DEL DISEÑO

	<p>Factores para la obtención del indicador consumos de energía primaria debidas a las instalaciones de refrigeración en la fase uso</p> <p>$F_{Z,kWhref}^{uso}$ = Factor según la zona climática para los consumos de energía primaria en kWh de las instalaciones de refrigeración en la fase uso ,</p> <p>$F_{Or,kWhref}^{uso}$ = Factor según la orientación para los consumos de energía primaria en kWh de las instalaciones de refrigeración en la fase uso ,</p> <p>$F_{cub,kWhref}^{uso}$ = Factor según el tipo de cubierta para los consumos de energía primaria en kWh de las instalaciones de refrigeración en la fase uso ,</p> <p>$F_{fac,kWhref}^{uso}$ = Factor según el tipo de fachada para los consumos de energía primaria en kWh de las instalaciones de refrigeración en la fase uso ,</p> <p>$F_{car,kWhref}^{uso}$ = Factor según el tipo de carpintería para los consumos de energía primaria en kWh de las instalaciones de calefacción en la fase uso</p> <p>Factores correctores según el tipo de vivienda , según el tipo de indicador y según la zona climática</p> <p>$F_{tviv,kWhref,B3}$ = Factor corrector de los consumos de energía primaria de las instalaciones de refrigeración según la tipología de edificio en la zona B3</p> <p>$F_{tviv,kWhref,E1}$ = Factor corrector de los consumos de energía primaria de las instalaciones de refrigeración según la tipología de edificio en la zona E1</p>
Métodos de medida	<p>Para obtener el indicador Con_{epkWh}^{fab} durante la fase de fabricación y puesta en obra se utilizan los resultados obtenidos por la herramienta TCQGMA.</p> $Con_{epkWh}^{fab} = \left\{ \begin{aligned} &418,84 \times F_{S,cub} \times F_{cubkWh}^{fab} \\ &+ 134,44 \times F_{S,fac} \times F_{fackWh}^{fab} \\ &+ 169,85 \times F_{S,car} \times F_{car kWh}^{fab} \end{aligned} \right\}$

	<p>Para obtener el indicador Con_{epkWh}^{man} durante la fase de mantenimiento se utilizan los resultados obtenidos por la herramienta TCQGMA multiplicados por el factor de reacondicionamiento en base al número de veces que cada material deberá ser sustituido a lo largo de la vida útil del edificio.</p> $Con_{epkWh}^{man} = \{130,51 \times F_{S,cub} \times F_{cubkWh}^{man} + 13,00 \times F_{S,fac} \times F_{facWh}^{man} + 300,99 \times F_{S,car} \times F_{car kWh}^{man}\}$ <hr/> <p>Para obtener el indicador Con_{epkWh}^{uso} durante la fase uso del edificio vinculado a las soluciones constructivas de la envolvente, se han seleccionado las herramientas de simulación energética LIDER y CALENER, para el tipo de edificio según el uso considerado, sustituyendo las soluciones constructivas de la envolvente (cubiertas, fachadas y carpinterías), y/o las zonas climáticas (B3,E1), y/o la orientación (NE, SE), manteniendo fijas las demás variables. Se han obtenido, por separado, los siguientes indicadores:</p> <p>$Con_{epkWhcal}^{uso}$ (Consumos de energía primaria en kWh/m² durante la fase uso producidas por las instalaciones de calefacción), calculado los consumos de energía primaria de las instalaciones de calefacción.</p> <p>$Con_{epkWhref}^{uso}$ (Consumos de energía primaria en kWh/m² durante la fase uso producidas por las instalaciones de refrigeración), calculado los consumos de energía primaria de las instalaciones de refrigeración.</p> $Con_{kWhcal}^{uso} = [116.40 + F_{Z,kWhcal}^{uso} + F_{Or,kWhcal}^{uso} + F_{cub,kWhcal}^{uso} + F_{fac,kWhcal}^{uso} + F_{car,kWhcal}^{uso}] \times N^{50 años} \times F_{tipoviv}$ $Con_{epkWhref}^{uso} = [6,28 + F_{Z,kWhref}^{uso} + F_{Or,kWhref}^{uso} + F_{cub,kWhref}^{uso} + F_{fac,kWhref}^{uso} + F_{car,kWhref}^{uso}] \times N^{50 años} \times F_{tipoviv}$
<p>Limitaciones del indicador</p>	<p>Se tendrá en cuenta que: Para la obtención de este indicador, se han considerado por el momento dos orientaciones (Noreste y Sureste) y dos zonas climáticas con severidades climáticas opuestas (B3 y E1),</p>

Capítulo 7 PROPUESTA DE UN MODELO DE EVALUACIÓN DEL IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DE LA ENVOLVENTE DEL EDIFICIO, A PARTIR DE INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD, EN LA FASE INICIAL DEL DISEÑO

	<p>combinando tres tipos de cubierta y cinco tipos de fachada con tres clases de carpintería. Las soluciones constructivas de la envolvente consideradas en cada zona climática se ajustan a los requerimientos del CTE.</p> <p>Para cada elemento constructivo se mostrará el consumo energético por m² calculado a partir de la cantidad de material constitutivo que lo forma.</p> <p>Por falta de datos, no se contempla el coste energético que supone la transformación del material en un elemento específico.</p>
Estado de la metodología	La metodología está en proceso de mejora debido a las limitaciones de las herramientas seleccionadas en cuanto a los impactos evaluados y a la intención de incorporar nuevas variables para la obtención de un mayor número de datos.
Indicadores o definiciones alternativas	Existen otros indicadores producidos por las envolventes durante la fase de fabricación y por las instalaciones de calefacción y de refrigeración durante la fase uso que están también denominados por categorías de impacto y cuyo cálculo ha sido resuelto con la misma metodología que la detallada anteriormente. Estos son los indicadores de emisiones equivalentes de CO ₂

4. ANÁLISIS DE DATOS

Datos necesarios para recopilar el indicador	<p>Para obtener el indicador Con_{epkWh}^{fab} durante la fase de fabricación y puesta en obra se utilizan los siguientes datos:</p> <table border="1" data-bbox="571 1145 1219 1298"> <thead> <tr> <th colspan="4">Valores de referencia en distintas tipologías de edificio*</th> </tr> <tr> <th></th> <th>$F_{S,cub}$</th> <th>$F_{S,fac}$</th> <th>$F_{S,car}$</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Viv. adosada</td> <td>0,72</td> <td>0,53</td> <td>0,17</td> </tr> </tbody> </table> <p>*Datos a cumplimentar por el proyectista calculando la parte proporcional de superficie de envolvente por metro cuadrado de superficie útil de la vivienda</p> <p>F_{cubkWh}^{fab} = Factor según el tipo de cubierta para los consumos de energía primaria en kWh/m² en la fase de fabricación</p> <table border="1" data-bbox="571 1574 1219 1661"> <thead> <tr> <th></th> <th>C1</th> <th>C2</th> <th>C3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>F_{cubkWh}^{fab}</td> <td>1,3</td> <td>1,13</td> <td>1,00</td> </tr> </tbody> </table> <p>F_{fackWh}^{fab} = Factor según el tipo de cubierta para los consumos de energía primaria en kWh/m² en la fase de fabricación</p>	Valores de referencia en distintas tipologías de edificio*					$F_{S,cub}$	$F_{S,fac}$	$F_{S,car}$	Viv. adosada	0,72	0,53	0,17		C1	C2	C3	F_{cubkWh}^{fab}	1,3	1,13	1,00
Valores de referencia en distintas tipologías de edificio*																					
	$F_{S,cub}$	$F_{S,fac}$	$F_{S,car}$																		
Viv. adosada	0,72	0,53	0,17																		
	C1	C2	C3																		
F_{cubkWh}^{fab}	1,3	1,13	1,00																		

Capítulo 7 PROPUESTA DE UN MODELO DE EVALUACIÓN DEL IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DE LA ENVOLVENTE DEL EDIFICIO, A PARTIR DE INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD, EN LA FASE INICIAL DEL DISEÑO

	F1	F2	F3	F4	F5
$x F_{fac kWh}^{fab}$	1,62	1,00	1,60	1,43	3,09

$F_{car kWh}^{fab}$ = Factor según el tipo de carpintería para los consumos de energía primaria en kWh/m² en la fase de fabricación

	H1	H2	H3
$F_{car kWh}^{fab}$	7,09	4,38	1,00

Para obtener el indicador $Con_{ep kWh}^{man}$ durante la fase de mantenimiento se utilizan los siguientes datos

Valores de referencia en distintas tipologías de edificio*			
	$F_{S,cub}$	$F_{S,fac}$	$F_{S,car}$
Viv. adosada	0,72	0,53	0,17

*Datos a cumplimentar por el proyectista calculando la parte proporcional de superficie de envolvente por metro cuadrado de superficie útil de la vivienda

$F_{cub kWh}^{man}$ = Factor según el tipo de cubierta para los consumos de energía primaria en kWh/m² en la fase de mantenimiento.

	C1	C2	C3
$F_{cub kWh}^{man}$	1,32	1,32	1,00

$F_{fac kWh}^{man}$ = Factor según el tipo de fachada para los consumos de energía primaria en kWh/m² en la fase de mantenimiento.

	F1	F2	F3	F4	F5
$F_{fac kWh}^{man}$	1,0	1,0	1,0	0,9	20,9

$F_{car kWh}^{man}$ = Factor según el tipo de carpintería para los consumos de energía primaria en kWh/m² en la fase de mantenimiento.

	H1	H2	H3
$F_{car kWh}^{man}$	1,0	1,0	1,1

Para obtener el indicador $Con_{ep kWh}^{uso}$ durante la fase uso del edificio vinculado a las soluciones constructivas de la

envolvente, e utilizan los siguientes datos:

$F_{Z,kWhcal}^{uso}$ = Factor según la zona climática para los consumos de energía primaria en kWh de las instalaciones de calefacción en la fase uso ,

	B3	E1
$F_{Z,kWhcal}^{uso}$	-89,40	0

$F_{Or,kWhcal}^{uso}$ = Factor según la orientación para los consumos de energía primaria en kWh de las instalaciones de calefacción en la fase uso ,

	NE	SE
$F_{Or,kWhcal}^{uso}$	0,10	0

$F_{cub,kWhcal}^{uso}$ = Factor según el tipo de cubierta para los consumos de energía primaria en kWh de las instalaciones de calefacción en la fase uso ,

	C1	C2	C3
$F_{cub,kWhcal}^{uso}$	1,44	3,21	0

$F_{fac,kWhcal}^{uso}$ = Factor según el tipo de fachada para los consumos de energía primaria en kWh de las instalaciones de calefacción en la fase uso ,

	F1	F2	F3	F4	F5
$F_{fac,kWhcal}^{uso}$	14,32	12,93	5,36	12,73	0

$F_{car,kWhcal}^{uso}$ = Factor según el tipo de carpintería para los consumos de energía primaria en kWh de las instalaciones de calefacción en la fase uso

	H1	H2	H3
$F_{car,kWhcal}^{uso}$	1,27	-0,27	0

$F_{tviv,kWhcal}$ = Factor corrector de los consumos de energía primaria de las instalaciones de calefacción según la tipología de edificio y la zona climática

	Adosado	Bloque	Unifamiliar
$F_{tviv,kWhcal,B3}$	1	0,88	1,27
$F_{tviv,kWhcal,E1}$	1	0,98	1,24

Capítulo 7 PROPUESTA DE UN MODELO DE EVALUACIÓN DEL IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DE LA ENVOLVENTE DEL EDIFICIO, A PARTIR DE INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD, EN LA FASE INICIAL DEL DISEÑO

$F_{Z,kWhref}^{uso}$ = Factor según la zona climática para los consumos de energía primaria en kWh de las instalaciones de refrigeración en la fase uso ,

	B3	E1
$F_{Z,kWhref}^{uso}$	18,65	0

$F_{Or,kWhref}^{uso}$ = Factor según la orientación para los consumos de energía primaria en kWh de las instalaciones de refrigeración en la fase uso ,

	NE	SE
$F_{Or,kWhref}^{uso}$	-0,01	0

$F_{cub,kWhref}^{uso}$ = Factor según el tipo de cubierta para los consumos de energía primaria en kWh de las instalaciones de refrigeración en la fase uso ,

	C1	C2	C3
$F_{cub,kWhref}^{uso}$	0,48	0,46	0

$F_{fac,kWhref}^{uso}$ = Factor según el tipo de fachada para los consumos de energía primaria en kWh de las instalaciones de refrigeración en la fase uso ,

	F1	F2	F3	F4	F5
$F_{fac,kWhref}^{uso}$	-5,78	-5,81	-6,02	-5,54	0

$F_{car,kWhref}^{uso}$ = Factor según el tipo de carpintería para los consumos de energía primaria en kWh de las instalaciones de calefacción en la fase uso

	H1	H2	H3
$F_{car,kWhref}^{uso}$	-0,30	-0,23	0

$F_{tviv,kWhref}$ = Factor corrector de los consumos de energía primaria de las instalaciones de refrigeración según la tipología de edificio y la zona climática

	Adosado	Bloque	Unifamiliar
$F_{tviv,kWhref,B3}$	1	0,69	1,53
$F_{tviv,kWhref,E1}$	1	0,11	0,29

Capítulo 7 PROPUESTA DE UN MODELO DE EVALUACIÓN DEL IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DE LA ENVOLVENTE DEL EDIFICIO, A PARTIR DE INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD, EN LA FASE INICIAL DEL DISEÑO

5.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	
Lecturas	<p>Informe de la subcomisión de análisis de la estrategia energética española para los próximos 25 años. Comisión de Industria, Turismo y Comercio de congreso de los Diputados. España 17/11/2010.</p> <p>Castro Bolaño, J.M.: (2009) “Indicadores de Desarrollo Sostenible Urbano. Una Aplicación para Andalucía”, Edición electrónica gratuita. Texto completo en www.eumed.net/tesis/jmc. ISBN-13: 978-84-692-3975-9.</p> <p>Arce, R., Palomino, C., García de Durango, J. (2007). Propuesta de indicadores para la sostenibilidad de las infraestructuras. III Congreso de Ingeniería Civil, Territorio y Medio Ambiente. Zaragoza.</p> <p>Inventario de Emisiones a la Atmósfera de España. Edición 2009 [Serie 1990-2007]. Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino.</p> <p>UNE-ISO/TS 21929-1:2009 IN</p> <p>Sostenibilidad en construcción de edificios - Indicadores de sostenibilidad - Parte 1: Marco para el desarrollo de indicadores para edificios</p> <p>BEDEC “Base de datos para la Construcción, 2012-2013”, Itec.</p>
Páginas de Internet	<p>www.suelosolar.es</p> <p>http://www.idae.es/</p> <p>http://www.minetur.gob.es</p> <p>http://www.itec.es</p> <p>http://www.apabcn.cat</p> <p>www.juntadeandalucia.es</p>
6.APLICACIÓN DEL INDICADOR	
Ámbito de aplicación	<p>Consumos de energía primaria derivados las soluciones constructivas de la envolvente de los edificios de uso residencial en España</p>

7.4.3 Consumo de agua vinculado a las soluciones constructivas de la envolvente de los edificios

1.INDICADOR	
Nombre	Consumo de agua en m ³ de un metro cuadrado de envolvente por metro cuadrado de la superficie útil del edificio.
Breve definición	Este indicador muestra la relación entre el volumen de agua consumida durante la fase de fabricación y puesta en obra de cada metro cuadrado de la envolvente por cada metro cuadrado de superficie útil del edificio.
Unidad de medida	m ³ /m ² Metros cúbicos de agua por metro cuadrado de superficie útil del edificio en un año y en un periodo de 50 años

Fases del ciclo de vida	Fase de fabricación	Fase de mantenimiento	Fase uso
	x		

2.RELEVANCIA POLÍTICA	
Propósito	Este indicador mide los consumo de agua en m ³ derivadas del empleo de determinados materiales constructivos, durante la fase de fabricación y puesta en obra
Relevancia hacia el desarrollo sostenible o insostenible	<p>El agua es un recurso natural indispensable para la actividad humana y el desarrollo socioeconómico. Todas nuestras actividades dependen totalmente de este precioso recurso. De hecho, los recursos hidráulicos se ven afectados por múltiples usos como son los de la agricultura, la industria y el consumo doméstico.</p> <p>El consumo de agua en España asociado a la construcción representa el 12% del consumo total de agua.</p> <p>La sostenibilidad ambiental, requiere que nuestro ritmo de consumo de recursos materiales, hídricos y energéticos renovables no supere la capacidad de los sistemas naturales para reponerlos, y que el ritmo al que consumimos recursos no renovables no supere el ritmo de sustitución de los recursos renovables perdurables. La sostenibilidad ambiental conlleva también que el ritmo de emisión de contaminantes no supere la capacidad del aire, del agua y del suelo para absorberlos y procesarlos.</p> <p>España es especialmente sensible a la gestión del agua por las especiales características climatológicas y el déficit existente de este recurso en gran parte de su territorio. y turísticos. Necesitamos, pues, invertir en este capital.</p> <p>El agua es tanto un derecho como una responsabilidad. Tiene un valor económico, social y ambiental, por lo que cualquier actuación pública y privada está obligada a tener en cuenta esta</p>

Capítulo 7 PROPUESTA DE UN MODELO DE EVALUACIÓN DEL IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DE LA ENVOLVENTE DEL EDIFICIO, A PARTIR DE INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD, EN LA FASE INICIAL DEL DISEÑO

		triple dimensión. No es un bien ilimitado, ni su disponibilidad en cuantía y calidad adecuada es gratuita. Hay que tener en cuenta tanto los costes reales como el beneficio económico que genera su utilización, respetando al mismo tiempo la exigencia de un caudal mínimo para mantener los ecosistemas.
Convenciones y acuerdos internacionales	y	Para encarar esta área de investigación económica y medioambiental, por decisión del Parlamento Europeo y del Consejo del 23 de octubre de 2000 se aprobó la Directiva Marco del Agua, por la que se establece un marco comunitario de actuación en la política de aguas que se transpuso al derecho español en el año 2004.
Objetivos internacionales estándares recomendados	o	La Directiva marco del agua establece que en el año 2015 debe conseguirse un buen estado ecológico para todas las aguas europeas, fija el principio que “quien contamina paga” y plantea la recuperación adecuada de los costes de los servicios relacionados con el ciclo integral del agua.
Enlaces a otros indicadores		

3.DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA

Definiciones y conceptos	y	<p>En cuanto a la fase de fabricación y puesta en obra:</p> $Con_{agua}^{fab} = \text{Consumo de agua en (m}^3\text{) por metro cuadrado de superficie útil de la vivienda de cada uno de los materiales que integran cada elemento constructivo de la envolvente}$ <p>En cuanto al consumo energético vinculado al mantenimiento: Este indicador no tiene en cuenta la fase mantenimiento porque la proporción del consumo de agua que se produce durante la vida útil del edificio debido a la sustitución de determinados componentes es un valor proporcionalmente mucho menor y difícilmente comparable.</p> <p>En cuanto a la fase de uso: Este indicador no tiene en cuenta la fase uso del edificio por entender que el consumo de agua durante este periodo no está vinculado a las soluciones constructivas de la envolvente.</p> <p>Definición de las variables correspondientes a los elementos constructivos.</p> <p>C1 Cubierta plana caliente continua. C2 Cubierta plana ventilada. C3 Cubierta plana invertida.</p>
--------------------------	---	--

Capítulo 7 PROPUESTA DE UN MODELO DE EVALUACIÓN DEL IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DE LA ENVOLVENTE DEL EDIFICIO, A PARTIR DE INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD, EN LA FASE INICIAL DEL DISEÑO

	<p>F1 Fachada de fábrica, hoja exterior de ladrillo caravista, aislamiento 5cm. F2 Fachada de fábrica, hoja exterior enfoscada, aislamiento 5cm. F3 Fachada de fábrica, hoja exterior enfoscada, aislamiento 10cm. F4 Fachada ventilada, aislamiento por el exterior, espesor 5 cm . F5 Fachada ligera tipo muro cortina.</p> <p>H1 Carpintería de aluminio H2 Carpintería de PVC. H3 Carpintería d madera</p> <p>Definición de los factores utilizados para el cálculo del indicador</p> <p>Factores de superficie (Fs)</p> <p>$F_{S,cub}$ = parte proporcional de cubierta por metro cuadrado de superficie útil de vivienda. $F_{S,fac}$ = parte proporcional de fachada por metro cuadrado de superficie útil de vivienda. $F_{S,car}$ = parte proporcional de carpintería por metro cuadrado de superficie útil de vivienda.</p> <p>Factores para la obtención del indicador en la fase de fabricación</p> <p>$F_{cub\ agua}^{fab}$ = Factor según el tipo de cubierta para los consumos de agua en m³ en la fase de fabricación</p> <p>$F_{fac\ agua}^{fab}$ = Factor según el tipo de fachada para los consumos de agua en m³ en la fase de fabricación</p> <p>$F_{car\ agua}^{fab}$ = Factor según el tipo de carpintería para los consumos de agua en m³ en la fase de fabricación</p>
--	--

Capítulo 7 PROPUESTA DE UN MODELO DE EVALUACIÓN DEL IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DE LA ENVOLVENTE DEL EDIFICIO, A PARTIR DE INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD, EN LA FASE INICIAL DEL DISEÑO

Métodos de medida	<p>Para obtener el indicador Con_{agua}^{fab} durante la fase de fabricación y puesta en obra se utilizan los resultados obtenidos por la herramienta TCQGMA.</p> $Con_{agua}^{fab} = \left\{ \begin{aligned} &0,016 \times F_{S,cub} \times F_{cub\ agua}^{fab} \\ &+ 0,01 \times F_{S,fac} \times F_{fac\ agua}^{fab} \\ &+ 0,001 \times F_{S,car} \times F_{car\ agua}^{fab} \end{aligned} \right\}$
Limitaciones del indicador	<p>Se tendrá en cuenta que: Para la obtención de este indicador, se han considerado dos orientaciones (Noreste y Sureste) y dos zonas climáticas con severidades climáticas opuestas (B3 y E1), combinando tres tipos de cubierta y cinco tipos de fachada con tres clases de carpintería. Las soluciones constructivas de la envolvente consideradas en cada zona climática se ajustan a los requerimientos del CTE En la fase de puesta en obra, el consumo de agua contempla el consumo de la máquina durante su funcionamiento en el proceso de ejecución del elemento unitario, asociado a su potencia y el tipo de motor y combustible consumidos.</p>
Estado de la metodología	<p>La metodología está en proceso de mejora debido a las dificultades que representa la obtención de determinados datos y la inseguridad respecto de las fuentes de algunos de los datos obtenidos.</p>
Indicadores definiciones alternativos	<p>Existen otros indicadores producidos por las envolventes durante la fase de fabricación y por las instalaciones de calefacción y de refrigeración durante la fase uso que están también denominados por categorías de impacto y cuyo cálculo ha sido resuelto con la misma metodología que la detallada anteriormente. Estos son los indicadores de emisiones de CO₂.</p>

4. ANÁLISIS DE DATOS																																	
<p>Datos necesarios para recopilar el indicador</p>	<p>Para obtener el indicador Con_{agua}^{fab} durante la fase de fabricación y puesta en obra se utilizan los siguientes datos:</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th colspan="4">Valores de referencia en distintas tipologías de edificio*</th> </tr> <tr> <th></th> <th>$F_{S,cub}$</th> <th>$F_{S,fac}$</th> <th>$F_{S,car}$</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Viv. adosada</td> <td>0,72</td> <td>0,53</td> <td>0,17</td> </tr> </tbody> </table> <p>*Datos a cumplimentar por el proyectista calculando la parte proporcional de superficie de envolvente por metro cuadrado de superficie útil de la vivienda</p> <p>$F_{cub\ agua}^{fab}$ = Factor según el tipo de cubierta para los consumos de agua en m³ en la fase de fabricación</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th></th> <th>C1</th> <th>C2</th> <th>C3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$F_{cub\ agua}^{fab}$</td> <td>3</td> <td>1</td> <td>3</td> </tr> </tbody> </table> <p>$F_{fac\ agua}^{fab}$ = Factor según el tipo de fachada para los consumos de agua en m³ en la fase de fabricación</p> <table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th></th> <th>F1</th> <th>F2</th> <th>F3</th> <th>F4</th> <th>F5</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$F_{fac\ agua}^{fab}$</td> <td>3</td> <td>2,4</td> <td>2,4</td> <td>1,6</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table> <p>$F_{car\ agua}^{fab}$ = El factor según el tipo de carpintería para los consumos de agua en no afecta en la fase de fabricación</p>	Valores de referencia en distintas tipologías de edificio*					$F_{S,cub}$	$F_{S,fac}$	$F_{S,car}$	Viv. adosada	0,72	0,53	0,17		C1	C2	C3	$F_{cub\ agua}^{fab}$	3	1	3		F1	F2	F3	F4	F5	$F_{fac\ agua}^{fab}$	3	2,4	2,4	1,6	1
Valores de referencia en distintas tipologías de edificio*																																	
	$F_{S,cub}$	$F_{S,fac}$	$F_{S,car}$																														
Viv. adosada	0,72	0,53	0,17																														
	C1	C2	C3																														
$F_{cub\ agua}^{fab}$	3	1	3																														
	F1	F2	F3	F4	F5																												
$F_{fac\ agua}^{fab}$	3	2,4	2,4	1,6	1																												

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	
<p>Lecturas</p>	<p>Informe de la subcomisión de análisis de la estrategia energética española para los próximos 25 años. Comisión de Industria, Turismo y Comercio de congreso de los Diputados. España 17/11/2010.</p> <p>Castro Bolaño, J.M.: (2009) “Indicadores de Desarrollo Sostenible Urbano. Una Aplicación para Andalucía”, Edición electrónica gratuita. Texto completo en www.eumed.net/tesis/jmc. ISBN-13: 978-84-692-3975-9.</p> <p>Arce, R., Palomino, C., García de Durango, J. (2007). Propuesta de indicadores para la sostenibilidad de las infraestructuras. III Congreso de Ingeniería Civil, Territorio y Medio Ambiente. Zaragoza.</p> <p>INE. Estadísticas sobre medio ambiente. Estadísticas</p>

Capítulo 7 PROPUESTA DE UN MODELO DE EVALUACIÓN DEL IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DE LA ENVOLVENTE DEL EDIFICIO, A PARTIR DE INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD, EN LA FASE INICIAL DEL DISEÑO

	<p>medioambientales sobre el agua. En INEbase UNE-ISO/TS 21929-1:2009 IN</p> <p>Sostenibilidad en construcción de edificios - Indicadores de sostenibilidad - Parte 1: Marco para el desarrollo de indicadores para edificios</p> <p>BEDEC “Base de datos para la Construcción, 2012-2013”, Itec.</p>
Páginas de Internet	<p>http://www.marm.es</p> <p>http://www.ine.es</p>

6.APLICACIÓN DEL INDICADOR

Ámbito de aplicación	Consumos de agua derivados las soluciones constructivas de la envolvente de los edificios de uso residencial en España
----------------------	--

7.4.4 Generación de residuos peligrosos y no peligrosos vinculados a las soluciones constructivas de la envolvente de los edificios

1.INDICADOR	
Nombre	Residuos generados en kg/m ² (metro cuadrado de envolvente) por metro cuadrado de la superficie útil del edificio en un año y en un periodo de 50 años
Breve definición	Este indicador muestra la relación entre el volumen de residuos generados peligrosos y no peligrosos la fase de fabricación y puesta en obra incluidos los residuos debidos al embalaje de cada metro cuadrado de la envolvente por cada metro cuadrado de superficie útil del edificio.
Unidad de medida	kg/m ² . Kilogramos de residuos peligrosos y no peligrosos por metro cuadrado de superficie útil del edificio

Fases del ciclo de vida	Fase de fabricación	Fase de mantenimiento	de	Fase Uso
	x			

2.RELEVANCIA POLÍTICA	
Propósito	Este indicador mide el volumen de residuos generados en kg derivados del empleo de determinados materiales constructivos, durante la fase de fabricación y puesta en obra
Relevancia hacia el desarrollo sostenible o insostenible	<p>La Ley de Residuos (1998) ofrece, por primera vez en España, una forma de abordar la totalidad de los residuos ambiental, económica y socialmente aceptable. Esta norma introduce los conceptos de la equivalencia de residuo y recurso, de la prioridad de evitarlos, de su clasificación en razón de su valoración ambiental y la responsabilidad en su gestión de los generadores de residuos. “Esta Ley tiene por objeto prevenir la producción de residuos.</p> <p>-En cuanto a los residuos peligrosos: El notable incremento del desarrollo industrial y económico experimentado en las últimas décadas a escala comunitaria, estatal y autonómica, no ha incidido claramente en una mejora de la calidad de vida y de bienestar social, en buena medida porque ha originado un continuo aumento en la cantidad de residuos. Son más de 3 millones de toneladas la cantidad de residuos peligrosos (RP) que se generan cada año en España, de las que sólo una mínima parte recibe una gestión ambientalmente correcta.</p> <p>En España, los objetivos establecidos por directiva 2008/98/Ce han sido concretados en el Plan nacional integrado de residuos para el período 2008 - 2015 (resolución de 20 de enero de 2009, de la secretaría de estado de Cambio Climático).</p>

Capítulo 7 PROPUESTA DE UN MODELO DE EVALUACIÓN DEL IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DE LA ENVOLVENTE DEL EDIFICIO, A PARTIR DE INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD, EN LA FASE INICIAL DEL DISEÑO

<p>Convenciones y acuerdos internacionales</p>	<p>El ámbito legislativo se ha visto afectado por cambios derivados de nuestra integración en la Unión Europea, lo que ha obligado a incorporar una abundante normativa sobre la gestión de los RSU. La directiva Marco de residuos (directiva 2008/98/Ce del Parlamento europeo y del Consejo, de 19 de noviembre de 2008) establece las bases sobre las cuales debe fundamentarse la legislación y la política de los estados miembros en el ámbito de la gestión y el tratamiento de los residuos. Destaca, en su artículo cuarto la siguiente jerarquía de prioridades:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) prevención; b) preparación para la reutilización; c) reciclado; d) otro tipo de valorización, por ejemplo, la valorización energética; y e) eliminación. <p>Esta jerarquía de prioridades deberá estar presente en las políticas de gestión y tratamiento de los residuos de los estados miembros.</p>
<p>Objetivos internacionales estándares recomendados</p>	<p>La directiva 1999/31/Ce del Consejo, de 26 de abril de 1999, relativa al vertido de residuos, establece en su artículo 5º objetivos de reducción de depósito en vertedero:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Antes del año 2006, los residuos municipales biodegradables destinados a vertederos deberán haberse reducido hasta el 75 % de la cantidad total (en peso) de los residuos municipales biodegradables generados en 1995. b) antes del año 2009, hasta el 50 % de la cantidad total (en peso) de los residuos municipales biodegradables generados en 1995; c) antes del año 2016, hasta un 35 % de la cantidad total (en peso) de los residuos municipales biodegradables generados en 1995. <p>De este modo, los objetivos de reducción de depósito en vertedero previstos en la directiva 1999/31/Ce evidencian la creciente exigencia de aprovechamiento de la fracción orgánica, puesto que éstos deberán ser inversamente proporcionales.</p>
<p>Enlaces a otros indicadores</p>	<p>Las emisiones de CO₂ y otros gases, resultantes de las actividades del hombre como CH₄, N₂O, CHC-11 y CF₄, en la atmósfera es el principal causante del efecto invernadero</p>

3.DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA

<p>Definiciones y conceptos</p>	<p>En cuanto a la fase de fabricación y puesta en obra: Se obtendrá por separado para cada material de cada elemento constructivo el peso de residuos generados peligrosos y no peligrosos durante la fase de fabricación, incluidos los residuos debidos al embalaje.</p>
---------------------------------	--

Capítulo 7 PROPUESTA DE UN MODELO DE EVALUACIÓN DEL IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DE LA ENVOLVENTE DEL EDIFICIO, A PARTIR DE INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD, EN LA FASE INICIAL DEL DISEÑO

	<p>Gen_{resp}^{Fab} = Generación de residuos peligroso en kg por metro cuadrado de superficie útil de la vivienda de cada uno de los materiales que integran cada elemento constructivo de la envolvente.</p> <p>Gen_{resnp}^{Fab} = Generación de residuos no peligrosos en kg por metro cuadrado de superficie útil de la vivienda de cada uno de los materiales que integran cada elemento constructivo de la envolvente</p> <p>En cuanto a los residuos generados vinculados al mantenimiento: Los residuos generados por el mantenimiento de la envolvente durante la fase uso generan un bajo porcentaje de residuos, por lo que no se ha tenido en cuenta</p> <p>En cuanto a la fase uso: Este indicador no ha tenido en cuenta la fase uso del edificio por entender que la generación de residuos durante la fase uso del edificio no está vinculado a las soluciones constructivas de la envolvente. Definición de las variables correspondientes a los elementos constructivos.</p> <p>C1 Cubierta plana caliente continua. C2 Cubierta plana ventilada. C3 Cubierta plana invertida.</p> <p>F1 Fachada de fábrica, hoja exterior de ladrillo caravista, aislamiento 5cm. F2 Fachada de fábrica, hoja exterior enfoscada, aislamiento 5cm. F3 Fachada de fábrica, hoja exterior enfoscada, aislamiento 10cm. F4 Fachada ventilada, aislamiento por el exterior, espesor 5 cm. F5 Fachada ligera tipo muro cortina.</p> <p>H1 Carpintería de aluminio H2 Carpintería de PVC. H3 Carpintería d madera</p> <p>Definición de los factores utilizados para el cálculo del indicador Factores de superficie (Fs)</p>
--	---

Capítulo 7 PROPUESTA DE UN MODELO DE EVALUACIÓN DEL IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DE LA ENVOLVENTE DEL EDIFICIO, A PARTIR DE INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD, EN LA FASE INICIAL DEL DISEÑO

	<p>$F_{S,cub}$ = parte proporcional de cubierta por metro cuadrado de superficie útil de vivienda.</p> <p>$F_{S,fac}$ = parte proporcional de fachada por metro cuadrado de superficie útil de vivienda.</p> <p>$F_{S,car}$ = parte proporcional de carpintería por metro cuadrado de superficie útil de vivienda.</p> <p>Factores para la obtención del indicador en la fase de fabricación</p> <p>$F_{cub\ resp}^{fab}$ = Factor según el tipo de cubierta para los residuos peligrosos generados en kg/m^2 en la fase de fabricación</p> <p>$F_{fac\ resp}^{fab}$ = Factor según el tipo de fachada para los para los residuos peligrosos generados en kg/m^2 en la fase de fabricación</p> <p>$F_{car\ resp}^{fab}$ = Factor según el tipo de carpintería para los para los residuos peligrosos generados en kg/m^2 en la fase de fabricación</p> <p>$F_{cub\ resnp}^{fab}$ = Factor según el tipo de cubierta para los residuos peligrosos generados en kg/m^2 en la fase de fabricación</p> <p>$F_{fac\ resnp}^{fab}$ = Factor según el tipo de fachada para los para los residuos peligrosos generados en kg/m^2 en la fase de fabricación</p> <p>$F_{car\ resnp}^{fab}$ = Factor según el tipo de carpintería para los para los residuos peligrosos generados en kg/m^2 en la fase de fabricación</p>
Métodos de medida	<p>Para obtener el indicador Gen_{resp}^{Fab} durante la fase de fabricación y puesta en obra se utilizan los resultados obtenidos por la herramienta TCQGMA.</p> $Gen_{resp}^{fab} = \{0,098x F_{S,cub} x F_{cub\ resp}^{fab} + 0,055 x F_{S,car} x F_{car\ resp}^{fab}\}$ <p>Para obtener el indicador Gen_{resnp}^{Fab} durante la fase de fabricación y puesta en obra se utilizan los resultados obtenidos por la herramienta TCQGMA.</p>

Capítulo 7 PROPUESTA DE UN MODELO DE EVALUACIÓN DEL IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DE LA ENVOLVENTE DEL EDIFICIO, A PARTIR DE INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD, EN LA FASE INICIAL DEL DISEÑO

		$Gen_{resnp}^{fab} = \left\{ 10,32 \times F_{S,cub} \times F_{cub\ resnp}^{fab} + 10,28 \times F_{S,fac} \times F_{fac\ resnp}^{fab} + 0,001 \times F_{S,car} \times F_{car\ resnp}^{fab} \right\}$
Limitaciones del indicador		<p>Se tendrá en cuenta que: Para la obtención de este indicador, se han considerado por el momento dos orientaciones (Noreste y Sureste) y dos zonas climáticas con severidades climáticas opuestas (B3 y E1), combinando tres tipos de cubierta y cinco tipos de fachada con tres clases de carpintería. Las soluciones constructivas de la envolvente consideradas en cada zona climática se ajustan a los requerimientos del CTE. Para cada elemento constructivo se mostrará la cantidad de residuos generados por metro cuadrado a partir de la cantidad de material constitutivo que lo forma. Se medirá el consumo de agua de los elementos unitarios, de su proceso de extracción, transporte del origen a la fábrica y el proceso de transformación en fábrica de sus materiales constitutivos (ahora bien, por falta de datos, no se contempla el volumen e residuos generados que supone la transformación del material en un elemento específico).</p>
Estado de la metodología		<p>La metodología está en proceso de mejora debido a las dificultades que representa la obtención de determinados datos y la inseguridad respecto de las fuentes de algunos de los datos obtenidos.</p>
Indicadores o definiciones alternativas		<p>Existen otros indicadores producidos por las envolventes durante la fase de fabricación y por las instalaciones de calefacción y de refrigeración durante la fase uso que están también denominados por categorías de impacto y cuyo cálculo ha sido resuelto con la misma metodología que la detallada anteriormente. Estos son los indicadores de emisiones de CO₂, consumos energéticos y consumos de agua</p>

4. ANÁLISIS DE DATOS

Datos necesarios para recopilar el indicador	<p>$F_{S,cub}$ = parte proporcional de cubierta por metro cuadrado de superficie útil de vivienda. $F_{S,fac}$ = parte proporcional de fachada por metro cuadrado de superficie útil de vivienda. $F_{S,car}$ = parte proporcional de carpintería por metro cuadrado de superficie útil de vivienda.</p>
--	---

Capítulo 7 PROPUESTA DE UN MODELO DE EVALUACIÓN DEL IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DE LA ENVOLVENTE DEL EDIFICIO, A PARTIR DE INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD, EN LA FASE INICIAL DEL DISEÑO

	Valores de referencia en distintas tipologías de edificio*			
		$F_{S,cub}$	$F_{S,fac}$	$F_{S,car}$
	Viv. adosada	0,72	0,53	0,17

*Datos a cumplimentar por el proyectista calculando la parte proporcional de superficie de envolvente por metro cuadrado de superficie útil de la vivienda

$F_{cub resp}^{fab}$ = Factor según el tipo de cubierta para los residuos peligrosos generados en kg/m^2 en la fase de fabricación

	C1	C2	C3
$F_{cub resp}^{fab}$	2,76	1,22	1,00

$F_{fac resp}^{fab}$ = El Factor según el tipo de fachada para los para los residuos peligrosos generados en la fase de fabricación no afecta en el cálculo del indicador.

$F_{car resp}^{fab}$ = Factor según el tipo de carpintería para los para los residuos peligrosos generados en kg/m^2 en la fase de fabricación

	H1	H2	H3
$F_{car resp}^{fab}$	1	1	1

$F_{cub resnp}^{fab}$ = Factor según el tipo de cubierta para los residuos peligrosos generados en kg/m^2 en la fase de fabricación

	C1	C2	C3
$F_{cub resnp}^{fab}$	1,19	1,56	1,00

$F_{fac resnp}^{fab}$ = Factor según el tipo de fachada para los para los residuos peligrosos generados en kg/m^2 en la fase de fabricación

	F1	F2	F3	F4	F5
$F_{fac resnp}^{fab}$	2,23	1,00	1,06	1,12	-

$F_{car resnp}^{fab}$ = El Factor según el tipo de carpintería para los residuos peligrosos generados no afecta en la fase de fabricación.

Capítulo 7 PROPUESTA DE UN MODELO DE EVALUACIÓN DEL IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DE LA ENVOLVENTE DEL EDIFICIO, A PARTIR DE INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD, EN LA FASE INICIAL DEL DISEÑO

5.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	
Lecturas	<p>Plan para la gestión sostenible de los residuos de origen domiciliario.</p> <p>Castro Bolaño, J.M.: (2009) “Indicadores de Desarrollo Sostenible Urbano. Una Aplicación para Andalucía”, Edición electrónica gratuita. Texto completo en www.eumed.net/tesis/jmc. ISBN-13: 978-84-692-3975-9.</p> <p>Arce, R., Palomino, C., García de Durango, J. (2007). Propuesta de indicadores para la sostenibilidad de las infraestructuras. III Congreso de Ingeniería Civil, Territorio y Medio Ambiente. Zaragoza.</p> <p>INE. Estadísticas sobre medio ambiente. Estadísticas medioambientales sobre el agua. En INE base UNE-ISO/TS 21929-1:2009 IN.</p> <p>Mercader , M.P, et al. (2013) Selective classification and quantification model of C&D waste from material resources consumed in residential building construction. Waste Management & Research. Vol. 31. Núm. 5. Pag. 458-474.</p> <p>Ramírez de Arellano et al. (2002) Retirada Selectiva de Residuos: Modelo de Presupuestación. p.5, Fundación Aparejadores. Sevilla, 2002.</p> <p>BEDEC “Base de datos para la Construcción, 2012-2013”, IteC.</p>
Páginas de Internet	http://www.ecologistasenaccion.org
APLICACIÓN DEL INDICADOR	
Ámbito de aplicación	Residuos generados por las soluciones constructivas de la envolvente de los edificios de uso residencial en España

7.4.5 Coste de inversión de las soluciones constructivas de la envolvente de los edificios

1.INDICADOR	
Nombre	Coste de inversión y costes de los consumos energéticos de las soluciones constructivas de la envolvente de los edificios
Breve definición	Este indicador muestra el Presupuesto de Ejecución Material (PEM) de las soluciones constructivas de la envolvente y la valoración de los costes de la energía primaria consumida considerando la fase de fabricación, puesta en obra y mantenimiento sustitutivo a partir de la aplicación de los precios a los materiales, maquinaria y mano de obra necesarios y de la valoración del kWh.
Unidad de medida	(€/m ²) Euros por metro cuadrado de superficie de la envolvente necesaria por cada metro cuadrado de superficie útil del edificio en un año y en un periodo de 50 años

Fases del ciclo de vida	Fase de fabricación	Fase de mantenimiento	Fase uso
	x	x	x

2.RELEVANCIA POLÍTICA	
Propósito	Poder disponer de información acerca del coste de las soluciones constructivas analizadas para poder comparar el ahorro de unas soluciones con respecto de otras, así como el ahorro frente al coste energético.
Relevancia hacia el desarrollo sostenible o insostenible	<p>“La construcción es uno de los factores más relevantes de la economía española”</p> <p>Los impactos económicos asociados a la construcción son cada vez más altos. Aparte de los precios de compra de suelo, se debe tener en cuenta los costes del ciclo de vida determinados en la inversión, uso, mantenimiento y deconstrucción, también los beneficios potenciales y el desarrollo del valor durante la vida útil del edificio. Conseguir el ahorro de recursos ligados al ciclo de vida de la construcción es un reto a alcanzar y para ello se debe seguir un proceso secuencial de toma de decisiones, así como fomentar la innovación ligada al desarrollo de nuevos materiales y técnicas constructivas que contemplen un uso racional y responsable de los recursos.</p> <p>Desde el punto de vista de la sostenibilidad la selección de soluciones constructivas más adecuada sería aquella que contemplase un bajo coste de inversión y de mantenimiento</p>

Capítulo 7 PROPUESTA DE UN MODELO DE EVALUACIÓN DEL IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DE LA ENVOLVENTE DEL EDIFICIO, A PARTIR DE INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD, EN LA FASE INICIAL DEL DISEÑO

		sin que ello repercutiese en un aumento del coste energético durante su fase uso.
Convenciones y acuerdos internacionales	y	A partir de 1987 los programas de cooperación y desarrollo de la UE, marcan en sus bases que la comunidad Europea tiene el objeto de reforzar las bases científicas de la industria Europea. Una de las prioridades es mitigar los impactos sobre el Medio ambiente. Entre los factores que se consideran determinantes está la Construcción. Las actuales normativas exigen que la calidad esté presente en el proceso constructivo: en el diseño, en los productos y materiales utilizados, etc. al mismo tiempo, se plantea la necesidad de reducir este impacto sobre el medio ambiente. Frente a ello, una de las soluciones que se apuntan es la introducción de modelos compatibles con costes de producción mucho menores. Finalmente, la nueva normativa europea derivada de la “Directiva Productos de Construcción”, obligatoria en España, exige la adopción de especificaciones técnicas, fruto de los trabajos que están desarrollando diferentes Comités Técnicos en toda Europa, específicamente los que afectan al medio ambiente.
Objetivos internacionales estándares recomendados	o	El sector de la construcción representa alrededor del 7% del PIB mundial y proporciona empleo a alrededor de un 6% de la población trabajadora. Por otro lado esta actividad utiliza en Europa el 50% de los materiales que son extraídos en la tierra y genera más de un 25% de residuos. Uno de los objetivos para maximizar la sostenibilidad de los edificios es minimizar los costes considerando la calidad y optimizando el ciclo de vida del edificio. Hasta el momento, el principal interés de los promotores ha sido minimizar costes, reduciendo costes de inversión. A veces la reducción de los costes de inversión conlleva el incremento de los costes de mantenimiento.
Enlaces a otros indicadores		

3.DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA	
Definiciones y conceptos	<p>En cuanto a la fase de fabricación y puesta en obra:</p> <p>$Cost_{\text{€}/m^2}^{fab}$ = Costes de inversión en Euros por metro cuadrado de superficie útil de la vivienda de cada uno de los elementos constructivos de la envolvente en fase de fabricación</p> <p>$Cost_{\text{€}/m^2}^{fab_{ep}}$ = Costes en Euros por metro cuadrado de superficie útil de la vivienda de la energía consumida en la fase de fabricación.</p> <p>En cuanto a la fase de mantenimiento:</p> <p>$Cost_{\text{€}/m^2}^{man_{ep}}$ = Costes en Euros por metro cuadrado de superficie útil de la vivienda de la energía consumida en la fase de mantenimiento.</p> <p>$Cost_{\text{€}/m^2}^{man}$ = Costes de mantenimiento en Euros por metro cuadrado de superficie útil de la vivienda de cada uno de los materiales que integran los elementos constructivos que vayan a ser sustituidos a lo largo de la vida útil.</p> <p>En cuanto a la fase uso:</p> <p>$Cost_{\text{€}/m^2_{cal}}^{uso_{ep}}$ = Costes en Euros por metro cuadrado de superficie útil de la vivienda de la energía consumida en la fase uso por las instalaciones de calefacción.</p> <p>$Cost_{\text{€}/m^2_{ref}}^{uso_{ep}}$ = Costes en Euros por metro cuadrado de superficie útil de la vivienda de la energía consumida en la fase uso por las instalaciones de refrigeración.</p> <p>Definición de las variables correspondientes a los elementos constructivos.</p> <p>C1 Cubierta plana caliente continua. C2 Cubierta plana ventilada. C3 Cubierta plana invertida.</p> <p>F1 Fachada de fábrica, hoja exterior de ladrillo caravista, aislamiento 5cm. F2 Fachada de fábrica, hoja exterior enfoscada, aislamiento 5cm. F3 Fachada de fábrica, hoja exterior enfoscada, aislamiento</p>

	<p>10cm. F4 Fachada ventilada, aislamiento por el exterior, espesor 5 cm. F5 Fachada ligera tipo muro cortina.</p> <p>H1 Carpintería de aluminio H2 Carpintería de PVC. H3 Carpintería d madera</p> <p>Definición de los factores utilizados para el cálculo del indicador Factores de superficie (Fs)</p> <p>$F_{S,cub}$ = parte proporcional de cubierta por metro cuadrado de superficie útil de vivienda. $F_{S,fac}$ = parte proporcional de fachada por metro cuadrado de superficie útil de vivienda. $F_{S,car}$ = parte proporcional de carpintería por metro cuadrado de superficie útil de vivienda.</p> <p>Factores para la obtención del indicador en la fase de fabricación</p> <p>$F_{cub}^{fab} \text{ €/m}^2$ = Factor según el tipo de cubierta de los costes de inversión en €/m² en la fase de fabricación</p> <p>$F_{fac}^{fab} \text{ €/m}^2$ = Factor según el tipo de fachada de los costes de inversión en €/m² en la fase de fabricación</p> <p>$F_{car}^{fab} \text{ €/m}^2$ = Factor según el tipo de carpintería de los costes de inversión en €/m² en la fase de fabricación</p> <p>nergía primaria en kWh/m² en la fase de fabricación</p> <p>$F_{fac}^{fab} \text{ kWh}$ = Factor según el tipo de cubierta para los consumos de energía primaria en kWh/m² en la fase de fabricación</p> <p>$F_{car}^{fab} \text{ kWh}$ = Factor según el tipo de carpintería para los consumos de energía primaria en kWh/m² en la fase de fabricación</p> <p>Factores para la obtención del indicador en la fase de mantenimiento</p>
--	---

	<p>$F_{cub}^{man} \text{€}/m^2$ = Factor según el tipo de cubierta de los costes de inversión en €/m²-en la fase de mantenimiento</p> <p>$F_{fac}^{man} \text{€}/m^2$ = Factor según el tipo de fachada de los costes de inversión en €/m²-en la fase de mantenimiento</p> <p>$F_{car}^{man} \text{€}/m^2$ = Factor según el tipo de carpintería de los costes de inversión en €/m²-en la fase de mantenimiento</p> <hr/> <p>$F_{cub}^{man} \text{kWh}$ = Factor según el tipo de cubierta para los consumos de energía primaria en kWh /m² en la fase de mantenimiento.</p> <p>$F_{fac}^{man} \text{kWh}$ = Factor según el tipo de fachada para los consumos de energía primaria en kWh /m² en la fase de mantenimiento.</p> <p>$F_{car}^{man} \text{kWh}$ = Factor según el tipo de carpintería para los consumos de energía primaria en kWh /m² en la fase de mantenimiento.</p> <p>*$cost_{kWh}$ = Coste del kWh</p> <p>Factores para la obtención del indicador en la fase de uso:</p> <p>$F_{Z,kWhcal}^{uso}$ = Factor según la zona climática para los consumos de energía primaria en kWh de las instalaciones de calefacción en la fase uso ,</p> <p>$F_{Or,kWhcal}^{uso}$ = Factor según la orientación para los consumos de energía primaria en kWh de las instalaciones de calefacción en la fase uso ,</p> <p>$F_{cub,kWhcal}^{uso}$ = Factor según el tipo de cubierta para los consumos de energía primaria en kWh de las instalaciones de calefacción en la fase uso ,</p> <p>$F_{fac,kWhcal}^{uso}$ = Factor según el tipo de fachada para los consumos de energía primaria en kWh de las instalaciones de</p>
--	---

Capítulo 7 PROPUESTA DE UN MODELO DE EVALUACIÓN DEL IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DE LA ENVOLVENTE DEL EDIFICIO, A PARTIR DE INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD, EN LA FASE INICIAL DEL DISEÑO

	<p>calefacción en la fase uso,</p> <p>$F_{car,kWhcal}^{uso}$ = Factor según el tipo de carpintería para los consumos de energía primaria en kWh de las instalaciones de calefacción en la fase uso</p> <p>* $cost_{kWh}$ = Coste del kWh</p> <p>$F_{Z,kWhref}^{uso}$ = Factor según la zona climática para los consumos de energía primaria en kWh de las instalaciones de refrigeración en la fase uso ,</p> <p>$F_{Or,kWhref}^{uso}$ = Factor según la orientación para los consumos de energía primaria en kWh de las instalaciones de refrigeración en la fase uso ,</p> <p>$F_{cub,kWhref}^{uso}$ = Factor según el tipo de cubierta para los consumos de energía primaria en kWh de las instalaciones de refrigeración en la fase uso ,</p> <p>$F_{fac,kWhref}^{uso}$ = Factor según el tipo de fachada para los consumos de energía primaria en Kwh de las instalaciones de refrigeración en la fase uso,</p> <p>$F_{car,kWhref}^{uso}$ = Factor según el tipo de carpintería para los consumos de energía primaria en kWh de las instalaciones de calefacción en la fase uso</p>
Métodos de medida	<p>Para obtener el indicador $Cost_{€/m^2}^{fab}$ durante la fase de fabricación y puesta en obra se utilizarán los resultados obtenidos por la herramienta TCQ2000.</p> <p>$Cost_{€/m^2}^{fab} =$</p> $\left\{ 107,32 \times F_{S,cub} \times F_{cub€/m^2}^{fab} + 76,38 \times F_{S,fac} \times F_{fac€/m^2}^{fab} + 218,94 \times F_{S,car} \times F_{car€/m^2}^{fab} \right.$ <hr/> <p>Para obtener el indicador $Cost_{ep€/m^2}^{fab}$ durante la fase de</p>

fabricación y puesta en obra, se utilizarán los resultados de los consumos energéticos obtenidos por la herramienta TCQGMA.

$$Cost_{ep}^{fab} \text{ €/m}^2 = \left\{ (418,84 \times F_{S,cub} \times F_{cub kWh}^{fab}) + (134,44 \times F_{S,fac} \times F_{fac kWh}^{fab}) + (169,85 \times F_{S,car} \times F_{car kWh}^{fab}) \right\} \times cost_{kWh}$$

* $cost_{kWh}$ = Coste del kWh

Para obtener el indicador $Cost_{\text{€/m}^2}^{man}$ durante la fase de **mantenimiento** se utilizarán los resultados obtenidos por la herramienta TCQ2000 multiplicados por el factor de reacondicionamiento en base al número de veces que cada material deberá ser sustituido a lo largo de la vida útil del edificio.

$$Cost_{\text{€/m}^2}^{man} = \left\{ 67,24 \times F_{S,cub} \times F_{cub \text{€/m}^2}^{man} + 11,78 \times F_{S,fac} \times F_{fac \text{€/m}^2}^{man} + 165,24 \times F_{S,car} \times F_{car \text{€/m}^2}^{man} \right\}$$

Para obtener el indicador $Cost_{ep}^{man} \text{ €/m}^2$ durante la fase de **mantenimiento** se utilizarán los resultados de los consumos energéticos obtenidos por la herramienta TCQGMA multiplicados por el factor de reacondicionamiento en base al número de veces que cada material deberá ser sustituido a lo largo de la vida útil del edificio. Y multiplicaremos todo por el coste del kWh considerado

$$Cost_{ep}^{man} \text{ €/m}^2 = \left\{ (130,51 \times F_{S,cub} \times F_{cub kWh}^{man}) + (13,00 \times F_{S,fac} \times F_{fac kWh}^{man}) + (300,99 \times F_{S,car} \times F_{car kWh}^{man}) \right\} \times cost_{kWh}$$

* $cost_{kWh}$ = Coste del kWh

En cuanto al coste del consumo energético vinculado al uso:

Para obtener el indicador $Cost_{ep kWh}^{uso}$ durante la fase uso del edificio vinculado a las soluciones constructivas de la

	<p>envolvente, se han seleccionado las herramientas de simulación energética LIDER y CALENER. Posteriormente se ha multiplicado el resultado por el coste del kWh considerado.</p> <p>Se han obtenido, por separado, los siguientes indicadores:</p> <p>$Cost_{ep}^{uso} \text{ €/m}^2_{cal}$ = Costes en Euros por metro cuadrado de superficie útil de la vivienda de la energía consumida en la fase uso por las instalaciones de calefacción.</p> <p>$Cost_{ep}^{uso} \text{ €/m}^2_{ref}$ = Costes en Euros por metro cuadrado de superficie útil de la vivienda de la energía consumida en la fase uso por las instalaciones de refrigeración</p> $Cost_{ep}^{uso} \text{ €/m}^2_{cal} = [96,77 \times F_{Z,kWhcal}^{uso} + F_{Or,kWhcal}^{uso} + F_{cub,kWhcal}^{uso} + F_{fac,kWhcal}^{uso} + F_{car,kWhcal}^{uso} + 11,6F_{scu} + 20,63 F_{sfac}] \times N^{50\text{años}} \times cost_{kwh}$ <p>* $cost_{kwh}$ = Coste del kWh</p> <hr/> $Cost_{ep}^{uso} \text{ €/m}^2_{ref} = [-0,54 \times F_{Z,kWhref}^{uso} + F_{Or,kWhref}^{uso} + F_{cub,kWhref}^{uso} + F_{fac,kWhref}^{uso} + F_{car,kWhref}^{uso} + 7,6F_{scu} + 2,68 F_{sfac}] \times N^{50\text{años}} \times cost_{kwh}$ <p>$cost_{kwh}$ = Coste del kWh</p>
Limitaciones del indicador	<p>Se tendrá en cuenta que para cada elemento constructivo se mostrarán los costes por m² calculado a partir de la cantidad de material constitutivo que lo forma.</p> <p>Se medirán los costes de inversión de los elementos unitarios, de su proceso de extracción, transporte del origen a la fábrica y el proceso de transformación en fábrica de sus materiales constitutivos.</p> <p>En la fase de puesta en obra, los costes de inversión contemplan el consumo de la máquina durante su funcionamiento en el proceso de ejecución del elemento unitario, asociado a su potencia y el tipo de motor y combustible consumidos.</p>

Estado de la metodología	La metodología está en proceso de mejora debido a las dificultades que representa la obtención de determinados datos y la inseguridad respecto de las fuentes de algunos de los datos obtenidos.
Indicadores o definiciones alternativos	Existen otros indicadores producidos por las envolventes durante la fase de fabricación y por las instalaciones de calefacción y de refrigeración durante la fase uso que están también denominados por categorías de impacto y cuyo cálculo ha sido resuelto con la misma metodología que la detallada anteriormente. Estos son los indicadores de emisiones de CO ₂

4. ANÁLISIS DE DATOS																																	
Datos necesarios para recopilar el indicador	<p>Para obtener el indicador $Cost_{\text{€/m}^2}^{fab}$ durante la fase de fabricación y puesta en obra, se utilizan los siguientes datos:</p> <table border="1" data-bbox="571 949 1219 1096"> <thead> <tr> <th colspan="4">Valores de referencia en distintas tipologías de edificio*</th> </tr> <tr> <th></th> <th>$F_{S,cub}$</th> <th>$F_{S,fac}$</th> <th>$F_{S,car}$</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Viv. adosada</td> <td>0,72</td> <td>0,53</td> <td>0,17</td> </tr> </tbody> </table> <p>*Datos a cumplimentar por el proyectista calculando la parte proporcional de superficie de envolvente por metro cuadrado de superficie útil de la vivienda</p> <p>$F_{cub\text{€/m}^2}^{fab}$ = Factor según el tipo de cubierta de los costes de inversión en €/m² en la fase de fabricación</p> <table border="1" data-bbox="571 1453 1219 1544"> <thead> <tr> <th></th> <th>C1</th> <th>C2</th> <th>C3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$F_{cub\text{€/m}^2}^{fab}$</td> <td>1,41</td> <td>1,33</td> <td>1,00</td> </tr> </tbody> </table> <p>$F_{fac\text{€/m}^2}^{fab}$ = Factor según el tipo de fachada de los costes de inversión en €/m² en la fase de fabricación</p> <table border="1" data-bbox="553 1699 1219 1790"> <thead> <tr> <th></th> <th>F1</th> <th>F2</th> <th>F3</th> <th>F4</th> <th>F5</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$F_{fac\text{€/m}^2}^{fab}$</td> <td>1,29</td> <td>1,00</td> <td>1,15</td> <td>1,68</td> <td>9,93</td> </tr> </tbody> </table>	Valores de referencia en distintas tipologías de edificio*					$F_{S,cub}$	$F_{S,fac}$	$F_{S,car}$	Viv. adosada	0,72	0,53	0,17		C1	C2	C3	$F_{cub\text{€/m}^2}^{fab}$	1,41	1,33	1,00		F1	F2	F3	F4	F5	$F_{fac\text{€/m}^2}^{fab}$	1,29	1,00	1,15	1,68	9,93
Valores de referencia en distintas tipologías de edificio*																																	
	$F_{S,cub}$	$F_{S,fac}$	$F_{S,car}$																														
Viv. adosada	0,72	0,53	0,17																														
	C1	C2	C3																														
$F_{cub\text{€/m}^2}^{fab}$	1,41	1,33	1,00																														
	F1	F2	F3	F4	F5																												
$F_{fac\text{€/m}^2}^{fab}$	1,29	1,00	1,15	1,68	9,93																												

$F_{car}^{fab} \text{ €/m}^2$ = Factor según el tipo de carpintería de los costes de inversión en €/m² en la fase de fabricación

	H1	H2	H3
$F_{car}^{fab} \text{ €/m}^2$	1,13	1	1,13

Para obtener el indicador $Cost_{ep}^{fab} \text{ €/m}^2$ durante la fase de fabricación y puesta en obra, se utilizan los siguientes datos

Valores de referencia en distintas tipologías de edificio*			
	$F_{S,cub}$	$F_{S,fac}$	$F_{S,car}$
Viv. adosada	0,72	0,53	0,17

*Datos a cumplimentar por el proyectista calculando la parte proporcional de superficie de envolvente por metro cuadrado de superficie útil de la vivienda

F_{cubkWh}^{fab} = Factor según el tipo de cubierta para los consumos de energía primaria en kWh/m² en la fase de fabricación

	C1	C2	C3
F_{cubkWh}^{fab}	1,3	1,13	1,00

F_{fackWh}^{fab} = Factor según el tipo de cubierta para los consumos de energía primaria en kWh/m² en la fase de fabricación

	F1	F2	F3	F4	F5
$x F_{fackWh}^{fab}$	1,62	1,00	1,60	1,43	3,09

$F_{car kWh}^{fab}$ = Factor según el tipo de carpintería para los consumos de energía primaria en kWh/m² en la fase de fabricación

	H1	H2	H3
$F_{car kWh}^{fab}$	7,09	4,38	1,00

Para obtener el indicador $Cost_{\text{€}/m}^{man}$ durante la fase de mantenimiento se utilizan los siguientes datos:

Valores de referencia en distintas tipologías de edificio*			
	$F_{S,cub}$	$F_{S,fac}$	$F_{S,car}$
Viv. adosada	0,72	0,53	0,17

*Datos a cumplimentar por el proyectista calculando la parte proporcional de superficie de envolvente por metro cuadrado de superficie útil de la vivienda

$F_{cub}^{man} \text{ €/m}^2$ = Factor según el tipo de cubierta de los costes de inversión en €/m² en la fase de mantenimiento

	C1	C2	C3
$F_{cub}^{man} \text{ €/m}^2$	1,39	1,39	1,00

$F_{fac}^{man} \text{ €/m}^2$ = Factor según el tipo de fachada de los costes de inversión en €/m² en la fase de mantenimiento

	F1	F2	F3	F4	F5
$x F_{fac}^{man} \text{ €/m}^2$	1,92	1,92	1,92	1,00	13,02

$F_{car}^{man} \text{ €/m}^2$ = Factor según el tipo de carpintería de los costes de inversión en €/m² en la fase de mantenimiento

	H1	H2	H3
$F_{car}^{man} \text{ €/m}^2$	1,00	1,00	2,48

Para obtener el indicador $Cost_{ep}^{man} \text{ €/m}^2$ durante la fase de mantenimiento se utilizan los siguientes datos:

Valores de referencia en distintas tipologías de edificio*			
	$F_{S,cub}$	$F_{S,fac}$	$F_{S,car}$
Viv. adosada	0,72	0,53	0,17

*Datos a cumplimentar por el proyectista calculando la parte proporcional de superficie de envolvente por metro cuadrado de superficie útil de la vivienda

F_{cubkWh}^{man} = Factor según el tipo de cubierta para los consumos de energía primaria en kWh /m² en la fase de mantenimiento.

	C1	C2	C3
F_{cubkWh}^{man}	1,32	1,32	1,00

F_{fackWh}^{man} = Factor según el tipo de fachada para los consumos de energía primaria en kWh /m² en la fase de mantenimiento.

	F1	F2	F3	F4	F5
F_{fackWh}^{man}	1,0	1,0	1,0	0,9	20,9

$F_{car kWh}^{man}$ = Factor según el tipo de carpintería para los consumos de energía primaria en kWh /m² en la fase de mantenimiento.

	H1	H2	H3
$F_{car kWh}^{man}$	1,0	1,0	1,1

Para obtener el indicador $Cost_{epkWh}^{uso}$ durante la fase uso del edificio vinculado a las soluciones constructivas de la envolvente, se utilizan los siguientes datos:

$F_{Z,kWhcal}^{uso}$ = Factor según la zona climática para los consumos de energía primaria en kWh de las instalaciones de calefacción en la fase uso ,

	B3	E1
$F_{Z,kWhcal}^{uso}$	-90,16	0

$F_{Or,kWhcal}^{uso}$ = Factor según la orientación para los consumos de energía primaria en kWh de las instalaciones de calefacción en la fase uso ,

	NE	SE
$F_{Or,kWhcal}^{uso}$	0,73	0

$F_{cub,kWhcal}^{uso}$ = Factor según el tipo de cubierta para los consumos de energía primaria en kWh de las instalaciones de calefacción en la fase uso ,

	C1	C2	C3
$F_{cub,kWhcal}^{uso}$	1,64	3,62	0

$F_{fac,kWhcal}^{uso}$ = Factor según el tipo de fachada para los consumos de energía primaria en kWh de las instalaciones de calefacción en la fase uso,

	F1	F2	F3	F4	F5
$F_{fac,kWhcal}^{uso}$	14,66	12,9	5,02	12,73	0

$F_{car,kWhcal}^{uso}$ = Factor según el tipo de carpintería para los consumos de energía primaria en kWh de las instalaciones de calefacción en la fase uso

	H1	H2	H3
$F_{car,kWhcal}^{uso}$	1,54	-0,33	0

$F_{Z,kWhref}^{uso}$ = Factor según la zona climática para los consumos de energía primaria en kWh de las instalaciones de refrigeración en la fase uso,

	B3	E1
$F_{Z,kWhref}^{uso}$	18,72	0

$F_{Or,kWhref}^{uso}$ = Factor según la orientación para los consumos de energía primaria en kWh de las instalaciones de refrigeración en la fase uso,

	NE	SE
$F_{Or,kWhref}^{uso}$	-0,11	0

$F_{cub,kWhref}^{uso}$ = Factor según el tipo de cubierta para los consumos de energía primaria en kWh de las instalaciones de refrigeración en la fase uso,

	C1	C2	C3
$F_{cub,kWhref}^{uso}$	0,45	0,38	0

$F_{fac,kWhref}^{uso}$ = Factor según el tipo de fachada para los consumos de energía primaria en kWh de las instalaciones de refrigeración en la fase uso,

	F1	F2	F3	F4	F5
$F_{fac,kWhref}^{uso}$	-5,84	-5,8	-6	-5,54	0

$F_{car,kWhref}^{uso}$ = Factor según el tipo de carpintería para los

Capítulo 7 PROPUESTA DE UN MODELO DE EVALUACIÓN DEL IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DE LA ENVOLVENTE DEL EDIFICIO, A PARTIR DE INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD, EN LA FASE INICIAL DEL DISEÑO

	consumos de energía primaria en kWh de las instalaciones de calefacción en la fase uso,		
	H1	H2	H3
$F_{car,kWh\ ref}^{uso}$	-0,39	-0,29	0

5.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	
Lecturas	Norma internacional de contabilidad para el sector público - NICSP 11. Estudio del Sector de la construcción. Proyecto C20020196. (2002)
Páginas de Internet	www.suelosolar.es http://www.idae.es/ http://www.minetur.gob.es http://www.itec.es http://www.apabcn.cat http://www.ine.es

7.5 Cálculo y valoración de los indicadores de sostenibilidad. Desarrollo de una matriz de decisión

La metodología de cálculo propuesta se apoya en cuatro etapas, que son la obtención de resultados, la comprobación de la validez de los resultados, la normalización de los impactos y la ponderación de los impactos.

7.5.1 Matriz de decisión

Para obtener la matriz de decisión se ha seguido el siguiente procedimiento:

Según se ha dicho, se realiza primero el análisis por separado de cada uno de los indicadores simples, comparando su valor observado con el umbral (o valor límite deseado) y posteriormente los resultados de todos los indicadores suelen expresarse de forma simultánea mediante gráficos. Sin embargo, la interpretación simultánea de los resultados de múltiples indicadores conlleva una dificultad añadida que puede complicar la toma de decisiones, en este caso, la selección de un sistema constructivo que permita mejorar la sostenibilidad.

7.5.2 Obtención de resultados

La obtención de los valores previa a la normalización de los indicadores de sostenibilidad desarrollados para este trabajo se ha plasmado en una matriz Excel que se muestra en la figura 7.2. Con dicha matriz se ha trabajado en la elaboración de las columnas con los cinco indicadores definidos (emisiones de CO₂, consumo de energía, consumo de agua potable, residuos generados (peligrosos y no peligrosos) y costes (de inversión, de mantenimiento y costes energéticos), en las fases de fabricación, puesta en obra, mantenimiento y uso.

La Matriz de cálculo se divide en dos partes:

- La parte de la izquierda de la matriz contiene las columnas de datos en las que el usuario podrá seleccionar las diferentes variables correspondientes a los elementos constructivos, orientación y zona climática. Y una columna para incorporar el coeficiente Fs (Factor de superficie).
- La parte derecha de la matriz contiene las columnas de los resultados. Está subdivida en tres bloques correspondientes a cada una de las fases del ciclo de vida edificio evaluadas: la fase de fabricación subdividida en seis columnas, la fase de mantenimiento subdividida en cuatro columnas y la fase uso subdividida en seis columnas. Cada columna coincide con un impacto en su correspondiente fase. Cada indicador se identifica con un color.

Para adjudicar valores a los indicadores desarrollados, se ha procedido a calcular el valor estimado de los impactos en la matriz de cálculo; estos valores se obtendrán vinculando las fórmulas desarrolladas para cada indicador a la casilla correspondiente de la matriz de cálculo (figura 7.3). Las columnas pertenecientes a un mismo indicador se identifican con el mismo color en las diferentes fases del ciclo de vida. En cada columna se indica el

Capítulo 7 PROPUESTA DE UN MODELO DE EVALUACIÓN DEL IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DE LA ENVOLVENTE DEL EDIFICIO, A PARTIR DE INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD, EN LA FASE INICIAL DEL DISEÑO

nombre del indicador y las unidades correspondientes según el tipo de impacto por m² de superficie útil de vivienda.

La matriz de cálculo se podrá utilizar de la siguiente manera: el diseñador debe seleccionar la tipología de vivienda en la primera columna y a continuación en la segunda columna, indicar el Factor de superficie (Fs) que corresponde a la parte proporcional de superficie de cada elemento de la envolvente por metro cuadrado de superficie útil de su proyecto. Los sistemas constructivos disponibles en este estudio vienen indicados con una letra y un número, identificados adecuadamente en la leyenda adjunta con el correspondiente elemento constructivo. Así mismo, el usuario puede seleccionar la zona climática y la orientación.

Los resultados se obtienen al aplicar el cálculo del indicador correspondiente a partir de las fórmulas obtenidas para cada uno de los indicadores. El usuario puede obtener el valor de los impactos en tiempo real y puede comparar diferentes opciones de diseño.

En la figura 7.3, se muestra la matriz de cálculo con los resultados obtenidos para el caso de estudio. Como puede verse, para 2 soluciones constructivas seleccionadas, los impactos aparecen de forma rápida y fácilmente comparable. El siguiente paso es la normalización.

Capítulo 7 PROPUESTA DE UN MODELO DE EVALUACIÓN DEL IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DE LA ENVOLVENTE DEL EDIFICIO, A PARTIR DE INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD, EN LA FASE INICIAL DEL DISEÑO

7.5.3 Normalización de los indicadores.

Para llevar a cabo la normalización de los indicadores desarrollados en esta tesis se ha empleado la técnica min-max considerando las aproximaciones metodológicas definidas en el apartado 7.1. Esta técnica utiliza, como se ha dicho, los valores mínimo y máximo observados para normalizar linealmente los datos de manera que los valores mínimos y máximos de los indicadores se desplacen a los valores 0 y 1, respectivamente, y todos los demás indicadores adopten valores relativos que varían en el rango adimensional (0, 1).

Las funciones de normalización se han definido en base a que si el indicador tiene mayor valor, significa que el impacto es menor.

En la tabla 7.9 se muestra en la última columna, la obtención del valor normalizado del indicador Emisiones equivalentes de CO₂, en las diferentes fases del ciclo de vida del edificio para diferentes soluciones constructivas de la envolvente, en dos zonas climáticas, en las dos orientaciones analizadas y en tres tipologías de viviendas.

$Em_{eqCO_2}^{fab}$ Emisiones de CO ₂ (kg eq CO ₂ /m ²) por metro cuadrado de superficie útil de la vivienda FASE DE FABRICACIÓN					Normalización del indicador				
TIPOLOGÍA DE EDIFICIO	SOL CONSTRUCTIVA	ZONA CLIMÁTICA	ORIENTACIÓN	VALOR ESTIMADO INDICADOR $Em_{eqCO_2}^{fab}$	V.max	V.min	Xmax-Xmin	Xmax-Xq	Xmax-Xq/Xmax-Xmin
ADOSADO	C2F1H1	B3	NE	263,69	421,17	126,81	294,36	157,49	0,54
	C2F1H1	B3	SE	263,69	421,17	126,81	294,36	157,49	0,54
	C3F3H2	B3	NE	222,75	421,17	126,81	294,36	198,42	0,67
	C3F3H2	B3	SE	222,75	421,17	126,81	294,36	198,42	0,67
	C2F1H1	E1	NE	263,69	421,17	126,81	294,36	157,49	0,54
	C2F1H1	E1	SE	263,69	421,17	126,81	294,36	157,49	0,54
	C3F3H2	E1	NE	222,75	421,17	126,81	294,36	198,42	0,67
BQ. VIVIEN	C3F3H2	E1	SE	222,75	421,17	126,81	294,36	198,42	0,67
	C2F1H1	B3	NE	165,53	421,17	126,81	294,36	255,64	0,87
	C2F1H1	B3	SE	165,53	421,17	126,81	294,36	255,64	0,87
	C3F3H2	B3	NE	126,81	421,17	126,81	294,36	294,36	1,00
	C3F3H2	B3	SE	126,81	421,17	126,81	294,36	294,36	1,00
	C2F1H1	E1	NE	165,53	421,17	126,81	294,36	255,64	0,87
	C2F1H1	E1	SE	165,53	421,17	126,81	294,36	255,64	0,87
UNIFAMILIAR	C3F3H2	E1	NE	126,81	421,17	126,81	294,36	294,36	1,00
	C3F3H2	E1	SE	126,81	421,17	126,81	294,36	294,36	1,00
	C2F1H1	B3	NE	421,17	421,17	126,81	294,36	0,00	0,00
	C2F1H1	B3	SE	421,17	421,17	126,81	294,36	0,00	0,00
	C3F3H2	B3	NE	356,44	421,17	126,81	294,36	64,73	0,22
	C3F3H2	B3	SE	356,44	421,17	126,81	294,36	64,73	0,22
	C2F1H1	E1	NE	421,17	421,17	126,81	294,36	0,00	0,00
C2F1H1	E1	SE	421,17	421,17	126,81	294,36	0,00	0,00	
UNIFAMILIAR	C3F3H2	E1	NE	356,44	421,17	126,81	294,36	64,73	0,22
	C3F3H2	E1	SE	356,44	421,17	126,81	294,36	64,73	0,22

$Em_{eqCO_2}^{man}$ Emisiones de CO ₂ (kg eq CO ₂ /m ²) por metro cuadrado de superficie útil de la vivienda FASE DE MANTENIMIENTO					Normalización del indicador				
TIPOLOGÍA DE EDIFICIO	SOL. CONSTRUCTIVA	ZONA CLIMÁTICA	ORIENTACIÓN	V. ESTIMADO DEL INDICADOR $Em_{eqCO_2}^{man}$	V.max	V.min	Xmax-Xmin	Xmax-Xq	Xmax-Xq/Xmax-Xmin
ADOSADO	C2F1H1	B3	NE	84,51	1825,08	0,30	1824,78	1740,57	0,95
	C2F1H1	B3	SE	84,51	1825,08	0,30	1824,78	1740,57	0,95
	C3F3H2	B3	NE	65,48	1825,08	0,30	1824,78	1759,60	0,96
	C3F3H2	B3	SE	65,48	1825,08	0,30	1824,78	1759,60	0,96
	C2F1H1	E1	NE	84,51	1825,08	0,30	1824,78	1740,57	0,95
	C2F1H1	E1	SE	84,51	1825,08	0,30	1824,78	1740,57	0,95
BQ. VIVIEN	C3F3H2	E1	NE	65,48	1825,08	0,30	1824,78	1759,60	0,96
	C3F3H2	E1	SE	65,48	1825,08	0,30	1824,78	1759,60	0,96
	C2F1H1	B3	NE	38,60	1825,08	0,30	1824,78	1786,48	0,98
	C2F1H1	B3	SE	38,60	1825,08	0,30	1824,78	1786,48	0,98
	C3F3H2	B3	NE	32,52	1825,08	0,30	1824,78	1792,56	0,98
	C3F3H2	B3	SE	32,52	1825,08	0,30	1824,78	1792,56	0,98
UNIFAMILIAR	C2F1H1	E1	NE	38,60	1825,08	0,30	1824,78	1786,48	0,98
	C2F1H1	E1	SE	38,60	1825,08	0,30	1824,78	1786,48	0,98
	C3F3H2	E1	NE	32,52	1825,08	0,30	1824,78	1792,56	0,98
	C3F3H2	E1	SE	32,52	1825,08	0,30	1824,78	1792,56	0,98
	C2F1H1	B3	NE	127,63	1825,08	0,30	1824,78	1697,45	0,93
	C2F1H1	B3	SE	127,63	1825,08	0,30	1824,78	1697,45	0,93
	C3F3H2	B3	NE	101,19	1825,08	0,30	1824,78	1723,89	0,94
	C3F3H2	B3	SE	101,19	1825,08	0,30	1824,78	1723,89	0,94
	C2F1H1	E1	NE	127,63	1825,08	0,30	1824,78	1697,45	0,93
	C2F1H1	E1	SE	127,63	1825,08	0,30	1824,78	1697,45	0,93
	C3F3H2	E1	NE	101,19	1825,08	0,30	1824,78	1723,89	0,94
	C3F3H2	E1	SE	101,19	1825,08	0,30	1824,78	1723,89	0,94

$Em_{eqCO_2}^{uso}$ Emisiones de CO ₂ (kg eq CO ₂ /m ²) de las instalaciones de calefacción por metro cuadrado de superficie útil de la vivienda FASE DE USO					Normalización del indicador				
TIPOLOGÍA DE EDIFICIO	SOL. CONSTRUCTIVA	ZONA CLIMÁTICA	ORIENTACIÓN	V. ESTIMADO DEL INDICADOR $Em_{eqCO_2}^{uso}$	V.max	V.min	Xmax-Xmin	Xmax-Xq	Xmax-Xq/Xmax-Xmin
ADOSADO	C2F1H1	B3	NE	459,00	1825,08	320,50	1504,58	1366,08	0,91
	C2F1H1	B3	SE	459,00	1825,08	320,50	1504,58	1366,08	0,91
	C3F3H2	B3	NE	320,50	1825,08	320,50	1504,58	1504,58	1,00
	C3F3H2	B3	SE	320,50	1825,08	320,50	1504,58	1504,58	1,00
	C2F1H1	E1	NE	1362,00	1825,08	320,50	1504,58	463,08	0,31
	C2F1H1	E1	SE	1362,00	1825,08	320,50	1504,58	463,08	0,31
BQ. VIVIEN	C3F3H2	E1	NE	1223,50	1825,08	320,50	1504,58	601,58	0,40
	C3F3H2	E1	SE	1223,50	1825,08	320,50	1504,58	601,58	0,40
	C2F1H1	B3	NE	541,62	1825,08	320,50	1504,58	1283,46	0,85
	C2F1H1	B3	SE	541,62	1825,08	320,50	1504,58	1283,46	0,85
	C3F3H2	B3	NE	378,19	1825,08	320,50	1504,58	1446,89	0,96
	C3F3H2	B3	SE	378,19	1825,08	320,50	1504,58	1446,89	0,96
UNIFAMILIAR	C2F1H1	E1	NE	1825,08	1825,08	320,50	1504,58	0,00	0,00
	C2F1H1	E1	SE	1825,08	1825,08	320,50	1504,58	0,00	0,00
	C3F3H2	E1	NE	1639,49	1825,08	320,50	1504,58	185,59	0,12
	C3F3H2	E1	SE	1639,49	1825,08	320,50	1504,58	185,59	0,12
	C2F1H1	B3	NE	601,29	1825,08	320,50	1504,58	1223,79	0,81
	C2F1H1	B3	SE	601,29	1825,08	320,50	1504,58	1223,79	0,81
	C3F3H2	B3	NE	419,86	1825,08	320,50	1504,58	1405,23	0,93
	C3F3H2	B3	SE	419,86	1825,08	320,50	1504,58	1405,23	0,93
	C2F1H1	E1	NE	1770,60	1825,08	320,50	1504,58	54,48	0,04
	C2F1H1	E1	SE	1770,60	1825,08	320,50	1504,58	54,48	0,04
	C3F3H2	E1	NE	1590,55	1825,08	320,50	1504,58	234,53	0,16
	C3F3H2	E1	SE	1590,55	1825,08	320,50	1504,58	234,53	0,16

Em_{eq,CO_2}^{uso} Emisiones de CO ₂ (kg eq CO ₂ /m ²) de las instalaciones de refrigeración por metro cuadrado de superficie útil de la vivienda FASE DE USO					Normalización del indicador					
TIPOLOGÍA DE EDIFICIO	SOL CONSTRUCTIVA	ZONA CLIMÁTICA	ORIENTACIÓN	V. ESTIMADO DEL INDICADOR Em_{eq,CO_2}^{uso}	V..max	V..min	Xmax-Xmin	Xmax-Xq	Xmax-Xq/Xmax-Xmin	
ADOSADO	C2F1H1	B3	NE	240,50	367,97	0,30	367,67	127,47	0,35	
	C2F1H1	B3	SE	240,00	367,97	0,30	367,67	127,97	0,35	
	C3F3H2	B3	NE	236,50	367,97	0,30	367,67	131,47	0,36	
	C3F3H2	B3	SE	236,00	367,97	0,30	367,67	131,97	0,36	
	C2F1H1	E1	NE	7,50	367,97	0,30	367,67	360,47	0,98	
	C2F1H1	E1	SE	7,00	367,97	0,30	367,67	360,97	0,98	
	C3F3H2	E1	NE	3,50	367,97	0,30	367,67	364,47	0,99	
	C3F3H2	E1	SE	3,00	367,97	0,30	367,67	364,97	0,99	
	BQ. VIVIEN	C2F1H1	B3	NE	165,95	367,97	0,30	367,67	202,02	0,55
		C2F1H1	B3	SE	165,60	367,97	0,30	367,67	202,37	0,55
		C3F3H2	B3	NE	163,19	367,97	0,30	367,67	204,78	0,56
		C3F3H2	B3	SE	162,84	367,97	0,30	367,67	205,13	0,56
C2F1H1		E1	NE	0,75	367,97	0,30	367,67	367,22	1,00	
C2F1H1		E1	SE	0,70	367,97	0,30	367,67	367,27	1,00	
C3F3H2		E1	NE	0,35	367,97	0,30	367,67	367,62	1,00	
C3F3H2		E1	SE	0,30	367,97	0,30	367,67	367,67	1,00	
UNIFAMILIAR		C2F1H1	B3	NE	367,97	367,97	0,30	367,67	0,00	0,00
		C2F1H1	B3	SE	367,20	367,97	0,30	367,67	0,76	0,00
		C3F3H2	B3	NE	361,85	367,97	0,30	367,67	6,12	0,02
		C3F3H2	B3	SE	361,08	367,97	0,30	367,67	6,89	0,02
	C2F1H1	E1	NE	5,03	367,97	0,30	367,67	362,94	0,99	
	C2F1H1	E1	SE	4,69	367,97	0,30	367,67	363,28	0,99	
	C3F3H2	E1	NE	2,35	367,97	0,30	367,67	365,62	0,99	
	C3F3H2	E1	SE	2,01	367,97	0,30	367,67	365,96	1,00	

Tabla 7.9 Normalización del indicador emisiones equivalentes de CO₂ en cada fase del ciclo de vida

Como ya se he mencionado anteriormente, tras la normalización, todos los indicadores se vuelven adimensionales, tomando valores en el intervalo [0,1]. Un valor del indicador normalizado próximo a la unidad refleja que se cumple el objetivo definido para la consecución de la sostenibilidad (Aguado et al., 2008).

El valor normalizado de cada indicador se vinculará a la casilla correspondiente de la matriz de normalización. En la figura 7.4 se muestra la matriz de normalización con los resultados obtenidos tras la normalización de todos los impactos del caso de estudio.

La **matriz de normalización** tendrá la misma estructura de filas y columnas que la matriz de cálculo, (figura 7.4). En esta matriz, los indicadores adquieren valores normalizado adimensionales, para cada indicador que van de 0 a 1, indicando 0 el peor resultado y 1 el mejor según; por lo tanto ya no aparecen las unidades y las columnas conservan el mismo color que en la matriz de cálculo.

El código de colores es el mismo en las tres matrices, matriz de cálculo, matriz de normalización y matriz de decisión. El color azul claro corresponde a las emisiones equivalentes de CO₂, el color rojo corresponde al consumo energético, el color azul oscuro representa el consumo de agua, el color verde corresponde a los residuos generados y el naranja representa los costes correspondientes; en cada casilla, se aplicará la fórmula utilizada para ponderar y normalizar los valores obtenidos tras la homogeneización.

Los resultados también pueden obtenerse en forma de gráfico. Así por ejemplo, en la figura 7.6, se muestra el valor ponderado de los indicadores analizados para la tipología constructiva de vivienda adosada con 2 envolventes distintas. El primer gráfico corresponde a la evaluación de los impactos de la combinación C2F1H1 de la envolvente, en la orientación Noreste, en la zona climática B3 y el segundo gráfico correspondiente a la evaluación de los impactos de la combinación C2F3H2, en la orientación Noreste, en la zona climática B3; considerando en ambos casos el periodo de vida completo del edificio. Como puede verse, la combinación C2F1H1 es mejor que la C3F3H2 en consumo de agua. En costes y residuos generados es bastante mejor la C3F3H2- El consumo energético y las emisiones de CO₂ son bastante parecidos, aunque algo mejor es la C3F3H2.

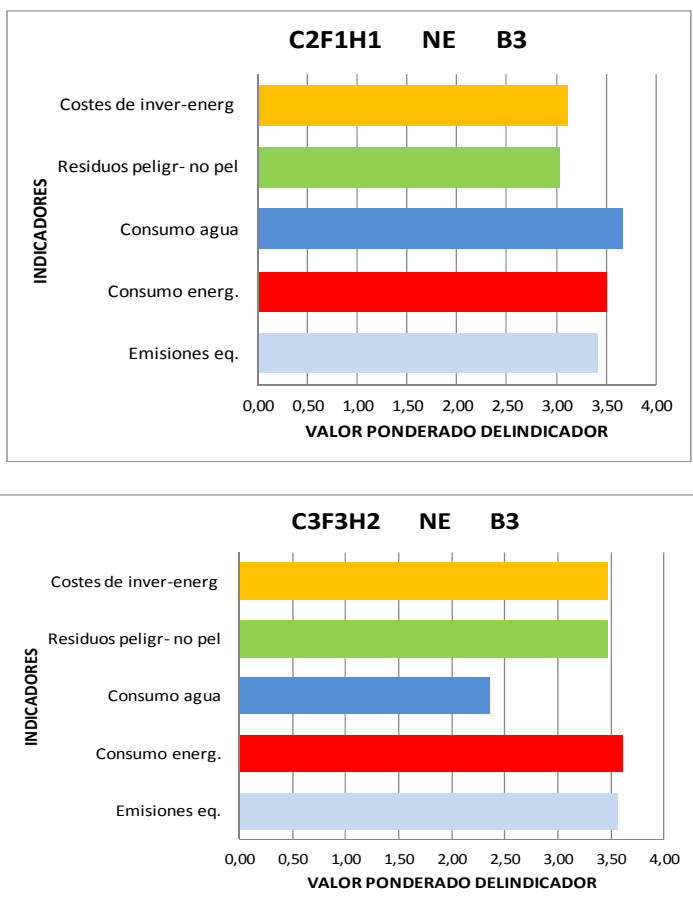


Figura 7.6 Comparación mediante gráficos del comportamiento ambiental de dos soluciones constructivas, orientación NE zona B3

7.6 Comprobación de resultados en otras tipologías.

Para llevar a cabo la comprobación del funcionamiento de la matriz de cálculo, matriz de normalización y matriz de decisión en otras tipologías constructivas se han utilizado las tres tipologías de uso residencial que se han descrito en el capítulo 6, es decir, la vivienda unifamiliar adosada utilizada como caso de estudio, el bloque de viviendas entre medianeras, de planta baja más seis altas, con dos viviendas por planta con un total de doce viviendas y la vivienda unifamiliar aislada de una sola planta.

A continuación se han seleccionado las combinaciones de la envolvente con mejor y peor comportamiento medioambiental en cada caso. La peor es la C2F1H1 (cubierta plana ventilada, fachada de fábrica caravista, aislamiento 5cm y carpintería de aluminio) y la mejor es la C3F3H2 (cubierta plana invertida, fachada de fábrica enfoscada, aislamiento 10cm y carpintería de PVC). En total, 2 combinaciones de la envolvente, en 3 tipologías, en 1 orientación y en 1 zona climática, es decir 6 opciones.

Seguidamente, se han calculado los valores estimados de los indicadores desarrollados en esta tesis, para las seis opciones descritas, utilizando la matriz de cálculo (figura 7.7).

Capítulo 7 PROPUESTA DE UN MODELO DE EVALUACIÓN DEL IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DE LA ENVOLVENTE DEL EDIFICIO, A PARTIR DE INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD, EN LA FASE INICIAL DEL DISEÑO

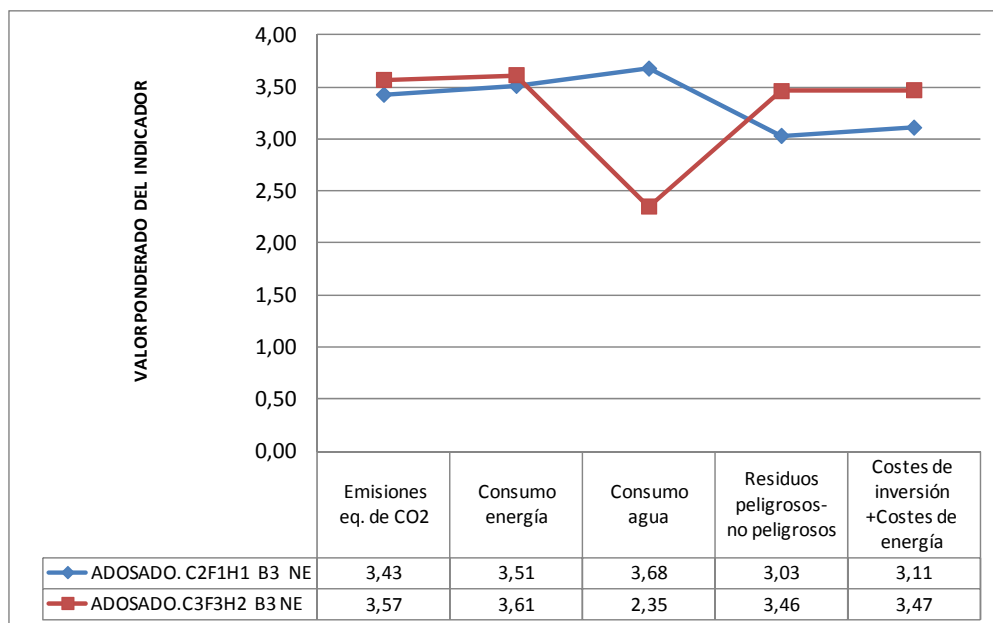


Figura 7.10 Comparación del comportamiento ambiental de la combinación C2F1H1 y de la combinación C3F3H2 en la zona climática B3 orientación NE de la vivienda adosada

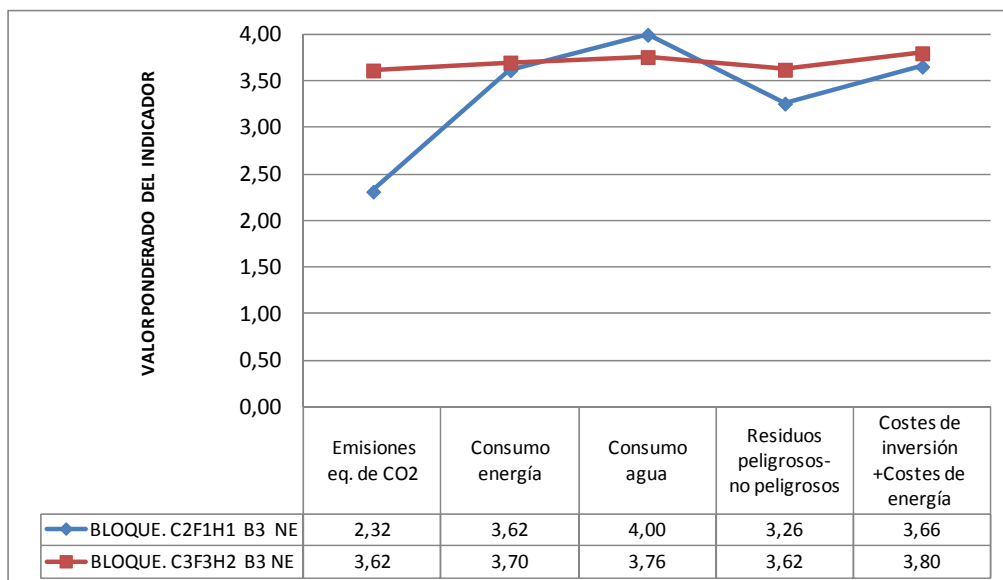


Figura 7.11 Comparación del comportamiento ambiental de la combinación C2F1H1 y de la combinación C3F3H2 en la zona climática B3 orientación NE del bloque de viviendas

Capítulo 7 PROPUESTA DE UN MODELO DE EVALUACIÓN DEL IMPACTO MEDIOAMBIENTAL DE LA ENVOLVENTE DEL EDIFICIO, A PARTIR DE INDICADORES DE SOSTENIBILIDAD, EN LA FASE INICIAL DEL DISEÑO

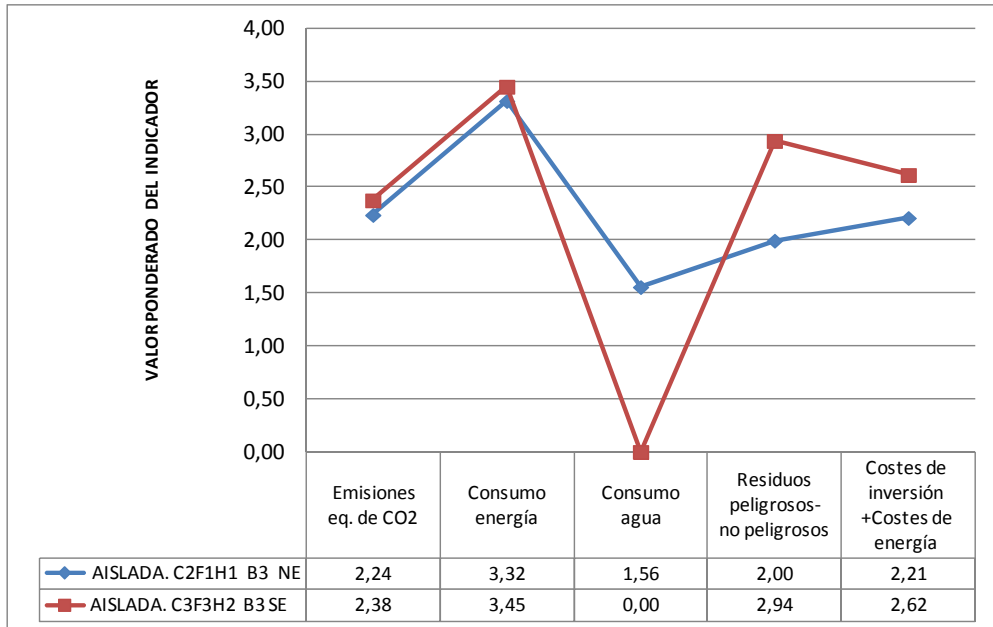


Figura 7.12 Comparación del comportamiento ambiental de la combinación C2F1H1 y de la combinación C3F3H2 en la zona climática B3 orientación NE de la vivienda aislada.

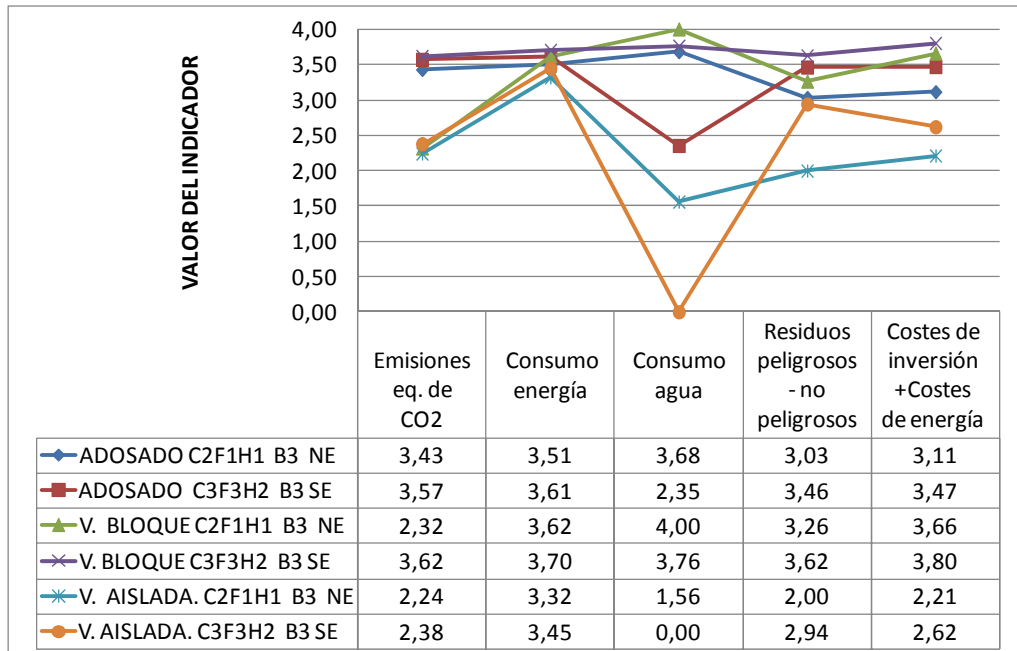


Figura 7.13 Comparación del valor ponderado de los indicadores de dos soluciones constructivas de la envolvente en diferentes tipologías de uso residencial

Los resultados obtenidos se pueden utilizar para comparar el comportamiento medioambiental de las diferentes tipologías entre sí. La figura 7.13 muestra que cada una de las tres tipologías analizadas se comporta de manera diferente, así por ejemplo,

la vivienda unifamiliar aislada representada por las líneas color naranja y azul claro tiene peor puntuación en todos los indicadores que la vivienda adosada representada por las líneas color rojo y azul oscuro y que el bloque de viviendas representado por las líneas color verde y lila.

La vivienda adosada tiene una puntuación semejante a la del bloque para las emisiones de CO₂ si se adopta la solución constructiva C3F3H2; sin embargo, en el caso del bloque de viviendas la solución constructiva C2F1H1 tiene una puntuación peor.

7.7 Aplicación del modelo

A partir de los resultados obtenidos, se observa que las tres matrices descritas en el apartado 7.5, la matriz de cálculo, la matriz de normalización y la matriz de decisión pueden tener una gran utilidad para apoyar al diseñador en la toma de decisiones. Las posibles aplicaciones del modelo desarrollado son:

-La matriz de cálculo permite al proyectista conocer el valor de los impactos estimados de cada una de las posibles combinaciones seleccionando una u otra opción en la matriz. Así pues, el proyectista puede obtener de forma aproximada el valor total de los impactos del edificio, vinculados a la envolvente durante el ciclo de vida completo. Estos valores mantienen una proporcionalidad con los valores reales de los impactos.

-La matriz de normalización permite al proyectista disponer del valor normalizado de cada impacto en las diferentes fases del ciclo de vida. Los resultados obtenidos en esta matriz son valores adimensionales entre 0 y 1 que resultan fácilmente comparables. El código de colores facilita la identificación de los indicadores. La simplificación de los valores homogeneizados permite al proyectista comparar el peso de un determinado impacto en las diferentes fases del ciclo de vida o comparar el peso de un determinado impacto en diferentes soluciones constructivas. Así mismo, el proyectista puede comparar los costes de inversión con los costes de la energía consumida al final del ciclo de vida y también puede obtener el ahorro que representa la elección de una determinada combinación respecto de otra tanto en términos de inversión como en términos de ahorro energético.

-La matriz de decisión permite obtener una puntuación global por indicador e incluso una puntuación global del comportamiento medioambiental de cada combinación constructiva evaluada; este valor puede ser utilizado en los catálogos de soluciones constructivas considerando el rango de 0 a 4. La puntuación obtenida puede servir, si se establece un límite, para exigir el cumplimiento de un valor mínimo para poder utilizar una determinada combinación en una zona climática o en una orientación. Así por ejemplo se podría establecer el valor mínimo “2”, sabiendo que es el valor medio del rango establecido como valor mínimo a alcanzar por cada indicador.

Capítulo 8. CONCLUSIONES

8.1 Conclusiones acerca de las herramientas de asistencia al diseñador

- Como respuesta a la pregunta de investigación de si existen herramientas basadas en la metodología del ACV, aplicables al sector de la edificación, que sirvan de apoyo a los diseñadores en la selección de soluciones constructivas que permitan reducir el impacto medioambiental de los edificios, se han obtenido las siguientes conclusiones:

En esta tesis se han clasificado las herramientas de ACV, que se han clasificado en herramientas genéricas de ACV, bases de datos de productos de la construcción, herramientas específicas para el ACV en edificación, y herramientas para la certificación de la sostenibilidad de edificios. De entre las herramientas encontradas, son las específicas para el ACV en edificación las que más pueden servir de ayuda a los proyectistas. Sin embargo, todas las herramientas analizadas presentan limitaciones. Un importante hándicap es que ninguna de estas herramientas es de aplicación en otro país que en el generado, ya que el nivel de impacto ambiental causado por los materiales y soluciones constructivas puede variar en función del territorio, debido a la ubicación geográfica de la obtención de las materias primas y de los centros de transformación con relación a la situación del edificio que se ha de construir.

Para disponer de una herramienta rigurosa que permita catalogar o baremar las diferentes soluciones constructivas a partir de los análisis de ciclo de vida es necesario, en primer lugar, llegar a un acuerdo sobre una metodología con rigor científico que permita unívocamente aplicar la metodología de análisis de ciclo de vida a los sistemas constructivos (como ya se ha hecho para los productos de construcción a través del sistema de DAP), utilizando indicadores de sostenibilidad reconocidos, para ponderar los resultados y poder generar bases de datos de materiales y de soluciones constructivas con una valoración rigurosa.

- Como respuesta a la segunda pregunta de investigación, ¿Qué funcionalidades debe tener una herramienta de asistencia en la selección de soluciones constructivas en España para una edificación sostenible?

El estudio de las herramientas seleccionadas y catalogadas en esta tesis ha servido para analizar las características más relevantes de cada una de ellas y establecer un listado de las funcionalidades de mayor interés considerando el objetivo de ayudar al diseñador en la selección de materiales y de sistemas constructivos, aportando información sobre los impactos ambientales de las soluciones constructivas en fase de diseño para poder adoptar soluciones preventivas.

Las herramientas clasificadas en el tercer nivel ofrecen, en mayor o menor medida, la posibilidad de evaluar en la fase inicial del diseño, los impactos medioambientales mayoritariamente aceptados, para saber qué materiales o qué soluciones constructivas son responsables de un mal comportamiento medio ambiental y poder sustituir un material por otro o de seleccionar una solución óptima sin tener que modificar el diseño una vez realizado.

Así mismo, la información obtenida a partir de estas herramientas, puede ser incluida en las bases de datos de la construcción y catálogos de elementos constructivos incluyendo criterios económico-ambientales.

Otro aspecto clave es la posibilidad de que la herramienta pueda calcular los valores estimados de los impactos mediante indicadores. La obtención de puntuaciones mediante indicadores permite comparar resultados sobre una base de unidad funcional o acreditar el cumplimiento de requisitos medioambientales de cara a la obtención de licencias, subvenciones etc. También pueden servir para verificar el cumplimiento de los objetivos medioambientales que se planteen.

Algunas de estas herramientas permiten realizar una valoración económica de los costos medioambientales.

También se ha tenido en cuenta la opinión de los expertos sobre ciertos aspectos no contemplados por la mayoría de las herramientas analizadas y que sin embargo pudieran ser cuestiones de interés general, tales como la posibilidad de considerar los consumos de agua o la posibilidad de contener información por defecto de la fase de mantenimiento y de la fase uso y mantenimiento.

A partir del estudio realizado se han establecido las funcionalidades de mayor interés de las que se derivan las directrices que se enuncian a continuación:

- Que sirva para la evaluación en la fase inicial del diseño de materiales de construcción, sistemas constructivos y edificios.
- Que esté basada en el ACV completo, desde la extracción de recursos, fabricación, puesta en obra, mantenimiento, y uso.
- Que considere las emisiones de CO₂ en todas las fases del ciclo de vida del edificio.
- Que considere los consumos energéticos en todas fases del ciclo de vida achacables a la envolvente.
- Que tenga en cuenta los consumos de agua.
- Que pueda calcular los costes ambientales durante toda la vida útil del edificio.
- Que cuente con bases de datos de energía, de combustibles, de materiales, de productos de construcción, de soluciones constructivas y de edificios completos, ampliables y compatibles con el formato SPOLD.
- Que tenga en cuenta la ubicación geográfica, la zona climática, la orientación, etc.
- Que permita seleccionar datos relativos al uso, a la tipología y a la geometría del edificio.
- Que permita calcular el coste económico de la edificación en base a las soluciones ambientales seleccionadas.

- Que permita especificar los impactos a evaluar y obtener los resultados de la evaluación de cada impacto por separado.
- Que valore los impactos utilizando indicadores medioambientales.
- Que cuente con un sistema de valoración de resultados mediante puntuaciones que se puedan cuantificar sobre la base de unidad funcional.
- Que muestre los impactos ambientales pormenorizadamente en función de diferentes opciones de diseño (materiales, productos, soluciones constructivas o edificios completos), para conocer la contribución de cada objeto de la evaluación a los impactos ambientales del edificio.
- Que realice la evaluación de los impactos en tiempo real, para comparar entre diferentes opciones en fases tempranas del diseño y poder elegir entre una u otra.
- Que ofrezca resultados en forma numérica o en forma gráfica.
- Que pueda importar datos de CAD.
- Que sirva para verificar el cumplimiento de exigencias medioambientales para la obtención de licencias, permisos, subvenciones, etc.
- Que lleve asociada una base de datos que permita realizar conjuntamente las mediciones y presupuestos del proyecto.
- Que sea intuitiva y fácil de usar por un proyectista.

8.2 Conclusiones acerca de la selección de indicadores para evaluar la sostenibilidad de los edificios

- Como respuesta a la pregunta de ¿Cuáles deben ser los indicadores adecuados para evaluar la sostenibilidad de los edificios?

Considerando las conclusiones expuestas en el apartado 4.6 del capítulo los indicadores que se consideran más adecuados son los siguientes:

- El potencial del calentamiento global o emisiones equivalentes de CO₂ en todas las fases del ciclo de vida. Unidad de medida: (kg equivalentes CO₂/m²)
- El consumo de energía primaria durante todas las fases del ciclo de vida. Unidad de medida: Mega Joules (MJ) o (kWh /m²).
- Consumo de agua en fases de fabricación y puesta en obra. Unidad de medida m³/m²
- Volumen de residuos generados peligrosos y no peligrosos en fase de fabricación y puesta en obra. Unidad de medida kg/m²
- Coste de inversión. Unidad de medida €/m².
- Coste de mantenimiento. Unidad de medida €/m².
- Coste energético o valoración económica de la energía consumida durante todas las fases del ciclo de vida. Unidad de medida €/m².

8.3 Conclusiones acerca del ACV para evaluar la sostenibilidad en edificación

Como respuesta a la pregunta de **si es aplicable el ACV como metodología de evaluación medioambiental en edificios**, se pueden establecer las siguientes conclusiones:

El ACV **sí** es aplicable como metodología de evaluación medioambiental en edificios, si bien hay que tener en cuenta las siguientes limitaciones:

En primer lugar resulta evidente la dificultad que representa el empleo de esta metodología en edificios por el tiempo que requiere su desarrollo respecto de los plazos de realización del proyecto y la elevada inversión económica que representaría su aplicación. Por otra parte, la información relativa a los inventarios de impactos ambientales en el ACV precisa un elevado nivel de información sobre materiales y procesos, que puede no estar disponible para un amplio espectro de situaciones.

En segundo lugar, es muy difícil asignar valores de impacto medioambiental a los edificios dado que la edificación es un proceso que se desarrolla fundamentalmente “in situ”, con una casuística diferente en cada caso. Aún a pesar de que se pueden clasificar los edificios en función de su uso, tipología, características constructivas, etc., el número de variables que intervienen hace compleja su estandarización; una determinada solución constructiva podría resultar o no beneficiosa desde el punto de vista medioambiental dependiendo de la orientación del edificio o de la zona climática. Se podría decir que cada edificio precisa de un nuevo ACV, a diferencia de cualquier otro producto de fabricación industrial en el que una vez realizado el ACV, el valor obtenido puede formar parte de una base de datos estandarizada y reutilizable.

En tercer lugar, es necesario combinar dos escenarios diferentes, es decir, los impactos generados durante la fase de fabricación y puesta en obra dependen fundamentalmente de los materiales, mientras que los impactos generados durante la fase de uso dependen de las instalaciones de climatización; ahora bien, resulta evidente que existe una vinculación directa entre la demanda energética del edificio durante la fase uso y las soluciones constructivas adoptadas para la envolvente por lo que en la aplicación del ACV se tienen que considerar ambos escenarios.

En cuarto lugar, es difícil conocer en qué proporción, un determinado componente repercute negativamente en el comportamiento medioambiental de una solución constructiva por lo que sería necesario considerar por separado los impactos ambientales generados por cada componente de una solución constructiva durante la fase de fabricación, y comprobar de qué manera ese mismo componente influye en los impactos generados durante la fase uso en un periodo de vida determinado. Así por ejemplo, una solución de fachada ventilada puede implicar un elevado impacto ambiental en la fase de fabricación debido al impacto del metal utilizado en los sistemas de anclaje; pero esta misma solución-

de fachada podría resultar beneficiosa desde el punto de vista medioambiental, debido al ahorro energético durante la fase uso.

8.4 Conclusiones acerca de la definición de una metodología basada en el ACV para evaluar el comportamiento medioambiental de los edificios mediante el uso de indicadores de sostenibilidad

- Como respuesta a la pregunta de investigación de si se podría establecer una metodología basada en el ACV, para evaluar el comportamiento medioambiental de los edificios apoyándose en el uso de indicadores de sostenibilidad se han obtenido las siguientes conclusiones:

Se ha demostrado que sí que es posible establecer una metodología basada en el ACV, aplicando un modelo de evaluación mediante unos indicadores ambientales, siguiendo los pasos que se indican a continuación:

- En primer lugar se seleccionan los indicadores ambientales a desarrollar y las fases del ciclo de vida del edificio en las que cada indicador tiene una incidencia considerable.
- Para el desarrollo de los indicadores es necesario contar previamente con suficientes datos sobre el comportamiento medioambiental de cada solución constructiva. Estos datos se obtienen aplicando un ACV simplificado a un caso de estudio utilizando como variables de partida, las diferentes combinaciones de las soluciones constructivas a evaluar, las zonas climáticas y las orientaciones del edificio; manteniendo fijos el resto de los parámetros necesarios para el cálculo. Todos los valores se calculan sobre 1 m² de superficie útil, considerando un periodo de vida de 50 años. La herramienta TCQ2000 y su módulo de gestión ambiental TCQ GMA, se utilizan para evaluar los impactos en las fases de fabricación, puesta en obra y mantenimiento de los materiales y las herramientas LIDER y CALENER VYP, se emplean para evaluar los impactos de derivados de las instalaciones durante la fase de uso.
- Se analizan 45 combinaciones de elementos constructivos de la envolvente en 2 zonas climáticas y en 2 orientaciones, en total 180 casos, y todos los resultados se organizan en formato Excel.
- Los resultados obtenidos al comparar múltiples opciones de la envolvente sirven para diseñar un modelo basado en un sistema de regresión múltiple. Para ello se definen las fórmulas de los indicadores previamente seleccionados, según la metodología descrita en el capítulo 7. Seguidamente se calcula el valor estimado de los impactos utilizando las fórmulas

- desarrolladas y posteriormente se comprueba la validez de los resultados analizando el error relativo y el error absoluto cometido en cada caso.
- Las formulas definidas sirven para fabricar los indicadores de sostenibilidad que permitirán evaluar el comportamiento medioambiental de los edificios apoyándose en el uso de indicadores.
 - Finalmente se ha comprobado la validez del modelo en otras tipologías.
 - A partir del valor obtenido para cada uno de los indicadores en las diferentes fases del ciclo de vida del edificio; el diseñador puede conocer en tiempo real el valor estimado de los impactos ambientales de cada solución constructiva en la fase inicial del diseño. Estos valores se muestran en la matriz de cálculo.
 - A continuación, se procede a la normalización de los resultados. Tras la normalización, los indicadores se vuelven adimensionales, adquiriendo valores, que van de 0 a 1, indicando 0 el peor resultado y 1 el mejor según. Todos estos valores se muestran en la matriz de normalización.
 - Finalmente se procede a la ponderación de los indicadores tal y como se ha propuesto en el apartado 7.4.4 para obtener un valor único, comprendido entre 0 y 4 para cada uno de los cinco indicadores, considerados globalmente en todo el ciclo de vida. Estos resultados se representan en una nueva matriz a la que se ha llamado matriz de decisión porque permite comparar diferentes opciones de diseño facilitando, por tanto, la toma de decisiones.

8.5 Conclusiones acerca de las fases a considerar en la evaluación ambiental de la envolvente

- A la pregunta de ¿Qué fases del ciclo de vida deben tenerse en cuenta para la obtención de los impactos derivados de la envolvente de los edificios?, se ha obtenido la siguiente respuesta:

Las fases del ciclo de vida que deben tenerse en cuenta son:

- La fase de fabricación y puesta en obra
- La fase de mantenimiento
- La fase uso

Los resultados obtenidos han permitido establecer en qué proporción se podrían considerar los impactos de la fase de producción y fabricación respecto de los impactos producidos durante la fase uso. A medida que aumentamos el periodo de vida considerado, los impactos generados durante la fase mantenimiento y uso, adquieren mayor relevancia.

Las emisiones de CO₂ producidas durante la fase de fabricación y puesta en obra representan aproximadamente un 29% respecto de las emisiones de CO₂ en un periodo de 50 años. Y los consumos energéticos generados durante la fase de fabricación y puesta en obra representan aproximadamente un 18% respecto de los consumos energéticos generados en un periodo de 50 años.

Los impactos se han obtenido en función de la proporción de cada material que integra cada solución constructiva lo que permite al diseñador aportar este dato para el cálculo y obtener múltiples resultados en función de su diseño.

Toda la información obtenida es cuantificable y ha permitido obtener datos estadísticos para la construcción de los indicadores.

Del análisis de estos resultados se pueden extraer conclusiones o datos vinculados a la fabricación y puesta en obra de las soluciones constructivas analizadas, combinables con datos sobre los impactos ambientales de las instalaciones del edificio.

8.6 Conclusiones acerca del modelo desarrollado para evaluar la sostenibilidad de la envolvente basado en el uso de indicadores

- Como respuesta a las preguntas de si se puede desarrollar un modelo basado en el uso de indicadores para evaluar la sostenibilidad de las soluciones constructivas de la envolvente de los edificios y de si es de utilidad este modelo para contribuir al desarrollo de una herramienta de apoyo al diseñador en la selección de soluciones constructivas en la fase inicial del diseño que garanticen un buen comportamiento medioambiental.

Se han obtenido las siguientes conclusiones:

Se ha desarrollado un conjunto de indicadores que permite evaluar el impacto ambiental y se ha comprobado que los indicadores obtenidos son aplicables a diferentes tipologías constructivas; así pues, el diseñador puede obtener, en la fase inicial de su diseño, los datos correspondientes al comportamiento medioambiental de una determinada solución constructiva de la envolvente y comparar los resultados de una solución constructiva respecto de otra.

No obstante, para poder seleccionar adecuadamente una solución constructiva, idónea desde el punto de vista medioambiental; el diseñador debería contar antes de iniciar su diseño con datos del comportamiento de todas las soluciones existentes: este estudio se ha limitado a evaluar tres cubiertas, cinco fachadas y tres carpinterías, de cuya combinación se han obtenido 45 soluciones constructivas.

Así mismo, sería necesario disponer de datos de todas las zonas climáticas, en todas las orientaciones posibles: El estudio se ha realizado en dos zonas climáticas considerando dos orientaciones en cada una de ellas. En total se ha trabajado con 180 combinaciones; por lo que los datos obtenidos son insuficientes para disponer de una información ambiental cuantificable.

La principal contribución de esa tesis es, precisamente, el desarrollo del modelo de evaluación de los sistemas constructivos de la envolvente para facilitar información sobre los impactos ambientales producidos por distintos materiales y soluciones constructivas, permitiendo la comparación de diferentes opciones en fases muy

tempranas del diseño, ofreciendo los resultados en tiempo real y permitiendo seleccionar diferentes soluciones constructivas.

El modelo desarrollado ha tenido en cuenta las funcionalidades consideradas de interés en esta tesis. A continuación se describen las principales características del modelo desarrollado:

- El modelo desarrollado no solo calcula los impactos ambientales relacionados con los materiales durante la fase de fabricación y puesta en obra, sino que también calcula los impactos ambientales relacionados con las emisiones de CO₂ y con el consumo de energía durante la fase de uso del edificio debidos a las instalaciones de climatización, vinculados a la envolvente.
- La información puede ser obtenida con valores estimados que se aproximan a los impactos reales: en forma numérica o mediante gráficos.
- Otra característica a destacar es la posibilidad de valorar económicamente el coste del edificio durante el ciclo de vida. Así mismo, el usuario puede comparar los costes de inversión con los costes de la energía consumida al final del ciclo de vida y establecer el coste que representa la elección de una determinada combinación respecto de otra tanto en términos de inversión como en términos de ahorro energético.
- El modelo incorpora información sobre el impacto producido por el consumo de agua producido durante la fase de fabricación y puesta en obra del edificio.
- Se han tenido en cuenta los impactos de la fase de mantenimiento aportando información sobre la vida útil y la reposición de determinados materiales.
- Se han tenido en cuenta los condicionantes externos que afectarán a las emisiones y consumos durante la fase uso del edificio, considerando la orientación y la zona climática.
- El modelo ofrece un sistema de valoración de resultados mediante puntuaciones que se pueden cuantificar sobre la base de unidad funcional. Los valores homogeneizados permiten al usuario comparar el peso de un determinado impacto en las diferentes fases del ciclo de vida o comparar el peso de un determinado impacto en diferentes soluciones constructivas.
- Toda la información obtenida puede ser integrada en las bases de datos de la construcción y catálogos de elementos constructivos incluyendo criterios económico-ambientales.

El modelo se ha aplicado a un caso de estudio. Así por ejemplo, comparando los resultados estimados obtenidos utilizando el indicador emisiones equivalentes de CO₂, en la zona climática B3, orientación NE, se han puesto de manifiesto las siguientes conclusiones:

- Se observa que la diferencia entre la combinación de la envolvente con peor comportamiento medioambiental integrada por la cubierta ventilada, la fachada convencional de ladrillo caravista con un aislamiento de 5 cm de espesor y la carpintería de aluminio C2F1H1 (1047,70 kg CO₂/m²) y la combinación con mejor comportamiento medioambiental integrada por la cubierta invertida, la

fachada convencional enfoscada con un aislamiento de 10 cm de espesor y la carpintería de PVC C3F3H2 (823,73 kg CO₂/m²), durante 50 años es de 223,97 kg CO₂/m², es decir un 21,28 % menos de emisiones según la combinación elegida.

- En la comprobación de la validez del modelo se observa que los errores cometidos varían en función de cada fase. Así pues, en la fase de fabricación y puesta en obra, el error relativo cometido, en términos porcentuales, no supera el 0,21%, además, el signo negativo de todos los valores confirma que el error se produce siempre en el mismo sentido.
- En la fase de mantenimiento, el error relativo cometido, en términos porcentuales, se mueve entre valores del 3,34% y 4,11%, además, el signo positivo de todos los valores confirma que el error se produce siempre en el mismo sentido, por lo que se considera dentro de valores admisibles.
- En la fase uso, el error relativo cometido en el indicador Emisiones Equivalentes de CO₂ debido a la calefacción, en términos porcentuales, se mueve entre valores aceptables del 3,1 al 13,3%; así mismo el error relativo de una determinada solución constructiva mantiene el mismo signo y es semejante en todas las tipologías; por lo que se considera que los valores estimados aportados por el indicador pueden ser aceptables.
- En esta misma de fase uso, el error relativo cometido en el indicador Emisiones Equivalentes de CO₂ debidas a las emisiones de la refrigeración, se mueve entre valores aceptables del 0,21 al 10,3%, ahora bien, este indicador no puede ser comprobado en algunos de los resultados puesto que los valores reales del impacto son insignificantes y esto dispara el valor relativo del indicador en términos porcentuales. Una posible alternativa sería considerar el valor de las emisiones en la fase uso de forma global, es decir, considerar las emisiones de calefacción y de refrigeración como un solo indicador; de manera que se compensen los resultados.

Si se comparan los resultados estimados obtenidos utilizando el indicador consumos de energía primaria, en la zona climática B3, orientación NE, se han puesto de manifiesto las siguientes conclusiones:

- Se observa que la diferencia entre la combinación de la envolvente con peor comportamiento medioambiental integrada por la cubierta ventilada, la fachada convencional de ladrillo caravista con un aislamiento de 5 cm de espesor y la carpintería de aluminio (4.103,01 kWh) y la combinación con mejor comportamiento medioambiental integrada por la cubierta invertida, la fachada convencional enfoscada con un aislamiento de 10 cm de espesor y la carpintería de PVC C3F3H2 (3.237,07 kWh), durante 50 años es de 865,94 kWh, es decir un 21,10% menos de consumos según la combinación elegida. Considerando la vivienda completa, la diferencia entre la elección de una solución constructiva de la envolvente respecto de otra es de 80965,39 kWh .

Capítulo 8 CONCLUSIONES

- En la comprobación de la validez del modelo se observa que los errores cometidos varían en función de cada fase. Así pues en la fase de fabricación y puesta en obra, el error relativo cometido, en términos porcentuales, no supera el 0,07%, además, el error relativo de una determinada solución constructiva mantiene el mismo signo y es semejante en todas las tipologías, por lo que se considera dentro de valores admisibles.
- En la fase de mantenimiento, el error relativo cometido, en términos porcentuales, se mueve entre valores del 0,38% y 0,48%, además, el signo negativo de todos los valores confirma que el error se produce siempre en el mismo sentido. Por lo que se considera dentro de valores admisibles.
- En la fase uso, el error relativo cometido en el indicador Consumo de energía primaria debido a la calefacción, en términos porcentuales, se mueve entre valores aceptables del 3,85 al 11,84%; así mismo, el error relativo de una determinada solución constructiva mantiene el mismo signo y es semejante en todas las tipologías; por lo que se considera que los valores estimados aportados por el indicador pueden ser aceptables.
- En esta misma de fase uso, el error relativo cometido en el indicador Consumo de energía primaria debidos a las emisiones de la refrigeración, se mueve entre valores aceptables del 6,10 al 9,24 %; ahora bien, este indicador no puede ser comprobado en algunos de los resultados puesto que los valores reales del impacto son insignificantes y esto dispara el valor relativo del indicador en términos porcentuales. En ese caso, se podría dudar de la validez del indicador. Una posible alternativa sería considerar el valor de los consumos de energía primaria en la fase uso de forma global; de manera que se compensen los resultados.

Si se comparan los resultados estimados obtenidos en los indicadores consumo de agua, residuos generados y costes de amortización respecto de los resultados reales, se observa que el error cometido en estos indicadores es insignificante ya que los resultados prácticamente coinciden.

Se ha comprobado que el modelo desarrollado es aplicable en las tres tipologías analizadas y que el valor ponderado de los indicadores se mantiene proporcional a los resultados obtenidos en la matriz de normalización y en la matriz de cálculo. Así pues, el diseñador puede conocer el valor estimado de los impactos en las diferentes fases del ciclo de vida, de diferentes alternativas de la envolvente en las tres tipologías. Así mismo, puede comparar la incidencia de un determinado impacto en cada fase del ciclo de vida utilizando la matriz de normalización y finalmente puede obtener una puntuación para cada indicador ponderada en base al comportamiento medioambiental de la solución constructiva seleccionada.

El diseñador, puede por tanto, ir comprobando y comparando en tiempo real, el comportamiento medioambiental de diferentes combinaciones antes de decidirse por una determinada solución constructiva.

Como conclusión final, se podría decir que el modelo desarrollado puede facilitar la labor del proyectista mediante la caracterización, comparación y selección de

alternativas no solo a nivel de materiales, sino también a un nivel intermedio entre el material y el edificio, combinando diferentes materiales que formen parte de una solución constructiva.

8.7 Futuras líneas de investigación

Respecto de las líneas de investigación que pueden desarrollarse en el futuro basadas en esta tesis, se podrían diferenciar las líneas fundamentadas en la selección de los indicadores necesarios para valorar adecuadamente la sostenibilidad y las líneas basadas en el desarrollo y aplicación de la metodología para la obtención de indicadores:

Como se ha dicho, la evaluación de la sostenibilidad debe realizarse de acuerdo con las tres dimensiones del desarrollo sostenible: los indicadores pueden enfocarse directamente hacia impactos medioambientales, sociales y económicos o hacia cuestiones que tengan consecuencias directas en estos impactos. Esta tesis se ha centrado en la evaluación de la sostenibilidad a través de los indicadores medioambientales.

- Algunas de las posibles futuras líneas de investigación relativas a **la selección y utilización de nuevos indicadores** de sostenibilidad son:

La primera línea de investigación trata sobre la selección de indicadores medioambientales. Es probable que los criterios de selección de los indicadores sean discutibles. Precisamente en el análisis de las diferentes herramientas existentes, se ha visto cómo en algunos países daban especial importancia a aspectos relacionados con la salud humana que en nuestro caso no han sido tenidos en cuenta.

Tampoco se ha considerado la inclusión de los indicadores pertenecientes al grupo de los Modelos Sistémicos (la huella ecológica y la mochila ecológica) basados en la idea de que se puede evaluar la sostenibilidad en términos de la superficie necesaria de los ecosistemas para producir servicios para una persona o un país; sin embargo algunos autores han contado en términos territoriales el consumo directo de energía y el contenido energético de los artículos de consumo, incorporando a sus cálculos el área necesaria de bosque, para absorber las emisiones típicas de los combustibles fósiles; lo que podría tener aplicación en la envolvente de los edificios.

En cualquier caso una de las líneas de investigación que se propone es la relacionada con los aspectos relacionados con la inclusión de nuevos indicadores como la salud humana o la huella ecológica, en relación con las soluciones constructivas de la envolvente.

2ª La segunda línea de investigación, versa sobre los indicadores económicos. Aunque se han considerado algunos aspectos relacionados con los costes de inversión y con los costes de mantenimiento de las soluciones constructivas, para llevar a cabo una adecuada evaluación de la sostenibilidad considerando indicadores económicos

se deberán tener en cuenta todos los costes que desde un punto de vista de construcción tienen importancia en la vida útil del edificio, incluidos los criterios de plazo y calidad. Así, se considera el coste de la inversión inicial de los proyectos, tasas y licencias, el coste de los materiales, el coste de la ejecución física de la construcción. Durante la fase uso del edificio, los costes a considerar que afectan a las soluciones constructivas de la envolvente, deberán incorporar los costes de mantenimiento y los costes de la energía. Todos estos costes deberán calcularse para diferentes opciones según las distintas soluciones estudiadas, permitiendo una comparación entre ellas. Con estos valores se pueden obtener los costes medios de inversión por metro cuadrado para cada medida adoptada para mejorar la envolvente o para mejorar la eficiencia de las instalaciones o para modificar el suministro de energía.

La tercera línea de investigación trata sobre los indicadores sociales. Se ha visto que la dimensión social de la sostenibilidad en la construcción está relacionada con los impactos causados en los sistemas sociales en los que actúa, es decir, con las condiciones de vida y grado de aceptación de la tecnología.

Debido a la complejidad de este tema; esta tesis no se ha ocupado de valorar la sostenibilidad de la envolvente utilizando indicadores sociales, aunque se considera que se trata de un interesante campo de investigación y que una valoración adecuada de las soluciones de la envolvente debería de incorporar aspectos sociales vinculados al confort de los ocupantes y a otras cuestiones como la estética de las soluciones adoptadas. En este sentido se podría hablar de indicadores de hechos cuando estos intentan mostrar la condición de un fenómeno social o de sus cambios en el tiempo (por ejemplo, el interés que muestran los usuarios por el uso de la fachada ventilada). Los indicadores de hechos pueden variar según los gustos, las actitudes y las normas de las personas. Así por ejemplo, el nivel de satisfacción con el confort de las viviendas puede disminuir a mayor exigencia.

Respecto de las líneas de investigación basadas en el desarrollo y aplicación de la metodología para la obtención y cálculo de los indicadores.

La cuarta línea sería la ampliación y mejora de bases de datos españolas para la evaluación de la sostenibilidad, incorporando información ambiental sobre la energía, los materiales, y los sistemas constructivos.

Para conocer el comportamiento ambiental durante la fase de fabricación y puesta en obra, parece lógico contar con la información que aportan bases de datos como la del BEDEC, debido a su adaptación a las características y procesos específicos del sector de la edificación en España. El programa da información sobre el peso de los materiales sin tener en cuenta los sobrantes de los procesos de extracción y fabricación. Por otra parte, en cuanto a los impactos, la base de datos del BEDEC únicamente dispone de datos relacionados con el calentamiento global, consumos de energía primaria y emisiones de CO₂, consumo de agua, generación de residuos y costes de inversión durante la fase uso. Se considera que para completar la aplicabilidad de la base de datos, ésta debería incorporar valores relativos a los demás impactos considerados de interés tales como el Potencial de calentamiento de la capa

de ozono, el Potencial de acidificación, el Potencial de eutrofización y la Ecotoxicidad.

La quinta línea de investigación abarcaría la ampliación de la evaluación de nuevas soluciones constructivas, de todas las zonas climáticas y de todas las orientaciones para completar, como se ha planteado en los objetivos de la tesis, los catálogos de soluciones constructivas con información medioambiental. En esta tesis se han analizado tres cubiertas, cinco fachadas y tres carpinterías que han dado lugar a 45 posibles combinaciones. Se han estudiado dos zonas climáticas y dos orientaciones; con lo que el número total de combinaciones evaluadas ha sido 180. Es evidente que resulta necesario disponer muchos más datos para ayudar a la toma de decisiones.

La sexta línea de investigación sería la posible conversión de los datos expresados en m^2 de superficie útil del edificio a m^2 de superficie construida.

Normalmente, las herramientas de simulación energética miden los impactos de la fase uso por m^2 de superficie útil; sin embargo las herramientas que evalúan el impacto debido a los materiales suelen expresar sus resultados por m^2 de superficie construida. En esta tesis se han expresado todos los resultados por m^2 de superficie útil para poder comparar ambos escenarios; pero se considera de interés profundizar en la influencia del impacto de cada elemento constructivo en la fase uso y poder obtener un coeficiente de relación entre los resultados por m^2 de superficie útil y los resultados por m^2 de superficie construida.

En este sentido se han iniciado las comprobaciones de cómo afecta la cantidad de superficie de cubierta o la cantidad de superficie de fachada y de cómo afecta la proporción de huecos que debe tener la fachada en función de la zona climática o de la orientación.

La séptima línea de investigación consiste en la valoración de los impactos durante la fase de mantenimiento. En nuestro estudio únicamente se han tenido en cuenta los impactos generados debido al mantenimiento corrector, considerando los impactos generados por la fabricación y sustitución de los elementos que tendrán que ser sustituidos a lo largo de la vida útil del edificio. Sin embargo, se considera de interés continuar investigando sobre los impactos que podría generar el mantenimiento preventivo de la envolvente y en tal caso, incorporar los datos de los indicadores correspondientes; por ejemplo, el consumo de agua que requiere la limpieza de determinadas soluciones constructivas como la fachada ligera.

Por último, podría investigarse sobre la aplicación de la metodología desarrollada en el campo de la rehabilitación y mejora de la eficiencia energética de los edificios existentes, incorporando información ambiental respecto de los sistemas constructivos tradicionales, así como información del comportamiento ambiental de los sistemas constructivos a utilizar en la rehabilitación de los edificios para poder apoyar al proyectista en la selección de soluciones constructivas que garanticen un buen comportamiento medioambiental de los edificios rehabilitados.

BIBLIOGRAFÍA

AA VV: “La gestión del agua”, Revista O.P. del Colegio de Ingenieros en caminos, canales y puertos N° 50, volumen I; Madrid 2000.

Acosta, D., Cilento, A. (2005) “Edificaciones sostenibles. Estrategias de investigación y desarrollo”. *Tecnología y Construcción* 21(1): 15-30.

Adriaanse, A. (1993) “Environmental Policy Performance Indicators, General of Environment of the Dutch Ministry of Housing”. VROM, The Hague, The Netherlands.

Aenor (2006^a) Norma UNE-EN ISO 14040:2006, Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Principios y marco de referencia, AENOR, 2006.

Aenor (2006^b) Norma UNE-EN ISO 14044:2006, Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Requisitos y directrices, AENOR, 2006.

Aguirre Royuela, M. A. (2002) “Los sistemas de indicadores ambientales y su papel en la información e integración del medio ambiente”. I Congreso de Ingeniería Civil, Territorio y Medio Ambiente. Vol. II, pp. 1231-1256. Madrid, 12-15 de febrero de 2002.

Alejo, M.L. (2004) Tesis para obtener el grado de Doctor en Ingeniería y Tecnología. “Estudio de la presencia de metales pesados en peces en el Lago de Chapala”, Universidad de Guadalajara. Director de Tesis, Dr. Gómez Reyna José Antonio. Guadalajara, Jalisco, pp. 105-113.

Ali, H., Al Nsairat, S. (2009) “Developing a green building assessment tool for developing countries – Case of Jordan”. *Building and Environment*, 44 (5): 1053-1064.

Alías, H., Jacobo, G. (2008) “Construcción sostenible. Materiales de construcción energética y ambientalmente eficientes en el nordeste de Argentina”. *Ciudades para un futuro más sostenible. Boletín CF+S 35*. Instituto Juan de Herrera. Madrid ISSN: 1578-097X. Marzo 2008.

Alonso, C., Oteiza, I., García, J. (2010) “Criterios para la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero en el proyecto de fachadas de edificios de Viviendas”. II Congreso Nacional Investigación en Edificación. ISBN: 978-84-2844-693-8. Madrid 2010.

Alonso, L., Bedoya, C., Lauret, B., Alono, F. (2013). Sistema F²TE³. Libro de actas del Workshop on Environmental Impact of Buildings WEIB 2013. Escuela Técnica Superior de Edificación, UPM, Madrid.

ANNEX 31, International Energy Agency (2010) from the World Wide Web: <http://www.uni-weimar.de/scc/PRO/survey.html>.

Amestoy, J. (2000) “Consideraciones en torno al impacto ambiental de las fuentes de energía”. *Lurralde inves.esp* 23 pp 75-91. ISSN 1697-3070. Murcia 2002.

Arce Ruiz, R. M., García de Durango, J. y Palomino Monzón, C. (2006) “Propuesta de indicadores para la sostenibilidad de las infraestructuras”. *Actas del III Congreso Internacional de Ingeniería Civil, Territorio y Medio Ambiente. “Agua, Biodiversidad e Ingeniería”*. Ed.: Colegio de Ingenieros de Caminos, C.P. Zaragoza, octubre 2006.

BIBLIOGRAFÍA

Arenas Cabello, F. (2007) “El Impacto ambiental en la edificación. Criterios para una construcción Sostenible”. Edisofer S.L. ISBN 978-84-96261-36-5. Madrid.

Argüello, T. y Cuchí, A., (2008) “Análisis del impacto ambiental asociado a los materiales de Construcción empleados en las viviendas de bajo coste del programa 10 x10 Con Techo-Chiapas del CYTED”. Informes de la Construcción. Vol. 60, 509, 25-34, ISSN: 0020-0883 eISSN: 1988-3234. Enero-marzo 2008

Athena Institute (2010a) LCA model. Retrieved June 16, 2010 from the World Wide Web: <http://www.athenasmi.ca>. 2010.

Athena Institute (2010b) ATHENA Estimator. Retrieved June 16, 2010 from the World Wide Web: <http://www.athenasmi.ca> 2010.

Babé Ruano, Manuel (1986) “Mantenimiento y Reconstrucción de Edificios”. Ministerio de Educación Superior, Ed. MES. La Habana, Cuba 1986.

Bakkes J. A., van den Born G., Helder J., Swart R., Hope C., Parker J., (1994). “An Overview of Environmental Indicators: State of the Art and Perspectives”. Environment Assesment Technical Reports, RIVM in co-operation with The University of Cambridge and UNEP-RIVM/ 402001001. Environmental Assessment Subprogramme; UNEP, Nairobi (Kenia).

Baño, A., Vigil-Esclera, A., (2005) “Guía de construcción sostenible”. Instituto Sindical de Trabajo, Ambiente y Salud (ISTAS). Depósito Legal: M-51636-2005. Madrid, noviembre 2005.

Barquín, J. (2004) “Energía: técnica, economía y sociedad”. Universidad Pontificia de Comillas, 294 p. ISBN 84-8468-8134-3. Madrid 2004.

Barba-Romero, S. y Pomerol, J.C. (1997) “Decisiones multicriterio. Fundamentos teóricos y utilización práctica”. Alcalá de Henares, Servicio de publicaciones de la Universidad de Alcalá. P 420. Alcalá de Henares, (Madrid).

Bell, S. y Morse, S. (2008) “Sustainability Indicators: Measuring the Immeasurable?” 228 p. ISBN 978-1-84407-299-6. Earthscan, (London).

Blessing, L.T.M, Chakrabarti, A. (2009) DRM: a Design Research Methodology. Springer-Verlag (London).

Blessing, L.T.M., Chakrabarti, A., Wallace, K.M. (1992) Some Issues in Engineering Design Research, Open University / S.E.R.C. “Design Methods” Workshop, The Open University, London 18 November 1992.

Braat, L (1991) “The predictive meaning of sustainability indicators”, in Kuik, O and Verbruggen, H , In Search of Indicators of Sustainable Development, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 57-70. Kluwer Academic Publishers. Dordrecht (Holland).

Brundtland, G. (1987) “Our common future”. Report of the World Commission on Environment and Development. Transmitted to the General Assembly as an Annex to document A/42/427 Development and International Co-operation: Environment, 1987.

Casado Martínez, N. (1996) “Edificios de alta calidad ambiental”. Ibérica, Alta Tecnología ISSN 0211-0776.

Cáceres, D. (2006a) “Sostenibilidad como concepto situado. Un marco conceptual para la construcción de indicadores”. Desarrollo Rural y Cooperativismo Agrario 8: 165–178.

BIBLIOGRAFÍA

Cáceres, D. (2006b). “Indicadores de sostenibilidad para el monitoreo de sistemas campesinos de Argentina Central”. *Desarrollo Rural y Cooperativismo Agrario* 8: 179–196.

CALENER VYP “Aplicación Informática” ed: Ministerio de Vivienda, IDAE.

Campos, G. (2013). “Por qué EnergyPlus nunca debería ser alternativo a LIDER y CALENER”. www.ecoeficiente.es 2013.

Capuz, S., Gómez, T., Vivancos, J., Viñoles, R., Ferrer, P., López, R., Bastante, M. (2002) *Ecodiseño Ingeniería del ciclo de vida para el desarrollo de productos sostenibles*. Editorial de la UPV. Valencia.

Casanovas, X. (2009) *Ponencia marco Sostenibilidad y medio ambiente*. Barcelona..

Castro Bonaño, J.M. (2009) “Indicadores de Desarrollo Sostenible Urbano. Una Aplicación para Andalucía”, Edición electrónica gratuita. Texto completo en www.eumed.net/tesis/jmc. ISBN-13: 978-84-692-3975-9.

Castro-Lacouture, D., Sefair, J., Flórez, L., Medaglia, A. (2009) “Optimization model for the selection of materials using a LEED green building rating system.” *Building and Environment*, Vol. 44 No. 6 , pp. 1162-1170. 2009.

Cebrián-Tarrasón, D. Garraín, A. París, R. Vidal (2009) *ACV Libro*. “La utilización del ELCD en la Fase de Diseño”. XIII Congreso de Ingeniería de Proyectos (AEIPRO). Badajoz, julio 2009.

CÍCLOPE, “Análisis del Impacto Ambiental de los Edificios a lo largo de su Ciclo de Vida en términos cuantificables de Consumo Energético y Emisiones de GEI asociados”, expediente PSS-380000-2009-24, Proyecto Singular Estratégico del Programa Nacional de Cooperación Público-Privada, en el marco del Plan Nacional de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica, 2008-2011.

Catálogo de elementos constructivos del CTE (2010). Redacción: Instituto Eduardo Torroja de ciencias de la construcción con la colaboración de CEPCO y AICIA. Versión preliminar. Marzo 2010.

Cole, R. J., Howard, N., Ikaga, T., Nibel, S. (2005) “Building Environmental Assessment Tools: Current and Future Roles”. *Proceedings of the 2005 World Sustainable Building Conference*. Tokyo, 27-29 septiembre 2005.

COM (2005) Comunicación de la Comisión al Consejo, al Parlamento Europeo y al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones. Estrategia temática sobre el uso sostenible de los recursos naturales. Diciembre 2005.

Guía Básica de criterios de sostenibilidad en las promociones de vivienda con protección pública (2006). Consellería de Rerritori i Habitatge de la Generalitat Valenciana.

Guía de Indicadores Medioambientales para la Empresa (2009). Departamento de medio ambiente, planificación territorial, agricultura y pesca de Gobierno Vasco.

Craighill, A., Powell, J. (1996) “Lifecycle assessment and economic evaluation of recycling. A case study.” *Resources, Conservation and Recycling* vol 17, pp. 75-96.

CSD (2007): *CSD indicators of sustainable development*. 3rd edition . Fact Sheet. <http://www.un.org/esa/sustdev/natlinfo/indicators/factsheet.pdf> 2007.

BIBLIOGRAFÍA

Cuchí A., Castelló D., Díez G., Sagrera A. (2003) “Parámetros de Sostenibilidad”. ITeC. ISBN 84-7853-455-5. Barcelona 2003.

Cuchí A., (2005) *Arquitectura i Sostenibilitat*. Edicions UPC. ISBN 84-8301-839-X Edicions UPC, Barcelona 2005.

De Camino, R. y Muller, S., (1993). *Sostenibilidad de la agricultura y los Recursos Naturales. Bases para establecer indicadores IICA - GTZ, serie documentos de programas N° 38 - 133 p.*

Directiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2002, relativa a la eficiencia energética de los edificios.

Dumanski, J., Eswaran, H., Latham M. (1991). Una propuesta para un marco internacional para la evaluación de la gestión sostenible de la tierra. En: *Evaluación para la Gestión Sostenible de la Tierra en el Mundo en Desarrollo*, Vol. 2, 1991.

ECCE, (2005) “Evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del cambio climático”. Informe final Proyecto ECCE. Ministerio de Medio ambiente. España 2005.

EcoEffect (2010) Retrieved June 16, 2010 from the World Wide Web: <http://www.ecoeffect.se>.

EEA (2007) *EMEP/CORINAIR Emission Inventory Guidebook - 2007*, Copenhagen, European Environment Agency. <http://www.eea.europa.eu/publications/EMEPCORINAIR5>. Febrero 2013.

Eldridge, C. “Lcaid™ Software. Measuring Environmental Performance of Buildings”. NSW Department of Public Works and Services, Sydney, Australia 2002.

Elmawgoud, M., (2007) “Life-Cycle assessment tools for maintenance management and resource conservation”. *Univ. Environ.* Vol 10 N° 1.

Ego, dossier Técnico (2007) *Un Proyecto del CIMA (Científicos por el Medio Ambiente)*.

Espi, J. Seijas, E. “El análisis del ciclo de vida aplicado a los materiales de Construcción: El granito de la Comunidad de Madrid”. Plan Director de la Minería de la Comunidad de Madrid.

Elle, M., Dammann, S., Lentsch, J., Hansen, K. (2010) “Learning from the social construction of environmental indicators: From the retrospective to the proactive use of SCOT in technology development”. *Building and Environment* 45: 135-142. 2010.

Endesa. Informe anual de sostenibilidad. Editorial Endesapublicaciones. Madrid 2012.

ENSLIC BUILDING (2010) “Directrices para el ACV simplificado de edificios”. *Energy Saving through Promotion of Life Cycle Assessment in Buildings* (versión en español), pp.51.

ENSLIC-KTH-WP3-100331-Rev1-Guidelines Swedish. Directrices para los cálculos de ACV. Texto original By KTH en Inglés, traducido por CIRCE. Guidelines Spanish. Marzo 2010.

EPA, (1995) *A Conceptual Framework to Support the Development and Use of Environmental Information for Decision-Making*, Environmental Statistics and Information Division, Office of Policy, Planning and Evaluation, EPA 230-R-95-012.

BIBLIOGRAFÍA

Esin T. (2007) "A study regarding the environmental impact analysis of building materials production process (in Turkey)". *Building and Environment* 42: 3860-3871.

Erlandsson, M., Borg, M., (2003) "Generic LCA-methodology applicable for buildings, constructions and operation services- today practice and development needs". *Building and Environment* 38: pp. 919-938.

Esteban, F. (2002) "La estrategia española de desarrollo sostenible. Un proyecto de futuro en marcha". I Congreso de Ingeniería Civil, Territorio y Medio Ambiente, Vol. I, p. 5-21, Madrid febrero 2002.

Estrategia Española de Desarrollo Sostenible (2007) Ministerio de la Presidencia (Madrid) NIPO: 000-07-041-5.

FAO (1995) *Planning for sustainable use of land resources: toward a new approach*. ISBN 92-5-303975-2. Roma (Italia) 1995.

Fernandez, G. (2010) "Propuesta de modelo para la evaluación de la sostenibilidad en la Dirección integrada de proyectos de Ingeniería Civil". Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid.

Fernández, E., García, M., Villarroya, F., Montero, J. (2005) "Propuesta de un sistema de indicadores medioambientales para la evaluación de impacto ambiental y seguimiento de actividades de regeneración hídrica mediante recarga artificial de acuíferos (primera parte: estado-presión)". *Tecnoligi@ y Desarrollo Volumen III*, ISSN: 1696-8085. Villanueva de la Cañada (Madrid).

Ferrer, I. (2007) "Contribución metodológica en técnicas de diseñar para fabricación". Universidad de Girona (Girona).

Fowler, K., Rauch, E. (2006) "Sustainable Building Rating Systems Summary". Completed by the Pacific Northwest National Laboratory for the U.S. Department of Energy, U.S.

Forsberg, A., Malmberg, F., (2004) "Tools for environmental assessment of the built environment". *Building and Environment*, Vol. 39 No. 2 (2004), pp. 223-228. doi: 10.1016/j.buildenv.2003.09.004.

Gallopin, G.C. (1997). "Indicators and their use: Information for Decision-making. Part One-Introduction"; pp.13-27 en: Moldan, B. and S. Bilharz (Eds.) "Sustainability Indicators. A Report on the Project on Indicators of Sustainable Development". *SCOPE* 58. pp. 13-27. Wiley, Chichester 1997.

Gallopin, G. (2006): "Los Indicadores de Desarrollo Sostenible: Aspectos Conceptuales y Metodológicos", ponencia realizada para el Seminario de Expertos sobre Indicadores de Sostenibilidad en la Formulación y Seguimiento de Políticas. Chile.

García, A., Ainchil, J. (2009) "Métodos de comparación de efectos ambientales en el sector de la Construcción". Cumbre del Desarrollo Sostenible. CONAMA 9. Madrid, julio 2009.

Gaviño Novillo, J. M., Sarandón, R., (2001) "El uso de indicadores ambientales y de intervención en la gestión ambiental", *Actas del V Seminario Ingeniería y Ambiente: Indicadores ambientales*, Documentos del Departamento de Hidráulica, H.Doc. Nº 3, Universidad Nacional de La Plata, La Plata (Argentina).

González, M.J., (2004) "El papel de los materiales de construcción en la arquitectura sostenible". *Actas de las III Jornadas abulenses de energías*

renovables y medio ambiente. Taller de arquitectura de bajo impacto ambiental. Ávila, febrero 2004.

Gonzalez, M.J., García, J., (2006) "Assessment of the decrease of CO₂ emissions in the construction field through the selection of materials: Practical case study of three houses of low environmental impact." *Building and Environment* 41(7), pp. 902-909.

Gonzalez, R., (2005) "Vida útil ponderada de edificaciones". Costa Rica 2005

Gonzalo G, Ledesma S, Nota V, Martinez C, Cisterna S, Quiñónez G, Márquez G, Tortonese, A., Garay, A. (2000) "Determinación y análisis de los requerimientos energéticos para el acondicionamiento térmico de un prototipo de vivienda ubicada en San Miguel de Tucumán". *Revista Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente* Vol. 4. pp. 05.19-05.24. ISSN 0329-5184. Ed. Milor. Salta, (Argentina) 2000.

Haapio, A., Viitaniemi, P. "A critical review of building environmental assessment tools". *Environmental Impact Assessment Review*, Vol. 28 No. 7, pp. 469-482. doi: 10.1016/j.eiar.2008.01.002.

Hammond, G. P., Craig I. J., 2006. "Inventory of Carbon and Energy (ICE)", Sustainable Energy Research Team (SERT), University of Bath, 2006. Retrieved from the World Wide Web on 10 June 2010 from: <http://www.bath.ac.uk/mech-eng/sert/embodied/>

Hernandez-Sanchez, J.M. "Consumo energético y emisiones asociadas del sector residencial". *International Congress on Project Engineering*. "15th International Congress on Project Engineering". Huesca: Asociación Española de Ingeniería de Proyectos, 2012.

Hernández Moreno, Silverio et al. (2011) "Aplicación de la información de la vida útil en la planeación y diseño de proyectos de edificación". *Acta Universitaria*, vol. 21, núm. 2, mayo-agosto, 2011, pp. 37-42. Universidad de Guanajuato. México

Howarth, G., Hadfield, M., (2006) "A sustainable product design model". *Materials and Design*, Vol. 27 No. 10, pp. 1128-1133. doi: 10.1016/j.matdes.2005.03.016.

Huedo, P., (2009) "Directrices para el desarrollo de una herramienta de asistencia en la selección de soluciones constructivas para una edificación sostenible". Trabajo de investigación de tercer ciclo. Universidad Jaume I. Castellón 2009.

Huedo, P., Lopez-Mesa, B. (2011) "Revisión de herramientas de asistencia en la selección de soluciones constructivas" *Informes de la Construcción* Vol. 65, 529, pp. 77-88, ISSN 0020-0883/2013.

ICARO (2003) "100 Materiales Sostenibles", Colegio Territorial de Arquitectura de Valencia.

IEA (2010) ANNEX 31, International Energy Agency. Retrieved June 16, 2010 from the World Wide Web: <http://www.uni-weimar.de/scc/PRO/survey.html>.

IHOBE (2009) "Análisis de ciclo de vida y huella de carbono dos maneras de medir el impacto ambiental de un producto". Sociedad pública de gestión ambiental del Gobierno Vasco.

Instituto Austríaco de Normalización, (2001) Catálogo de rendimiento térmico de los materiales y elementos constructivos.

INHEM. (1992). “Agua y Salud”, Editorial Ciencias Medicas. Instituto Nacional de Higiene Epidemiología y microbiología. La Habana, Cuba, pp 20-59.

Indicators of Sustainable Development (2001) Guidelines and Methodologies United Nations. New York, 2007. United Nations publication. Institut Cerdà Guía de la Edificación Sostenible. Barcelona.

ITeC (2006) Guía general de buenas prácticas ambientales para el Jefe de Obra. Servicio Editorial del ITeC.

Jönsson, A. (2000) “Tools and methods for environmental assessment of building products- methodological analysis of six selected approaches”. *Building and Environment* 35: 223-238.

Jornadas sobre el futuro de la energía: 28-29 de octubre 2003. Madrid: Real Academia de Ingeniería, 2004. ISBN 84-9566-227-2.

Kammerbauer, J. (2001). Las dimensiones de la sostenibilidad: fundamentos ecológicos, modelos paradigmáticos y senderos”. *Interciencia*, 26(8): 353-359. ISSN 0378-1844.

Kellenberger, D., Althaus, H. (2009) “Relevance of simplifications in LCA of building components”. *Building and Environment* 44, pp. 818-825.

Kohler, N., Wagnwe, A., Luetzkendorf, T., König, H., (2005) “Life Cycle assessment of passive buildings with LEGEP- a LCA-tool from Germany”. *World Sustainable Building Conference, Tokyo, 27-29 September 2005*.

Kuik, O., Verbruggen, H. (1991). *In Search of Indicators of Sustainable Development*. Klurwer Academic Publishers, Dordrecht.

Li, X. Zhu, Y., Zhang, S. (2010) “An LCA-based environmental impact assessment model for construction process”. *Building and Environment* 45: pp.766-775.

LIDER “aplicación informática”, ed: Ministerio de Vivienda, IDAE.

Ljungberg L. (2007) Materials selection and design for development of sustainable products. *Materials and Design* 28: 466-479.

Lippiatt, B., Boyles, A. “Using Bees to select Cost-Effective Green Products”, *International Journal of LCA*, Vol. 6 No. 2 (2001), pp. 76 – 80.

Loría González, Roberto: ¿Qué alarga la vida útil de una edificación?. *Revista Construcción*. No. 81. Cámara Costarricense de la Construcción. <http://www.construccion.co.cr/revista/081/42.tecnologia.htm>.

Lippiatt, B., Boyles, A. (2001) “Using Bees to select Cost-Effective Green Products”. National Institute of Standards and Technology, 100 Bureau Drive, Stop 8603, Gaithersburg, MD 20899-8603 USA.

López-Mesa, B., Gallego, T., Mulet, E., Pitarch, A., Tomás, A. (2007) “Exploring the need for an evaluation model to assist in the eco-efficient selection of building systems”. *Proceedings of the 16th International Conference on Engineering Design 2007 (ICED07)*. París, 28-31 agosto de 2007.

López-Mesa, B., Pitarch, A., Tomás, A., Gallego, T. (2009) “Comparison of environmental impacts of buildings structures with in situ cast floors and with precast concrete floors”. *Building and Environment* 44: 699-712.

Lundin, M., Molander, S. and Morrison, G., (2002) “Indicators for the development of sustainable water and wastewater systems”. *Sustainable development research conference, Manchester, UK*.

BIBLIOGRAFÍA

Macías, M., García Navarro, J. (2010) “Metodología y herramienta VERDE para la evaluación de la sostenibilidad en edificios”. *Informes de la Construcción*, Vol. 62 nº 517 (2010), pp. 87-100 doi: 10.3989/ic.08.056

Malin, N. (2005) “Life cycle assessment for whole buildings: seeking the holy grail”. *Building Design and Construction*, November: 6-11.

Marrero, M., Martínez-Escobar, L. et al. (2013). “Minimación del impacto ambiental en la ejecución de fachadas mediante el empleo de materiales reciclados”. *Informes de la Construcción*, Vol. 65, nº 529. Madrid.

Martí, X., Edificación sostenible. Departamento de Medio Ambiente de la Generalitat de Catalunya.

Masera O., M. Astier M y S. López-Ridaura (1999) “Marco para la evaluación de sistemas de manejo de recursos naturales incorporando indicadores de sustentabilidad MESMIS”. Mundiprensa – GIRA – UNAM. México.

Mendoza G., (2001) “Fundamentos de Evaluación de Impacto ambiental. Santiago de Chile, Centro de Estudios para el Desarrollo”.

Mercader Moyano, M. P. (2010) “Cuantificación de los recursos consumidos y emisiones de CO₂ producidas en las construcciones de Andalucía y sus implicaciones en el protocolo de Kioto”. Tesis doctoral, Universidad de Sevilla. http://fondosdigitales.us.es/tesis/resultados_busqueda/?authors_in=1215

Mercader Moyano M.P, Ramírez de Arellano Agudo, A. (2013) “Selective classification and quantification model of C&D waste from material resources consumed in residential building construction. *Waste Management & Research*”. Vol. 31. Núm. 5. Pag. 458-474.

Mestre, A., Arrufí, M.(2007) “Arquitectura bioclimática: Materiales actuales y futuros para una construcción sostenible”. *Arquitectura i sostenibilitat* 39.

Mitchell, G., May, A.D. y McDonald, A.T. (1995) “Picabue: a methodological framework for the development of indicators of sustainable development”

Mitchell, G. (1996) “Problems and Fundamentals of Indicators of Sustainable Development”. *Sustainable Development*. 4, (1), 1-11.

Moch, Yves (1996) “Impacte Ambiental dels materials de construcció”, I Jornades Construcció i Desenvolupament Sostenible (Barcelona, 16, 17 i 18 de mayo de 1996)

Mithraratne, N. y Vale, B.(2004) “Life cycle analysis model for New Zealand houses,” *Building and Environment*, vol. 39, pp. 483-492, Apr 2004. School of Architecture, The University of Auckland, Private Bag 92019, Auckland, New Zealand 2004

Moldan, B., Billharz, S., Matravers, R., “Indicadores de Sostenibilidad: Un informe sobre el Proyecto de Indicadores de Desarrollo Sostenible. Comité Científico sobre Problemas del Medio Ambiente, ámbito de aplicación 58. John Wiley & Sons, Chichester.

Moldan H., Dahl A.L. (2007). Ponencia presentada en ámbito científico taller sobre indicadores de desarrollo sostenible (Wuppertal, Alemania, pp.15-17, noviembre de 1995)

Moldan H., Dahl A.L., 2007 I “Indicadores de Sustentabilidad: Una Evaluación Científica”. Vol. Ámbito de aplicación. 67. Washington, DC, Island Press. 413 p.

Monjó, J. (2005) “La evolución de los sistemas constructivos en la edificación, procedimientos para su industrialización”. *Informes de la Construcción* 57 (499-500): 38-54.

Morán, A. (2007) Apuntes para introducir el sistema de análisis del déficit de capacidad institucional en la Gestión local. *Delos: Desarrollo local Sostenible*, ISSN 1988-5245, Vol. 1, Nº. 0.

Moreno, R. (2006) La huella ecológica. *Boletín CF+S* 32733.

Moch, Yves (1996) “Impacte Ambiental dels materials de construcció”, I Jornades Construcció i Desenvolupament Sostenible (Barcelona, 16, 17 i 18 de maig de 1996)

Muñoz, I., Rieradevall, J., Domènech, X. “Definición de la unidad funcional e implicaciones en el ACV. Análisis de ciclo de vida: Aspectos metodológicos y casos prácticos”. Editorial UPC, Valencia, 2005.

Naciones Unidas. Agenda 21. Cumbre para la tierra de junio de 1992 en Río de Janeiro (Brasil) 1992.

Neila, J., (2004) “Arquitectura bioclimática en un entorno sostenible”. Madrid: Munilla-Lería.

Nebel, J. - Wrigth, T. (1999) *Ciencias ambientales ecología y desarrollo sostenible*. Editorial Pearson.

Nichols, E; Hauschmo, M.; POa-nNG, J. and White, E (1996). “Impact assessment of non toxic pollution in life cycle assessment”. In: H.A. Udo de Hues (ed.), (1996). *Towards a methodology for life cycle impact assessment*. SETAC-Europe, Brussels, pp.63-73.

NRC National Resecar Council (2000) *Ecological Indicators for the Nation*. National Academy Press, Washington.

OCDE (1993): *Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico*, París. *Environmental indicators for environmental performance reviews*. París.

OCDE (1994) *Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico* (1994) *Cities for the 21 st Century* (178 pg). <http://www.oecd.org/>

OCDE (1998) *Recommendation of the Council on Environmental Information* (Adopted by the Council at its 922nd Session on 3 April 1998). *Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico*, París.

Orozco, E. (2008) *Notas sobre materiales, técnicas y sistemas constructivos*. *Tecnología y Construcción* 24(2): 9-18.

Ortega, L., (2012). “Propuesta metodológica para estimar la vida útil de los sistemas constructivos de fachadas y cubiertas utilizados actualmente con más frecuencia en la edificación española a partir del método propuesto por la Norma ISO-15686” Tesis doctoral de la Universitat Politècnica de Valencia. Escuela Técnica Superior de Arquitectura. Valencia diciembre 2012.

Ortiz, O., Bonnet, C., Bruno J., Castells, F. (2009) “Sustainability based on LCM of residential dwellings: A case study in Catalonia, Spain”. *Building and Environment* 44: 584-594.

Ortiz, O., Castells, F., Sonnemann, G. (2009) “Sustainability in the construction industry: A review of recent developments based on LCA”. *Construction and Building Materials* 23: 28-39.

OSE (2005) *Sostenibilidad en España 2005*, Observatorio de la Sostenibilidad en España, Madrid.

BIBLIOGRAFÍA

Oteiza, I., Alonso, C. (2008) “Análisis y revisión de herramientas para evaluación de la sostenibilidad de la construcción”. Actas de las II Jornadas de Investigación en Construcción, pp. 1149-1166. Madrid, 24 de mayo de 2008.

Ott, W. (1978). *Environmental Indices, Theory And Practice*, Aa Science, Ann Arbor, Michigan, USA, 371 p.

Papadopoulos A., Oxizidis, S., Papathanaïou, L. (2008) “Developing a new library of materials and structural elements for the simulative evaluation of buildings’ energy performance”. *Building and Environment* 43: 710-719.

Pasquero, C., Poletto, M. *Ecologicstudio* (2009). Proyecto Lighwall, Turín. Italia.

Pérez, J., Periago, F., Tornero, J. y Segura, D. (2008) *Guía de Materiales para una construcción sostenible*. Murcia: Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de la Región de Murcia.

Peris, E. (2007) “Life cycle, sustainability and the transcendent quality of building materials”. *Building and Environment* 44: 1329-1334.

Pieri, C., J. Dumanski, Hamblin A. y Young, A., (1995) “Indicadores de Calidad de la tierra”. Documentos de Discusión del Banco Mundial. El Banco Mundial. Washington, DC.

PNUMA- Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (1995). *Earth Views*. Vol. 2. Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente, Nairobi.

Pulido, J.A., Rubio, C., León, M. (2013). “Mejora de la eficiencia energética del parque edificado: El caso de estudio de la rehabilitación en la Barriada de la Plata”. *Proceedings of the International Congress on Sustainable construction and Eco-Efficient Solutions*, Sevilla.

Quiroga, R. (2009). *Guía metodológica para desarrollar indicadores ambientales y de desarrollo sostenible en países de América Latina y el Caribe*. Santiago de Chile (2009).

Ramírez de Arellano Agudo, Llatas-Oliver, A. C., García-Torres, I., Linares-Romero, P., García-Caraballo, E.I., Escobar García, M., Carnerero Moya, M. y Hernández Juárez, R.: “Retirada Selectiva de Residuos: Modelo de Presupuestación” p.5, Fundación Aparejadores. Sevilla, 2002.

Ramírez, M.W. (1999). Tesis para obtener el grado Maestría en Ingeniería de Proyectos. “Diseño de un modelo de saneamiento de suelos contaminados con metales pesados derivados de la explotación minera”, director de Tesis. Dr. Juan Villalvazo Naranjo. Universidad de Guadalajara, Guadalajara, Jalisco. México, pp. 8-17.

Rapport, D., Friend, A. (1979) “Towards a Comprehensive framework for environmental statistics: a stress-response approach”, *Statistics Canada Catalogue*, 11-510, Minister of Supply and Services, Ottawa, Canada.

Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación (2006).

Real Decreto 105/2008, de 1 de febrero, por el que se regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición (2008).

Reglamento (CE) nº 761/2001 del Parlamento Europeo y del Consejo de 19 de marzo de 2001 (EMAS).

Reglamento Delegado (UE) nº 244/2012 de la comisión de 16 de enero de 2012 que complementa la Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo.

Rieradevall, J. et al. (2005) *Ecoproducte* / Barcelona (España) Editorial Ajuntament de Barcelona. ISBN: 84-7609-166-4.

Rieradevall, J. (2007), “Ecofanal, ecodisseny d’elements urbans” 2005-2006, Universitat Autònoma de Barcelona/ Generalitat de Catalunya, Barcelona.

Rigby, D., Howlett, D., Woodhouse, P., (2000) “A review of Indicators of Agricultural and Rural Livelihood Sustainability”. Working Papers Series. University of Manchester, Manchester, 2000.

Rio Merino, M., Villoria Saez, P. y Porras Amores, C. (2010) Cuantificación de residuos de construcción y demolición (RCD) para su gestión en obras de edificación. In: II Congreso Nacional de Investigación en Edificación., 15/12/2010 - 17/12/2010, Madrid.

Robertson, W.O., Dreisbach, R.H. (1988). “Toxicología clínica”, Editorial el Manual Moderno, México, Distrito Federal, México, pp 205-231.

Rodríguez, M., Losada, J.C., Viñas, c. (2013). La fachada vegetal como estrategia de construcción sostenible y de bajo impacto ambiental. Libro de actas del workshop on Environmental Impact of Buildings WEIB 2013. Escuela Técnica Superior de Edificación, UPM, Madrid.

Romero Placeres M, Más Bermejo P, Lacasaña Navarro M, Téllez Rojo Solís MM, Aguilar Valdés J, Romieu I. (2004). Contaminación atmosférica, asma bronquial e infecciones respiratorias agudas en menores de edad de La Habana. *Sal Públ Mex.* 2004;46:222-3.

Romero Placeres M, Diego, F., y Álvarez, M. “La contaminación del aire: su repercusión como problema de salud”. Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología. Infanta 1158 e/ Clavel y Llinás. Centro Habana, Ciudad de La Habana.

Romstad, E. (1999) “Theoretical considerations in the development of environmental indicators”. En: Brouwer

Ruá, M.J., Vives, L., Civera, V., Lopez-Mesa, B. “Aproximación al cálculo de la eficiencia energética de fachadas ventiladas y su impacto ambiental”. Actas del XI Congreso mundial de la calidad del azulejo y del pavimento cerámico QUALICER 2010, Castellón, 15-16 de febrero de 2010.

Ruá, M.J., (2011) Métodos de valoración de viviendas desde la perspectiva medioambiental y análisis de costes. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Valencia 2011.

Rueda, S. (1999) Modelos de Indicadores para ciudades sostenibles. Dundació Forum ambiental. Generalitat de Catalunya Departament de Medi Ambient. Taller sobre Indicadores de Huella y Calidad Ambiental Urbana.

Rydh C., Sun, M. (2005) Life cycle inventory data for materials grouped according to environmental and material properties. *Journal of Cleaner Production* 13: 1253-1268.

Ryding, S. y Rast, W., (1992) El control de la eutrofización en lagos y pantanos. Ed. Pirámide, Madrid. 375 p.

Sacht, M., Braganza, L., Almeida, M. (2001). “Façade Modules for Eco-Efficient Refurbishment of Buildings: Glazing Thermal Performance to

Guimaraes Climate. Proceedings of the International Conference Sustainability of constructions towards a better built environment, Austria.

Sassenelli, P., (2008) “Du Pont de memours Sostenibilidad: comprensión y concienciación” Neu-Isenburg, DuPont Packaging Graphics Europe MEA.

Sauvenier, X.; Valckz, J.; van Cauwenbergh, N. et al. (2006) Framework for Assessing Sustainability Levels in Belgian Agricultural Systems – SAFE. Final Report - SPSD II CP 28. Belgian Science Policy, Brussels.

SBi (2010) BEAT 2002, Statens Byggeforskningsinstitut. Retrieved June 16, 2010 from the World Wide Web.

http://www.en.sbi.dk/publications/programs_models/beat-2002.

Smyth, A., Dumanski, J., (1993) FESLM: An international framework for evaluating sustainable land management. FAO, World Soil Resources Report 73. Roma, Italia.

Schmidt-Bleek, F. (1994): *Wieviel Umwelt braucht der Mensch MIPS-das Mass für ökologisches Verhalten*. Birkhäuser.

Schmidt-Bleek, F. (2004). *Der ökologische Rucksack. Wirtschaft für eine Zukunft mit Zukunft*. Hirzel, Stuttgart.

SCOPE (1995); “Indicators of Sustainable Development for Decision-Making, Report of the Workshop of Ghent, Published by the Federal Planning Office of Belgium”.

Schütz G, Hacon S, Silva H, Moreno Sánchez AR, Nagatani K. (2008) “Principales marcos conceptuales aplicados para la evaluación de la salud ambiental mediante indicadores en América Latina y el Caribe. *Rev Panam Salud Publica*. 2008;24(4):276–85”.

Seo, S., Tucker, S., Ambrose, M., Mitchell, P., Wang, C-H. (2005) *Technical Evaluation of Environmental Assessment Rating Tools*. Forest & Development Corporation. Australia.

SETAC (1994). *Proceedings of the European Workshop on Allocation in LCA. A workshop at Leiden University, The Netherlands*. SETAC-Europe, BN&s.

Sotelo, J. et al.(2011) “Indicadores por y para el desarrollo sostenible, un estudio de caso” *621Estudios Geográficos*, Vol. LXXII, 271, pp. 611-654, julio-diciembre 2011. ISSN: 0014-1496, eISSN: 1988-8546, doi: 10.3989/estgeogr.201124

Serra R., Coch H. (1995) *Arquitectura y energía natural*. Barcelona: Edicions UPC.

Steen B., (2006) “Abiotic Resource Depletion Different perceptions of the problem with mineral deposits”, *Int J LCA*, 11 vol especial1, 2006, pp. 49 – 54.

Surabhi, J. (2009) *Guidelines to integrate life Cycle assessment in building design*. Georgia Institute of Technology.

Smol, J. (2002). *Pollution of lakes and rivers a Paleoenvironmental Perspective (Key Issues in Environmental Change S.)2002*, ISBN: 0340741465.

Sotelo, J. et al. *Indicadores por y para el desarrollo sostenible, un estudio de caso 621Estudios Geográficos*, Vol. LXXII, 271, pp. 611-654, julio-diciembre 2011.

SUSREF (2012) “Sustainable refurbishment of exterior walls and building façades. Emergy based evaluation of environmental performances of Living Wall and Grass Wall System”. *Energy and Buildings Magazine*, Vol. 73. Elsevier.

BIBLIOGRAFÍA

Tejera Garófalo, P. “Introducción a las Patología de los Edificios”. Apuntes para libro en proceso editorial. 2003.

Thormark, C. (2006) The effect of material choice on the total energy need and recycling potential of a building. *Building and Environment* 41: 1019-1026.

Udo de Haes, (1996): Towards a methodology for life cycle impact assessment. SETAC-Europe, Brussels, 63-73

Venkata, R. (2008) A decision making methodology for material selection using an improved compromise ranking method. *Materials and Design* 29: 1949-1954.

Verbeeck, G., Hens, H. (2009) Life cycle inventory of buildings: A calculation method. *Building and Environment* 45(4): 1037-1041.

Viñoles, R. y Viviancos, J.L. *Herramientas Informáticas para el ACV* ISBN 84-9705-191-2. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia 2002.

Vivancos, B., Gómez, T., Ferrer, P., López, R., Capuz, S. (2007) Medioambiente y recursos naturales. *Boletín de información técnica AITIM* nº 249.

Wackernagel, M. Y Rees, W. (1996): *Our Ecological Footprint. Reducing Human Impact on the Earth.* New Society Publishers. Gabriola Island.

Wadel, G. Alonso, P., Zamora, J., Garrido, P., (2012). “Prototipo de muro cortina FB720. diseño con Análisis de Ciclo de Vida”. Libro de actas del II Congreso Nacional de construcción sostenible y soluciones Eco-Eficientes, Sevilla, España.

Wadel Raina (2009) - tesis en red.net “Winograd M., Fernández N., A. Farrow, 1998. Herramientas para la toma de decisiones en América Latina y el Caribe: indicadores ambientales y geográficas Sistemas de Información” Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) y Programa de las Naciones Unidas Para el Medio Ambiente (PNUMA), Cali, Colombia.

WRI, WBCSD, (2001) World Business Council for Sustainable Development and World Resources Institute.

Yanisleidy Quevedo, y., Diaz, C., (2008) “Medición del desarrollo sostenible mediante los indicadores Presión-Estado-Respuestas (PER)” Monografias.com, Universidad de Cienfuegos “Departamento de Estudios Económicos. Cuba.

Yeang, K. (1999). *Proyectar con la naturaleza. Bases Ecológicas para el Proyecto Arquitectónico.* Gustavo Gili, Barcelona.

Yuan, W., (2005) Comparison of two sustainable building assessment tools applied to Holmen project in Stockholm.

Zabalza, I., Aranda, A., Scarpellini, S. (2009) Life cycle assessment in buildings: State-of-the-art and simplified LCA methodology as a complement for building certification. *Building and Environment* 44: 2510-2520.

Zuo, T., Wang, T., Nie, Z. (2001) Ecomaterials research in China. *Materials and Design* 22: 107-110.

BIBLIOGRAFÍA

2. Sitios web España:

Ministerio de Medio Ambiente: <http://www.mma.es/> (2010)

Oficina Española del Cambio Climático: (2009)

http://www.mma.es/portal/secciones/cambio_climatico/ (2009)

Ministerio de Industria, Turismo y Comercio: <http://www.mityc.es/> (2011)

CIEMAT: <http://www.ciemat.es/> (2009)

Consejo de Seguridad Nuclear: <http://www.csn.es/> (2010)

CSIC: <http://www.csic.es/> (2012)

CTE WEB (<http://cte-web.iccl.es/sistemas.php?t=6&p=2>) (2009)

IDAE (Instituto para la diversificación y el ahorro energético): <http://www.idae.es> (2010)

Europa:

Agencia Europea del Medio Ambiente: <http://local.es.eea.eu.int/>(2011)

EURATOM: <http://www.euratom.org/> (2009)

EEUU:

EPA (Environmental Protection Agency): <http://www.epa.gov/> (2010)

US Department of Energy (DOE): <http://www.energy.gov/engine/content.do> (2009)

Latinoamérica:

OLADE (Organización Latinoamericana de la Energía): (2011)

<http://www.olade.org.ec/php/index.php> (2009)

OCDE: <http://www.oecd.org/> (2009)

NEA (Nuclear Energy Agency): <http://www.nea.fr/> (2011)

Mundo:

(IEA/AIE) International Energy Agency: <http://www.iea.org/> (2011)

BIBLIOGRAFÍA

IAEA International Atomic Energy Agency: <http://www.iaea.org/> (2011)

Intergovernmental Panel on Climate Change: <http://www.ipcc.ch/> (2011)

(OPEC) Organization of the Petroleum Exporting Countries: <http://www.opec.org/> (2010)

United Nations Framework on Climate Change: (2010)

http://unfccc.int/portal_espanol/items/3093.php (2010)

Chalmers University of Technology, Técnico y Planificación Ambiental, Centro de Bengt Steen (2009)

<http://www.cpm.chalmers.se/cpm/publications/EPS2000.PDF>(2010)

<http://www.lenntech.com/scientific-books/eutrophication/pollution-lake-rivers.htm#ixzz1mv8yLIU9> (2009)

http://www.fomento.gob.es/NR/rdonlyres/ED155D9B-AB4E-4FE9-B660-3A035C79E4B0/111136/Anuario_10.pdf (2010)

http://www.generadordeprecios.info/obra_nueva/Fachadas/Muros_cortina/ (2011)

ANEXO 1. FUNCIONAMIENTO DEL SOFTWARE TCQ2000, LIDER Y CALENER VYP.

En el presente proyecto se utilizarán dos de los módulos del programa informático TCQ2000: el módulo 1 (TCQ-1 Proyecto y obra) y el módulo 4 (TCQ-4 GMA Gestión medioambiental). El módulo 1 TCQ-1 (Proyecto y obra) se iniciará abriendo un nuevo archivo e introduciendo un código; cada vez que se abra este archivo se seleccionará el banco de datos y un presupuesto para poder trabajar correctamente (figura A.1.1).

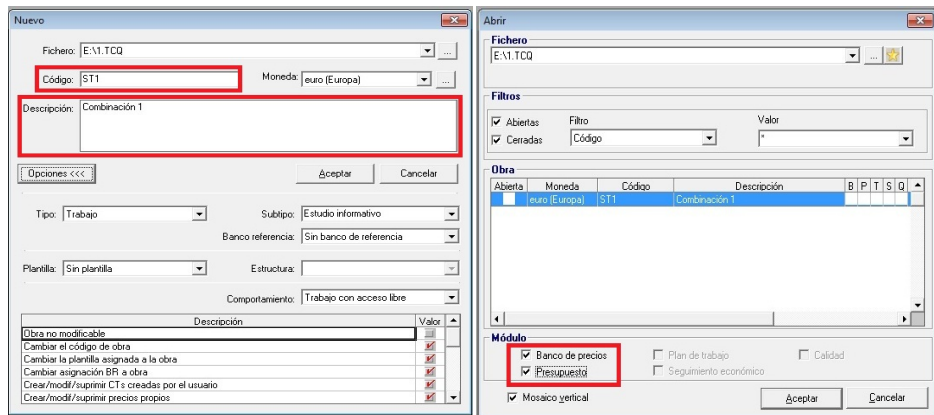


Figura A1.1 Apertura de un nuevo archivo y selección del banco de datos

Se añadirán los capítulos necesarios para desglosar el proyecto en diferentes unidades de obra. La estructura de los datos se organiza en forma de árbol y se van creando las líneas de cada componente mediante una serie de operaciones básicas, complementarias y avanzadas.

Seguidamente se elegirá la base de datos a utilizar, el programa tiene instalada por defecto la base de datos del BEDEC 2013 (figura A.1.2), en la que se podrán ir seleccionando uno a uno todos los elementos unitarios que componen cada capítulo. La herramienta TCQ2000 asocia a cada elemento simple de la base de datos, la tipología y la cantidad de los materiales constitutivos que lo componen.

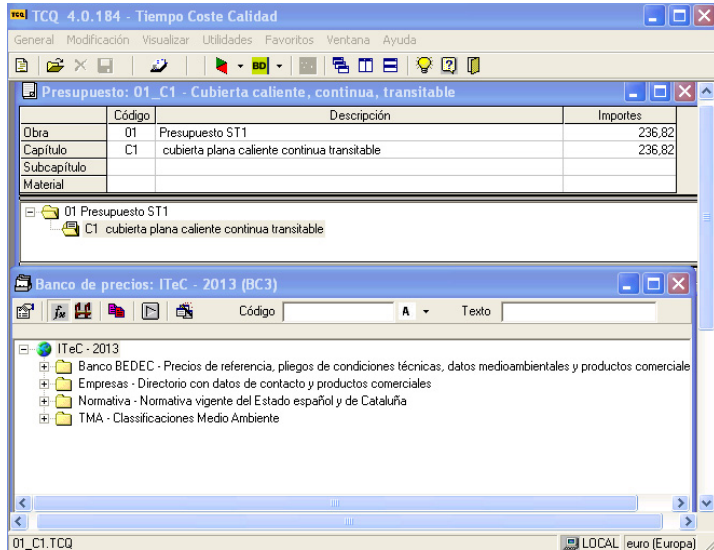


Figura A.1.2 Selección de la base de datos

Al seleccionar un elemento constructivo se abrirá una nueva ventana con diferentes componentes y sus correspondientes características, de manera que se podrán seleccionar todos los productos siguiendo un orden jerárquico hasta llegar al nivel de los materiales (figura A.1.3). En cada uno de los niveles aparecerá la descripción correspondiente de los componentes, medios auxiliares, mano de obra y rendimientos que conforman cada elemento.

También es posible obtener la cantidad de material constitutivo de un elemento consultando directamente en la opción “De componentes”; que aparece en la pestaña “Estadísticas”. En esta opción se podrá consultar, por ejemplo, la cantidad de agua consumida en la fabricación y puesta en obra de un determinado elemento constructivo.

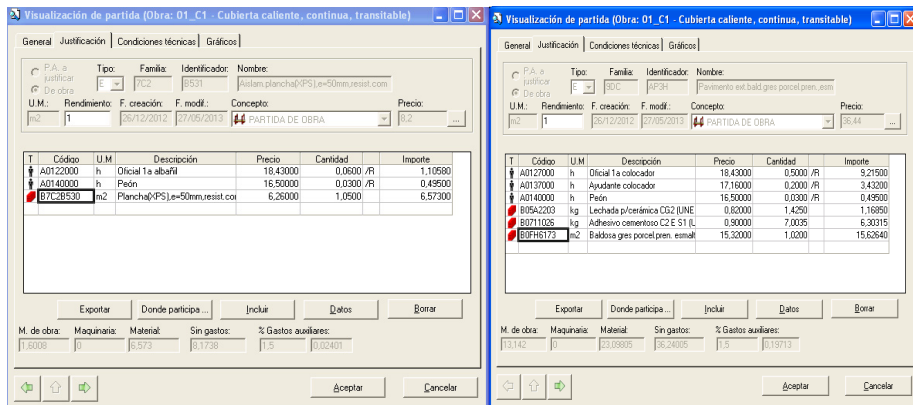


Figura A.1.3 Selección de productos y de materiales constitutivos

El módulo 4 (TCQ-4 GMA Gestión medioambiental) se iniciará a partir de los capítulos creados en el módulo1, seleccionando cada uno de los elementos constructivos a evaluar. Este módulo analiza, a partir de los datos introducidos en TCQ2000, varios impactos medioambientales que provocan los materiales de

construcción, concretamente, el consumo de energía primaria y las emisiones de CO₂ por unidad de peso y la cantidad de residuos generados por los materiales y embalajes, tanto peligrosos como no peligrosos.

Para obtener los impactos de un determinado elemento constructivo, se seleccionará este y se arrastrará con el ratón hasta la ventana que aparece en la mitad inferior de la pantalla. A continuación, se desplegará un menú en el que se escogerá la opción “Adaptar” con la finalidad de que el archivo seleccionado se adapte a la base de datos BEDEC 2013 que contiene información medioambiental (figura A.1.4).

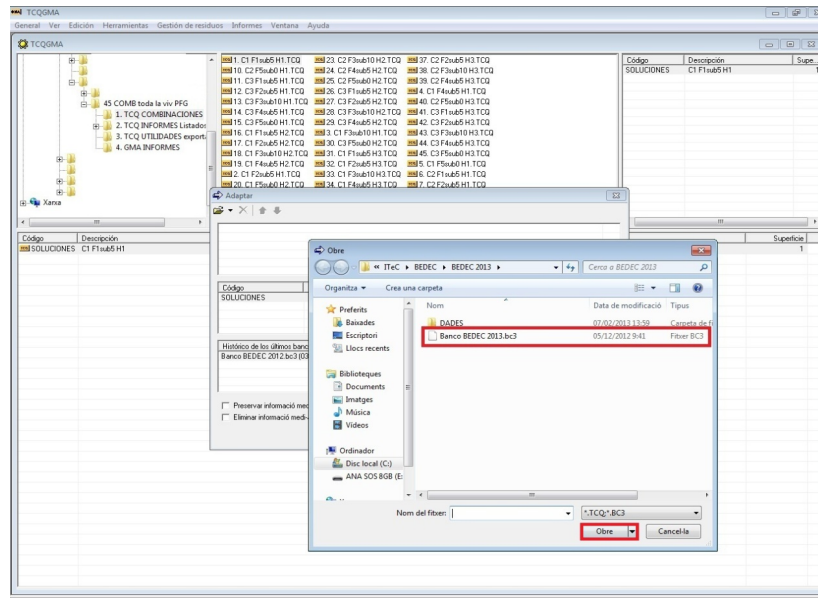


Figura A.1.4 Selección y adaptación del elemento constructivo a la base de datos con información medioambiental.

Para obtener el valor de los impactos, se seleccionará la opción “Informes”, “Resumen” que permitirá obtener los impactos ambientales de la totalidad de componentes que conforman cada elemento.

Los resultados se obtienen en forma de tablas que son exportables a Excel (Figura A.1.5), en las que se indican los costes energéticos totales en fase de fabricación y de construcción en MJ y en Kw; residuos de obra y residuos de embalaje no peligrosos, inertes y peligroso. Todos los datos se obtendrán por m² del elemento constructivo evaluado.

ANEXOS

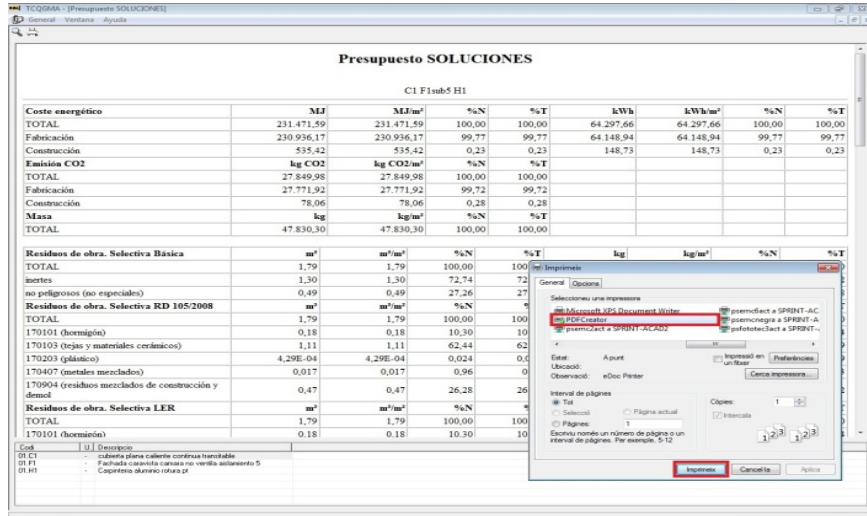
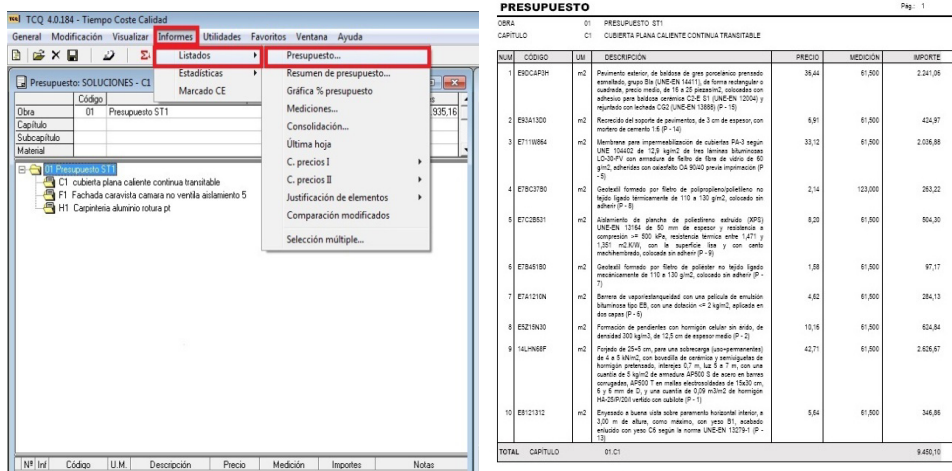


Figura A.1.5 Obtención de resultados medioambientales.

TCQ2000 es una herramienta especialmente desarrollada para el cálculo de presupuestos, por lo que también se utilizará para la valoración de los costes de inversión y de mantenimiento de las soluciones constructivas evaluadas. En el programa, los presupuestos se organizan en una estructura jerárquica de niveles siendo el último de ellos la línea de presupuesto. A cada línea se le puede asignar un precio procedente de la base de datos BEDEC. Para obtener el valor de los costes de inversión se seleccionará la opción “Informes”, “Listados”, y “Presupuesto”. Los resultados se pueden ver en forma de tabla y son exportables a Excel (figura A.1.6)



Figuras A.1.6 Selección de la opción presupuestos y hoja de resultados

ANEXOS

Para el estudio o de los consumos de energía y las emisiones de CO₂ durante la fase uso del edificio, se han seleccionado las herramientas de simulación energética LIDER y CALENER. Funcionamiento del software LIDER Y CALENER VYP.

El programa LIDER, se iniciará abriendo un nuevo archivo e introduciendo la información requerida sobre el edificio a evaluar (zona climática, orientación, uso, tipología, higrometría, renovación de aire).

El programa LIDER se iniciará abriendo un nuevo archivo e introduciendo la información requerida sobre el edificio a evaluar (zona climática, orientación, tipología constructiva, uso y otros datos de tipo administrativo). A continuación se cargarán los materiales integrantes de la envolvente a partir de los datos existentes en la base de datos del programa CALENER y se definirá la composición exacta y la transmitancia térmica (U) de cada elemento constructivo de la envolvente asignando un espesor a cada capa (Figura A.1.7).

The screenshot shows the LIDER software interface. On the left, the 'Zonificación climática' section includes fields for Zone (E3), Locality (Castellón de la Plana), Latitude (39.95), and Altitude (25.00). The 'Orientación del edificio' section shows an angle of 230.00. The 'Tipo edificio' section has 'Vivienda unifamiliar' selected. The 'Clase por defecto de los espacios habitables' section has 'Residencial' selected. The 'Datos del Proyecto' section includes fields for project name, community, locality, and direction. The 'Datos del Autor' section includes fields for author name, company, email, and phone. The right side of the interface shows the 'Composición del Ceramieto' section, which includes a table of materials and their properties.

Nº	Material	Espesor	Conductividad	Densidad	Cp	Res.Térmica
1	Tablón de LH triple [60 mm < E < 110 mm]	0,110	0,427	920	1000	
2	Cámara de aire sin ventilador vertical 1 cm					0,150
3	Min Lana mineral [0,04 W/(mK)]	0,050	0,041	40	1000	
4	Tablón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]	0,070	0,432	930	1000	
5	Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	0,015	0,570	1150	1000	
6						

Figura A.1.7 Introducción de datos del edificio en el programa LIDER.

Seguidamente, se introducirán los datos geométricos del edificio a partir de planos en formato dwg, mediante la opción de gestión de planos. En cada plano se deberá especificar la altura de los espacios, la cota de planta, si existe o no planta inferior, el número de plantas iguales (figura A.1.8).

The screenshot shows the 'Propiedades de la Planta' dialog box. The 'Nombre' field is 'P03'. The 'Planta Anterior' dropdown is 'Ninguna'. The 'Multiplicador' field is '1'. The 'Altura de los Espacios' field is '3,00 m' and the 'Cota' field is '0,00 m'. The 'Igual a Planta' dropdown is 'Ninguna'. There are checkboxes for 'Aceptar Espacios Anteriores' (unchecked) and 'Crear espacio igual a la planta' (checked). The dialog has 'Aceptar' and 'Cancelar' buttons. To the right is a 3D model of a building structure with a red and blue frame.

Figura A.1.8 Definición geométrica del edificio.

Así mismo, se introducirán los huecos (figura A.1.9)

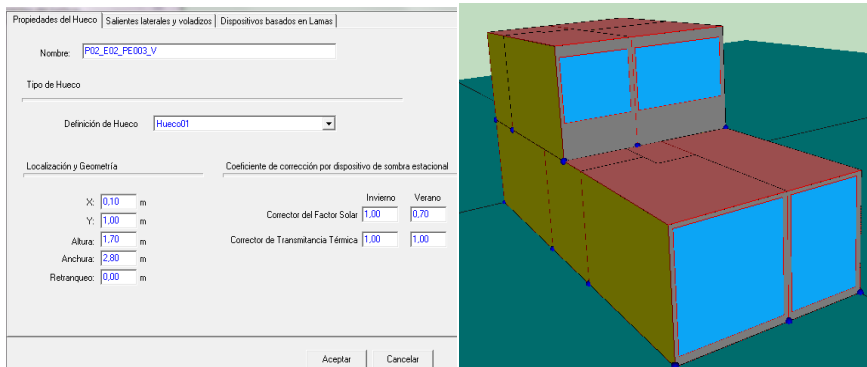


Figura A.1.9 Definición de los huecos

Posteriormente, en la opción “Espacio de trabajo”, se asignarán las soluciones constructivas que se han creado a los elementos de la envolvente térmica del edificio (Figura A.1.10).

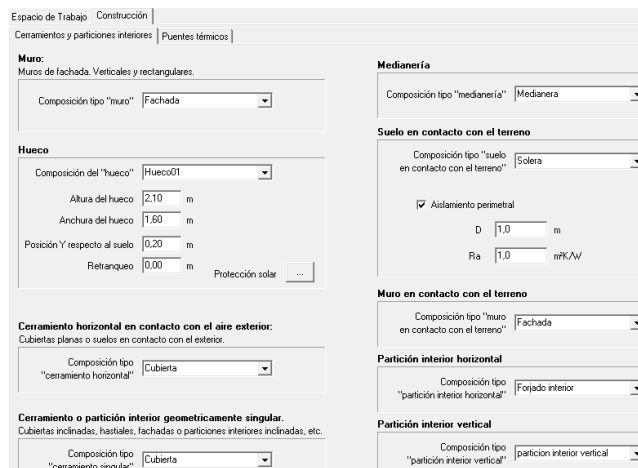


Figura A.1.10 de cada solución constructiva a los elementos del programa.

El programa LIDER calcula si el edificio cumple con la limitación de la demanda energética establecida por el CTE según su documento básico HE1 (figura A.1.11).

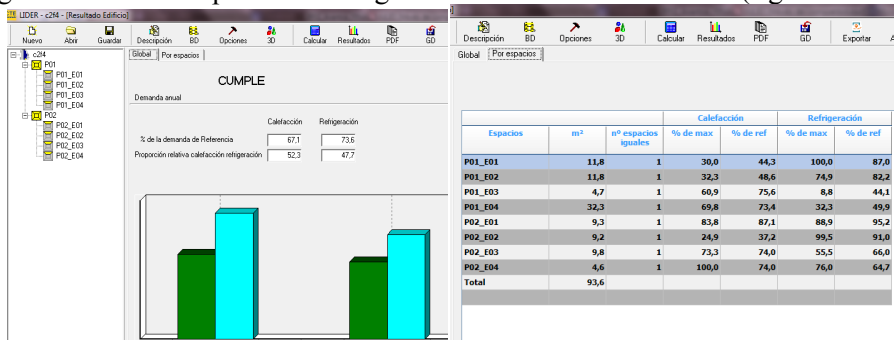


Figura A.1.11 Resultados del programa LIDER, cumplimiento de las exigencias frente a la demanda de climatización.

ANEXOS

La información introducida en la herramienta LIDER, así como los resultados obtenidos son imprescindibles para poder calcular los consumos de energía primaria y de las emisiones de CO₂ con CALENER VYP.

Se iniciará la herramienta CALENER desde una opción que existe en la propia herramienta LIDER. Al seleccionar esta opción, se conservarán todos los datos introducidos hasta el momento, tanto los datos geométricos del edificio, como los datos relativos a la definición de los elementos constructivos, así como todas las variables consideradas para el cálculo; por lo que únicamente será necesario establecer los sistemas de las instalaciones.

En primer lugar se determinará la instalación para el agua caliente sanitaria y seguidamente se definirán los sistemas de climatización (calefacción y refrigeración) y el porcentaje de energía renovable que se adoptará en el edificio.

Para poder definir adecuadamente los sistemas de climatización con sus correspondientes equipos y unidades terminales, se calcularán previamente las cargas térmicas del edificio en cada uno de sus espacios interiores. A continuación se seleccionarán las instalaciones (Figura A.1.12).

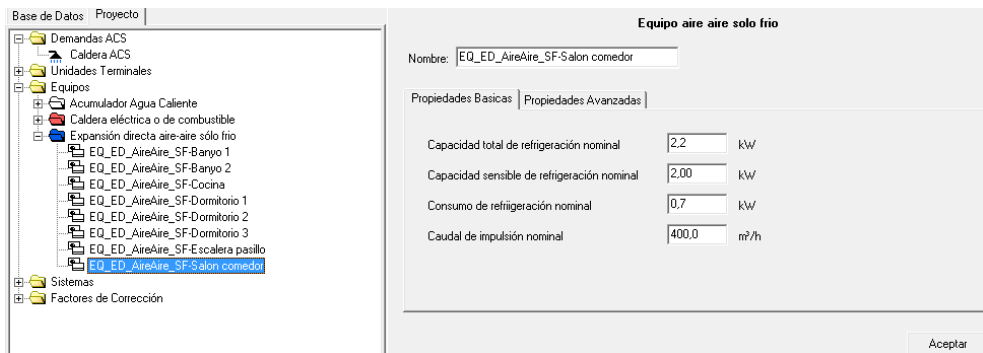


Figura A.1.12 Asignación de los equipos de climatización

Una vez definidas las instalaciones, el programa ofrecerá resultados relativos al consumo energético (Kwh/m² y Kwh/año) y a las emisiones (kg CO₂/ m² y kg CO₂/ año).

En la figura 5.14 se muestran los resultados obtenidos con el programa CALENER.

ANEXOS

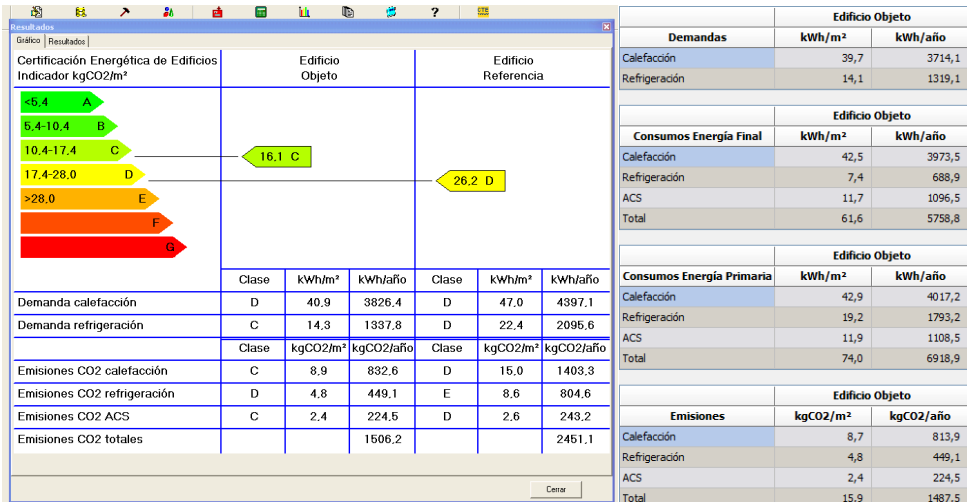


Figura A.1.13 Resultados obtenidos con el programa CALENER.

Como se ha visto, la herramienta TCQ2000 calcula los impactos de un edificio o de los elementos constructivos de un edificio en la fase de fabricación y las herramientas de simulación energética LIDER y CALENER VYP, calculan los impactos de un edificio en la fase de uso. Por lo tanto, es necesario seleccionar un edificio como caso de estudio, para comparar los impactos de la fase de fabricación con los impactos de la fase de uso. Posteriormente, se considerarán diferentes soluciones constructivas de la envolvente del mismo caso de estudio, para poder evaluar el comportamiento del ambiental del edificio en cada caso.

A continuación se procede a la selección y descripción del caso de estudio siguiendo la metodología de evaluación establecida en el esquema de la figura A.1.13.

ANEXO 2 TABLAS DEL CÁLCULO DE LOS INDICADORES

$Em_{eqCO_2}^{fab}$ Emisiones de CO ₂ (kg eq CO ₂ /m ²) por metro cuadrado de superficie útil de la vivienda														Comprobación validación (error absoluto)		
FASE DE FABRICACIÓN																
TIPOLOGÍA DE EDIFICIO	SOL. CONSTRUCTIVA	ZONA CLIMÁTICA	ORIENTACIÓN	cte	$F_{S,cub}$	F_{cub,CO_2}^{fab}	cte	$F_{S,fac}$	F_{fac,CO_2}^{fab}	cte	$F_{S,car}$	F_{car,CO_2}^{fab}	V. ESTIMADO INDICADOR $Em_{eqCO_2}^{fab}$	V.REAL DEL IMPACTO $Em_{eqCO_2}^{fab}$	$\frac{v. estimado - v. real}{v. real} \times 100$	ABS (v. real-v. estimado)
VIVIENDA ADOSADA	C2F1H1	B3	NE	177,62	0,72	1,00	42,28	0,53	1,57	37,46	0,17	15,80	263,69	264,15	-0,18	0,47
	C2F1H1	B3	SE	177,62	0,72	1,00	42,28	0,53	1,57	37,46	0,17	15,80	263,69	264,15	-0,18	0,47
	C3F3H2	B3	NE	177,62	0,72	1,06	42,28	0,53	1,43	37,46	0,17	8,66	222,75	223,23	-0,21	0,48
	C3F3H2	B3	SE	177,62	0,72	1,06	42,28	0,53	1,43	37,46	0,17	8,66	222,75	223,23	-0,21	0,48
	C2F1H1	E1	NE	177,62	0,72	1,00	42,28	0,53	1,57	37,46	0,17	15,80	263,69	264,15	-0,18	0,47
	C2F1H1	E1	SE	177,62	0,72	1,00	42,28	0,53	1,57	37,46	0,17	15,80	263,69	264,15	-0,18	0,47
BQ. VIVIEN	C3F3H2	E1	NE	177,62	0,72	1,06	42,28	0,53	1,43	37,46	0,17	8,66	222,75	223,23	-0,21	0,48
	C3F3H2	E1	SE	177,62	0,72	1,06	42,28	0,53	1,43	37,46	0,17	8,66	222,75	223,23	-0,21	0,48
	C2F1H1	B3	NE	177,62	0,23	1,00	42,28	0,63	1,57	37,46	0,14	15,80	165,53	166,08	-0,33	0,54
	C2F1H1	B3	SE	177,62	0,23	1,00	42,28	0,63	1,57	37,46	0,14	15,80	165,53	166,08	-0,33	0,54
	C3F3H2	B3	NE	177,62	0,23	1,06	42,28	0,63	1,43	37,46	0,14	8,66	126,81	127,39	-0,46	0,58
	C3F3H2	B3	SE	177,62	0,23	1,06	42,28	0,63	1,43	37,46	0,14	8,66	126,81	127,39	-0,46	0,58
UNIFAMILIAR	C2F1H1	E1	NE	177,62	0,23	1,00	42,28	0,63	1,57	37,46	0,14	15,80	165,53	166,08	-0,33	0,54
	C2F1H1	E1	SE	177,62	0,23	1,00	42,28	0,63	1,57	37,46	0,14	15,80	165,53	166,08	-0,33	0,54
	C3F3H2	E1	NE	177,62	0,23	1,06	42,28	0,63	1,43	37,46	0,14	8,66	126,81	127,39	-0,46	0,58
	C3F3H2	E1	SE	177,62	0,23	1,06	42,28	0,63	1,43	37,46	0,14	8,66	126,81	127,39	-0,46	0,58
	C2F1H1	B3	NE	177,62	1,00	1,00	42,28	1,44	1,57	37,46	0,25	15,80	421,17	422,40	-0,29	1,23
	C2F1H1	B3	SE	177,62	1,00	1,00	42,28	1,44	1,57	37,46	0,25	15,80	421,17	422,40	-0,29	1,23
UNIFAMILIAR	C3F3H2	B3	NE	177,62	1,00	1,06	42,28	1,44	1,43	37,46	0,25	8,66	356,44	357,76	-0,37	1,32
	C3F3H2	B3	SE	177,62	1,00	1,06	42,28	1,44	1,43	37,46	0,25	8,66	356,44	357,76	-0,37	1,32
	C2F1H1	E1	NE	177,62	1,00	1,00	42,28	1,44	1,57	37,46	0,25	15,80	421,17	422,40	-0,29	1,23
	C2F1H1	E1	SE	177,62	1,00	1,00	42,28	1,44	1,57	37,46	0,25	15,80	421,17	422,40	-0,29	1,23
	C3F3H2	E1	NE	177,62	1,00	1,06	42,28	1,44	1,43	37,46	0,25	8,66	356,44	357,76	-0,37	1,32
	C3F3H2	E1	SE	177,62	1,00	1,06	42,28	1,44	1,43	37,46	0,25	8,66	356,44	357,76	-0,37	1,32
PROMEDIO															-0,31	0,77

Tabla A.2.1 Cálculo del indicador Emisiones eq. de CO₂ en la fase de fabricación de diferentes combinaciones de la envolvente y comprobación de los errores relativos y absolutos cometidos.

$Em_{eqCO_2}^{man}$ Emisiones de CO ₂ (kg eq CO ₂ /m ²) por metro cuadrado de superficie útil de la vivienda FASE DE MANTENIMIENTO														Comprobación validación (error relativo)		Comprobación validación
TIPOLOGÍA DE EDIFICIO	SOL. CONSTRUCTIVA	ZONA CLIMÁTICA	ORIENTACIÓN	cte	$F_{S,sub}$	$F_{cub.CO_2}^{man}$	cte	$F_{S,fac}$	$F_{fac.CO_2}^{man}$	cte	$F_{S,car}$	$F_{car.CO_2}^{fab}$	V. ESTIMADO DEL INDICADOR $Em_{eqCO_2}^{man}$	VALOR REAL IMPACTO $Em_{eqCO_2}^{fab}$	$\frac{v. estimado - v. real}{valor real} \times 100$	ABS (v. real - v. estimado)
ADOSADO	C2F1H1	B3	NE	66,08	0,72	1,40	7,39	0,53	1,80	63,84	0,17	1,00	84,51	81,78	3,34	2,73
	C2F1H1	B3	SE	66,08	0,72	1,40	7,39	0,53	1,80	63,84	0,17	1,00	84,51	81,78	3,34	2,73
	C3F3H2	B3	NE	66,08	0,72	1,00	7,39	0,53	1,80	63,84	0,17	1,00	65,48	62,89	4,11	2,59
	C3F3H2	B3	SE	66,08	0,72	1,00	7,39	0,53	1,80	63,84	0,17	1,00	65,48	62,89	4,11	2,59
	C2F1H1	E1	NE	66,08	0,72	1,40	7,39	0,53	1,80	63,84	0,17	1,00	84,51	81,78	3,34	2,73
	C2F1H1	E1	SE	66,08	0,72	1,40	7,39	0,53	1,80	63,84	0,17	1,00	84,51	81,78	3,34	2,73
BQ. VIVIEN	C3F3H2	E1	NE	66,08	0,72	1,00	7,39	0,53	1,80	63,84	0,17	1,00	65,48	62,89	4,11	2,59
	C3F3H2	E1	SE	66,08	0,72	1,00	7,39	0,53	1,80	63,84	0,17	1,00	65,48	62,89	4,11	2,59
	C2F1H1	B3	NE	66,08	0,23	1,40	7,39	0,63	1,80	63,84	0,14	1,00	38,60	35,28	9,41	3,32
	C2F1H1	B3	SE	66,08	0,23	1,40	7,39	0,63	1,80	63,84	0,14	1,00	38,60	35,28	9,41	3,32
	C3F3H2	B3	NE	66,08	0,23	1,00	7,39	0,63	1,80	63,84	0,14	1,00	32,52	29,24	11,20	3,27
	C3F3H2	B3	SE	66,08	0,23	1,00	7,39	0,63	1,80	63,84	0,14	1,00	32,52	29,24	11,20	3,28
UNIFAMILIAR	C2F1H1	E1	NE	66,08	0,23	1,40	7,39	0,63	1,80	63,84	0,14	1,00	38,60	35,28	9,41	3,32
	C2F1H1	E1	SE	66,08	0,23	1,40	7,39	0,63	1,80	63,84	0,14	1,00	38,60	35,28	9,41	3,32
	C3F3H2	E1	NE	66,08	0,23	1,00	7,39	0,63	1,80	63,84	0,14	1,00	32,52	29,24	11,20	3,27
	C3F3H2	E1	SE	66,08	0,23	1,00	7,39	0,63	1,80	63,84	0,14	1,00	32,52	29,24	11,20	3,28
	C2F1H1	B3	NE	66,08	1,00	1,40	7,39	1,44	1,80	63,84	0,25	1,00	127,63	119,72	6,60	7,91
	C2F1H1	B3	SE	66,08	1,00	1,40	7,39	1,44	1,80	63,84	0,25	1,00	127,63	119,72	6,60	7,91
	C3F3H2	B3	NE	66,08	1,00	1,00	7,39	1,44	1,80	63,84	0,25	1,00	101,19	93,49	8,24	7,70
	C3F3H2	B3	SE	66,08	1,00	1,00	7,39	1,44	1,80	63,84	0,25	1,00	101,19	93,49	8,24	7,70
UNIFAMILIAR	C2F1H1	E1	NE	66,08	1,00	1,40	7,39	1,44	1,80	63,84	0,25	1,00	127,63	119,72	6,61	7,91
	C2F1H1	E1	SE	66,08	1,00	1,40	7,39	1,44	1,80	63,84	0,25	1,00	127,63	119,72	6,61	7,91
	C3F3H2	E1	NE	66,08	1,00	1,00	7,39	1,44	1,80	63,84	0,25	1,00	101,19	93,49	8,24	7,70
	C3F3H2	E1	SE	66,08	1,00	1,00	7,39	1,44	1,80	63,84	0,25	1,00	101,19	93,49	8,24	7,70
PROMEDIO														7,15	4,59	

Tabla A.2.2 Cálculo del indicador Emisiones eq. de CO₂ en la fase de mantenimiento de diferentes combinaciones de la envolvente y comprobación de los errores relativos y absolutos cometidos.

$Em_{eq,CO_2,cal}^{uso}$ Emisiones de CO ₂ (kg eq CO ₂ /m ²) de las instalaciones de calefacción por metro cuadrado de superficie útil de la vivienda FASE DE USO														Comprobación validación (error relativo)		Comprobación validación
TIPOLOGÍA DE EDIFICIO	SOL. CONSTRUCTIVA	ZONA CLIMÁTICA	ORIENTACIÓN	cte	$F_{uso}^{uso} Z_{CO_2, cal}$	$F_{uso}^{uso} F_{Dr, CO_2, cal}$	$F_{uso}^{uso} cub, CO_2, cal}$	$F_{uso}^{uso} Fac, CO_2, cal}$	$F_{uso}^{uso} dAr, CO_2, cal}$	$N^{50 años}$	$S_{útil}$	$F_{tipoviv}$	V. ESTIMADO DEL INDICADOR $Em_{eq,CO_2,cal}^{uso}$	VALOR REAL DEL IMPACTO $Em_{eqCO_2}^{fab}$	$\frac{v. estimado - v. real}{valor real} \times 100$	ABS (v. real - v. estimado)
ADOSADO	C2F1H1	B3	NE	23,70	-18,06	0,05	0,67	2,62	0,20	50,00	1,00	1,00	459,00	445,00	3,15	14,00
	C2F1H1	B3	SE	23,70	-18,06	0,05	0,67	2,62	0,20	50,00	1,00	1,00	459,00	445,00	3,15	14,00
	C3F3H2	B3	NE	23,70	-18,06	0,00	0,00	0,84	-0,07	50,00	1,00	1,00	320,50	370,00	-13,38	49,50
	C3F3H2	B3	SE	23,70	-18,06	0,00	0,00	0,84	-0,07	50,00	1,00	1,00	320,50	370,00	-13,38	49,50
	C2F1H1	E1	NE	23,70	0,00	0,05	0,67	2,62	0,20	50,00	1,00	1,00	1362,00	1360,00	0,15	2,00
	C2F1H1	E1	SE	23,70	0,00	0,05	0,67	2,62	0,20	50,00	1,00	1,00	1362,00	1385,00	-1,66	23,00
	C3F3H2	E1	NE	23,70	0,00	0,00	0,00	0,84	-0,07	50,00	1,00	1,00	1223,50	1195,00	2,38	28,50
	C3F3H2	E1	SE	23,70	0,00	0,00	0,00	0,84	-0,07	50,00	1,00	1,00	1223,50	1195,00	2,38	28,50
	BQ. VIVIEN	C2F1H1	B3	NE	23,70	-18,06	0,05	0,67	2,62	0,20	50,00	1,00	1,18	541,62	560,00	-3,28
C2F1H1		B3	SE	23,70	-18,06	0,05	0,67	2,62	0,20	50,00	1,00	1,18	541,62	545,00	-0,62	3,38
C3F3H2		B3	NE	23,70	-18,06	0,00	0,00	0,84	-0,07	50,00	1,00	1,18	378,19	455,00	-16,88	76,81
C3F3H2		B3	SE	23,70	-18,06	0,00	0,00	0,84	-0,07	50,00	1,00	1,18	378,19	380,00	-0,48	1,81
C2F1H1		E1	NE	23,70	0,00	0,05	0,67	2,62	0,20	50,00	1,00	1,34	1825,08	1815,00	0,56	10,08
C2F1H1		E1	SE	23,70	0,00	0,05	0,67	2,62	0,20	50,00	1,00	1,34	1825,08	1700,00	7,36	125,08
C3F3H2		E1	NE	23,70	0,00	0,00	0,00	0,84	-0,07	50,00	1,00	1,34	1639,49	1845,00	-11,14	205,51
C3F3H2		E1	SE	23,70	0,00	0,00	0,00	0,84	-0,07	50,00	1,00	1,34	1639,49	1495,00	9,66	144,49
UNIFAMILIAR		C2F1H1	B3	NE	23,70	-18,06	0,05	0,67	2,62	0,20	50,00	1,00	1,31	601,29	620,00	-3,02
	C2F1H1	B3	SE	23,70	-18,06	0,05	0,67	2,62	0,20	50,00	1,00	1,31	601,29	560,00	7,37	41,29
	C3F3H2	B3	NE	23,70	-18,06	0,00	0,00	0,84	-0,07	50,00	1,00	1,31	419,86	515,00	-18,47	95,15
	C3F3H2	B3	SE	23,70	-18,06	0,00	0,00	0,84	-0,07	50,00	1,00	1,31	419,86	445,00	-5,65	25,15
	C2F1H1	E1	NE	23,70	0,00	0,05	0,67	2,62	0,20	50,00	1,00	1,30	1770,60	1970,00	-10,12	199,40
	C2F1H1	E1	SE	23,70	0,00	0,05	0,67	2,62	0,20	50,00	1,00	1,30	1770,60	1795,00	-1,36	24,40
	C3F3H2	E1	NE	23,70	0,00	0,00	0,00	0,84	-0,07	50,00	1,00	1,30	1590,55	1510,00	5,33	80,55
	C3F3H2	E1	SE	23,70	0,00	0,00	0,00	0,84	-0,07	50,00	1,00	1,30	1590,55	1435,00	10,84	155,55
	PROMEDIO														-1,96	59,78

Tabla A.2.3 Cálculo del indicador Emisiones eq. de CO₂ producidas por las instalaciones de refrigeración en la fase uso y comprobación de los errores relativos y absolutos cometidos.

Emisiones de CO ₂ (kg eq CO ₂ /m ²) de las instalaciones de refrigeración por metro cuadrado de superficie útil de la vivienda FASE DE USO														Comprobación validación (error relativo)		Comprobación validación	
TIPOLOGÍA DE EDIFICIO	SOL CONSTRUCTIVA	ZONA CLIMÁTICA	ORIENTACIÓN	cte	F _{uso} ^{uso} _{z.CO₂,ref}	F _{uso} ^{uso} _{Dr.CO₂,ref}	F _{uso} ^{uso} _{sub.CO₂,ref}	F _{uso} ^{uso} _{fuso.CO₂,ref}	F _{uso} ^{uso} _{sub.CO₂,ref}	N ^{50 años}	S _{útil}	F _{tipoviv}	V. ESTIMADO DEL INDICADOR Em ^{uso} _{eq.CO₂,ref}	VALOR REAL	v. estimado - v. real	ABS (v. real - v. estimado)	
														INDICADOR Em ^{fab} _{eq.CO₂}	valor real		INDICADOR
ADOSADO	C2F1H1	B3	NE	1,58	4,66	0,01	0,08	-1,44	-0,08	50,00	1,00	1,00	240,50	240,00	0,21	0,50	
	C2F1H1	B3	SE	1,58	4,66	0,00	0,08	-1,44	-0,08	50,00	1,00	1,00	240,00	225,00	6,67	15,00	
	C3F3H2	B3	NE	1,58	4,66	0,01	0,00	-1,49	-0,03	50,00	1,00	1,00	236,50	215,00	10,00	21,50	
	C3F3H2	B3	SE	1,58	4,66	0,00	0,00	-1,49	-0,03	50,00	1,00	1,00	236,00	215,00	9,77	21,00	
	C2F1H1	E1	NE	1,58	0,00	0,01	0,08	-1,44	-0,08	50,00	1,00	1,00	7,50	25,00	-70,00	17,50	
	C2F1H1	E1	SE	1,58	0,00	0,00	0,08	-1,44	-0,08	50,00	1,00	1,00	7,00	15,00	-53,33	8,00	
	C3F3H2	E1	NE	1,58	0,00	0,01	0,00	-1,49	-0,03	50,00	1,00	1,00	3,50	10,00	-65,00	6,50	
	C3F3H2	E1	SE	1,58	0,00	0,00	0,00	-1,49	-0,03	50,00	1,00	1,00	3,00	15,00	-80,00	12,00	
	BQ. VIVIEN	C2F1H1	B3	NE	1,58	4,66	0,01	0,08	-1,44	-0,08	50,00	1,00	0,69	165,95	147,00	12,89	18,95
		C2F1H1	B3	SE	1,58	4,66	0,00	0,08	-1,44	-0,08	50,00	1,00	0,69	165,60	160,00	3,50	5,60
		C3F3H2	B3	NE	1,58	4,66	0,01	0,00	-1,49	-0,03	50,00	1,00	0,69	163,19	145,00	12,54	18,19
		C3F3H2	B3	SE	1,58	4,66	0,00	0,00	-1,49	-0,03	50,00	1,00	0,69	162,84	165,00	-1,31	2,16
C2F1H1		E1	NE	1,58	0,00	0,01	0,08	-1,44	-0,08	50,00	1,00	0,10	0,75	0,00	#I DIV/0!	0,75	
C2F1H1		E1	SE	1,58	0,00	0,00	0,08	-1,44	-0,08	50,00	1,00	0,10	0,70	0,00	#I DIV/0!	0,70	
C3F3H2		E1	NE	1,58	0,00	0,01	0,00	-1,49	-0,03	50,00	1,00	0,10	0,35	0,00	#I DIV/0!	0,35	
C3F3H2		E1	SE	1,58	0,00	0,00	0,00	-1,49	-0,03	50,00	1,00	0,10	0,30	0,00	#I DIV/0!	0,30	
UNIFAMILIAR		C2F1H1	B3	NE	1,58	4,66	0,01	0,08	-1,44	-0,08	50,00	1,00	1,53	367,97	335,00	9,84	32,97
		C2F1H1	B3	SE	1,58	4,66	0,00	0,08	-1,44	-0,08	50,00	1,00	1,53	367,20	360,00	2,00	7,20
		C3F3H2	B3	NE	1,58	4,66	0,01	0,00	-1,49	-0,03	50,00	1,00	1,53	361,85	325,00	11,34	36,85
		C3F3H2	B3	SE	1,58	4,66	0,00	0,00	-1,49	-0,03	50,00	1,00	1,53	361,08	350,00	3,17	11,08
	C2F1H1	E1	NE	1,58	0,00	0,01	0,08	-1,44	-0,08	50,00	1,00	0,67	5,03	0,00	#I DIV/0!	5,03	
	C2F1H1	E1	SE	1,58	0,00	0,00	0,08	-1,44	-0,08	50,00	1,00	0,67	4,69	0,00	#I DIV/0!	4,69	
	C3F3H2	E1	NE	1,58	0,00	0,01	0,00	-1,49	-0,03	50,00	1,00	0,67	2,35	0,00	#I DIV/0!	2,35	
	C3F3H2	E1	SE	1,58	0,00	0,00	0,00	-1,49	-0,03	50,00	1,00	0,67	2,01	0,00	#I DIV/0!	2,01	
PROMEDIO														#I DIV/0!	10,46		

Tabla A.2.4 Cálculo del indicador Emisiones eq. de CO₂ producidas por las instalaciones de refrigeración en la fase uso y comprobación de los errores relativos y absolutos cometidos.

Consumo de energía primaria en (kWh/m ²) por metro cuadrado de superficie útil de la vivienda														FASE DE		Comprobación validación		Comprobación validación
FABRICACIÓN																		
TIPOLOGÍA DE EDIFICIO	SOL. CONSTRUCTIVA	ZONA CLIMÁTICA	ORIENTACIÓN	cte	$F_{S, cub}$	F_{cub}^{fab}	cte	$F_{S, fac}$	F_{fac}^{fab}	cte	$F_{S, car}$	F_{car}^{fab}	$S_{útil}$	Valor estimado INDICADOR	VALOR REAL DEL IMPACTO	$\frac{v. estimado - v. real}{valor real} \times 100$	v. real - v. estimado	
														Con_{epkWh}^{fab}	Con_{epkWh}^{fab}			
ADOSADO	C2F1H1	B3	NE	418,84	0,72	1,13	134,44	0,53	1,62	169,85	0,17	7,09	1,00	660,92	660,43	0,07	0,49	
	C2F1H1	B3	SE	418,84	0,72	1,13	134,44	0,53	1,62	169,85	0,17	7,09	1,00	660,92	660,43	0,07	0,49	
	C3F3H2	B3	NE	418,84	0,72	1,00	134,44	0,53	1,60	169,85	0,17	4,38	1,00	542,04	542,11	-0,01	0,07	
	C3F3H2	B3	SE	418,84	0,72	1,00	134,44	0,53	1,60	169,85	0,17	4,38	1,00	542,04	542,11	-0,01	0,07	
	C2F1H1	E1	NE	418,84	0,72	1,13	134,44	0,53	1,62	169,85	0,17	7,09	1,00	660,92	660,43	0,07	0,49	
	C2F1H1	E1	SE	418,84	0,72	1,13	134,44	0,53	1,62	169,85	0,17	7,09	1,00	660,92	660,43	0,07	0,49	
	C3F3H2	E1	NE	418,84	0,72	1,00	134,44	0,53	1,60	169,85	0,17	4,38	1,00	542,04	542,11	-0,01	0,07	
	C3F3H2	E1	SE	418,84	0,72	1,00	134,44	0,53	1,60	169,85	0,17	4,38	1,00	542,04	542,11	-0,01	0,07	
BQ. VIVIEN	C2F1H1	B3	NE	418,84	0,23	1,13	134,44	0,63	1,62	169,85	0,14	7,09	1,00	414,66	414,65	0,00	0,01	
	C2F1H1	B3	SE	418,84	0,23	1,13	134,44	0,63	1,62	169,85	0,14	7,09	1,00	414,66	414,65	0,00	0,01	
	C3F3H2	B3	NE	418,84	0,23	1,00	134,44	0,63	1,60	169,85	0,14	4,38	1,00	336,00	336,09	-0,03	0,09	
	C3F3H2	B3	SE	418,84	0,23	1,00	134,44	0,63	1,60	169,85	0,14	4,38	1,00	336,00	336,09	-0,03	0,09	
	C2F1H1	E1	NE	418,84	0,23	1,13	134,44	0,63	1,62	169,85	0,14	7,09	1,00	414,66	414,65	0,00	0,01	
	C2F1H1	E1	SE	418,84	0,23	1,13	134,44	0,63	1,62	169,85	0,14	7,09	1,00	414,66	414,65	0,00	0,01	
	C3F3H2	E1	NE	418,84	0,23	1,00	134,44	0,63	1,60	169,85	0,14	4,38	1,00	336,00	336,09	-0,03	0,09	
	C3F3H2	E1	SE	418,84	0,23	1,00	134,44	0,63	1,60	169,85	0,14	4,38	1,00	336,00	336,09	-0,03	0,09	
UNIFAMILIAR	C2F1H1	B3	NE	418,84	1,00	1,13	134,44	1,44	1,62	169,85	0,25	7,09	1,00	1087,97	1087,56	0,04	0,41	
	C2F1H1	B3	SE	418,84	1,00	1,13	134,44	1,44	1,62	169,85	0,25	7,09	1,00	1087,97	1087,56	0,04	0,41	
	C3F3H2	B3	NE	418,84	1,00	1,00	134,44	1,44	1,60	169,85	0,25	4,38	1,00	914,58	914,80	-0,02	0,22	
	C3F3H2	B3	SE	418,84	1,00	1,00	134,44	1,44	1,60	169,85	0,25	4,38	1,00	914,58	914,80	-0,02	0,22	
	C2F1H1	E1	NE	418,84	1,00	1,13	134,44	1,44	1,62	169,85	0,25	7,09	1,00	1087,97	1087,56	0,04	0,41	
	C2F1H1	E1	SE	418,84	1,00	1,13	134,44	1,44	1,62	169,85	0,25	7,09	1,00	1087,97	1087,56	0,04	0,41	
	C3F3H2	E1	NE	418,84	1,00	1,00	134,44	1,44	1,60	169,85	0,25	4,38	1,00	914,58	914,80	-0,02	0,22	
	C3F3H2	E1	SE	418,84	1,00	1,00	134,44	1,44	1,60	169,85	0,25	4,38	1,00	914,58	914,80	-0,02	0,22	
														PROMEDIO		0,01	0,22	

Tabla A.2.5 Cálculo del indicador Consumo de energía primaria en la fase de fabricación de diferentes combinaciones de la envolvente y comprobación de los errores relativos y absolutos cometidos.

Consumo de energía primaria en (kWh/m ²) por metro cuadrado de superficie útil de la vivienda FASE DE MANTENIMIENTO														Comprobación validación		Comprobación validación
Con _{epkWh} ^{man}	SOL. CONSTRUCTIVA	ZONA CLIMÁTICA	ORIENTACIÓN	cte	F _{S,sub}	F _{subKwh} ^{man}	cte	F _{S,fac}	F _{facKwh} ^{man}	cte	F _{S,car}	F _{carKwh} ^{man}	Valor estimado Con _{epkWh} ^{man}	VALOR REAL	v.restimado - v.real	v. real - v. estimado
														INDICADOR Con _{epkWh} ^{man}	valor real x 100	
ADOSADO	C2F1H1	B3	NE	130,51	0,72	1,32	13,00	0,53	1,00	300,99	0,17	1,00	182,10	182,97	-0,48	0,87
	C2F1H1	B3	SE	130,51	0,72	1,32	13,00	0,53	1,00	300,99	0,17	1,00	182,10	182,97	-0,48	0,87
	C3F3H2	B3	NE	130,51	0,72	1,00	13,00	0,53	1,00	300,99	0,17	1,00	152,03	152,60	-0,38	0,58
	C3F3H2	B3	SE	130,51	0,72	1,00	13,00	0,53	1,00	300,99	0,17	1,00	152,03	152,60	-0,38	0,58
	C2F1H1	E1	NE	130,51	0,72	1,32	13,00	0,53	1,00	300,99	0,17	1,00	182,10	182,97	-0,48	0,87
	C2F1H1	E1	SE	130,51	0,72	1,32	13,00	0,53	1,00	300,99	0,17	1,00	182,10	182,97	-0,48	0,87
	C3F3H2	E1	NE	130,51	0,72	1,00	13,00	0,53	1,00	300,99	0,17	1,00	152,03	152,60	-0,38	0,58
	C3F3H2	E1	SE	130,51	0,72	1,00	13,00	0,53	1,00	300,99	0,17	1,00	152,03	152,60	-0,38	0,58
BQ. VIVIEN	C2F1H1	B3	NE	130,51	0,23	1,32	13,00	0,63	1,00	300,99	0,14	1,00	89,95	90,73	-0,86	0,78
	C2F1H1	B3	SE	130,51	0,23	1,32	13,00	0,63	1,00	300,99	0,14	1,00	89,95	90,73	-0,86	0,78
	C3F3H2	B3	NE	130,51	0,23	1,00	13,00	0,63	1,00	300,99	0,14	1,00	80,35	81,03	-0,85	0,69
	C3F3H2	B3	SE	130,51	0,23	1,00	13,00	0,63	1,00	300,99	0,14	1,00	80,35	81,03	-0,85	0,69
	C2F1H1	E1	NE	130,51	0,23	1,32	13,00	0,63	1,00	300,99	0,14	1,00	89,95	90,73	-0,86	0,78
	C2F1H1	E1	SE	130,51	0,23	1,32	13,00	0,63	1,00	300,99	0,14	1,00	89,95	90,73	-0,86	0,78
	C3F3H2	E1	NE	130,51	0,23	1,00	13,00	0,63	1,00	300,99	0,14	1,00	80,35	81,03	-0,85	0,69
	C3F3H2	E1	SE	130,51	0,23	1,00	13,00	0,63	1,00	300,99	0,14	1,00	80,35	81,03	-0,85	0,69
UNIFAMILIAR	C2F1H1	B3	NE	130,51	1,00	1,32	13,00	1,44	1,00	300,99	0,25	1,00	266,24	268,22	-0,74	1,98
	C2F1H1	B3	SE	130,51	1,00	1,32	13,00	1,44	1,00	300,99	0,25	1,00	266,24	268,22	-0,74	1,98
	C3F3H2	B3	NE	130,51	1,00	1,00	13,00	1,44	1,00	300,99	0,25	1,00	224,48	226,05	-0,69	1,57
	C3F3H2	B3	SE	130,51	1,00	1,00	13,00	1,44	1,00	300,99	0,25	1,00	224,48	226,05	-0,69	1,57
	C2F1H1	E1	NE	130,51	1,00	1,32	13,00	1,44	1,00	300,99	0,25	1,00	266,24	268,22	-0,74	1,98
	C2F1H1	E1	SE	130,51	1,00	1,32	13,00	1,44	1,00	300,99	0,25	1,00	266,24	268,22	-0,74	1,98
	C3F3H2	E1	NE	130,51	1,00	1,00	13,00	1,44	1,00	300,99	0,25	1,00	224,48	226,05	-0,69	1,57
	C3F3H2	E1	SE	130,51	1,00	1,00	13,00	1,44	1,00	300,99	0,25	1,00	224,48	226,05	-0,69	1,57

Tabla A.2.6 Cálculo del indicador Consumo de energía primaria en la fase de mantenimiento de diferentes combinaciones de la envolvente y comprobación de los errores relativos y absolutos cometidos.

Consumo de energía primaria en (kWh/m ²) de las instalaciones de calefacción por metro cuadrado de superficie útil de la vivienda FASE DE USO														Comprobación validación		Comprobación validación
TIPOLOGÍA DE EDIFICIO	SOL. CONSTRUCTIVA	ZONA CLIMÁTICA	ORIENTACIÓN	cte	$F_{uso}^{T,kWh/m^2}$	$F_{or,kWh/m^2}$	$F_{uso}^{etd,kWh/m^2}$	$F_{fac,kWh/m^2}$	$F_{car,kWh/m^2}$	$N_{50años}$	$S_{útil}$	$F_{tipoviv}$	Valor estimado Con_{epkWh}	VALOR REAL INDICADOR	$\frac{v_{estimado} - v_{real}}{valor\ real} \times 100$	v. real - v. estimado
ADOSADO	C2F1H1	B3	NE	116,40	-89,40	0,10	3,21	14,32	1,27	50,00	1,00	1,00	2295,00	2210,00	3,85	85,00
	C2F1H1	B3	SE	116,40	-89,40	0,00	3,21	14,32	1,27	50,00	1,00	1,00	2290,00	2210,00	3,62	80,00
	C3F3H2	B3	NE	116,40	-89,40	0,10	0,00	5,36	-0,27	50,00	1,00	1,00	1609,50	1825,00	-11,81	215,50
	C3F3H2	B3	SE	116,40	-89,40	0,00	0,00	5,36	-0,27	50,00	1,00	1,00	1604,50	1820,00	-11,84	215,50
	C2F1H1	E1	NE	116,40	0,00	0,10	3,21	14,32	1,27	50,00	1,00	1,00	6765,00	6875,00	-1,60	110,00
	C2F1H1	E1	SE	116,40	0,00	0,00	3,21	14,32	1,27	50,00	1,00	1,00	6760,00	6780,00	-0,29	20,00
	C3F3H2	E1	NE	116,40	0,00	0,10	0,00	5,36	-0,27	50,00	1,00	1,00	6079,50	5920,00	2,69	159,50
	C3F3H2	E1	SE	116,40	0,00	0,00	0,00	5,36	-0,27	50,00	1,00	1,00	6074,50	5915,00	2,70	159,50
BQ. VIVIEN	C2F1H1	B3	NE	116,40	-89,40	0,10	3,21	14,32	1,27	50,00	1,00	0,88	2019,60	2050,00	-1,48	30,40
	C2F1H1	B3	SE	116,40	-89,40	0,00	3,21	14,32	1,27	50,00	1,00	0,88	2015,20	2050,00	-1,70	34,80
	C3F3H2	B3	NE	116,40	-89,40	0,10	0,00	5,36	-0,27	50,00	1,00	0,88	1416,36	1720,00	-17,65	303,64
	C3F3H2	B3	SE	116,40	-89,40	0,00	0,00	5,36	-0,27	50,00	1,00	0,88	1411,96	1440,00	-1,95	28,04
	C2F1H1	E1	NE	116,40	0,00	0,10	3,21	14,32	1,27	50,00	1,00	0,98	6629,70	6835,00	-3,00	205,30
	C2F1H1	E1	SE	116,40	0,00	0,00	3,21	14,32	1,27	50,00	1,00	0,98	6624,80	6400,00	3,51	224,80
	C3F3H2	E1	NE	116,40	0,00	0,10	0,00	5,36	-0,27	50,00	1,00	0,98	5957,91	6075,00	-1,93	117,09
	C3F3H2	E1	SE	116,40	0,00	0,00	0,00	5,36	-0,27	50,00	1,00	0,98	5953,01	5630,00	5,74	323,01
UNIFAMILIAR	C2F1H1	B3	NE	116,40	-89,40	0,10	3,21	14,32	1,27	50,00	1,00	1,27	2914,65	2980,00	-2,19	65,35
	C2F1H1	B3	SE	116,40	-89,40	0,00	3,21	14,32	1,27	50,00	1,00	1,27	2908,30	2680,00	8,52	228,30
	C3F3H2	B3	NE	116,40	-89,40	0,10	0,00	5,36	-0,27	50,00	1,00	1,27	2044,07	2465,00	-17,08	420,94
	C3F3H2	B3	SE	116,40	-89,40	0,00	0,00	5,36	-0,27	50,00	1,00	1,27	2037,72	2140,00	-4,78	102,29
	C2F1H1	E1	NE	116,40	0,00	0,10	3,21	14,32	1,27	50,00	1,00	1,24	8388,60	9355,00	-10,33	966,40
	C2F1H1	E1	SE	116,40	0,00	0,00	3,21	14,32	1,27	50,00	1,00	1,24	8382,40	8565,00	-2,13	182,60
	C3F3H2	E1	NE	116,40	0,00	0,10	0,00	5,36	-0,27	50,00	1,00	1,24	7538,58	7205,00	4,63	333,58
	C3F3H2	E1	SE	116,40	0,00	0,00	0,00	5,36	-0,27	50,00	1,00	1,24	7532,38	6840,00	10,12	692,38

Tabla A.2.7 Cálculo del indicador Consumo de energía primaria debido a las instalaciones de calefacción en la fase uso y comprobación de los errores relativos y absolutos cometidos.

Consumo de energía primaria en (kWh/m ²) de las instalaciones de refrigeración por metro cuadrado de superficie útil de la vivienda FASE DE USO														Comprobación validación		Comprobación validación
TIPOLOGÍA DE EDIFICIO	SOL. CONSTRUCTIVA	ZONA CLIMÁTICA	ORIENTACIÓN	cte	F _{z,kwhref}	F _{or,kwhref}	F _{sub,kwhref}	F _{fac,kwhref}	F _{car,kwhref}	N ^{50 años}	S _{útil}	F _{tipoviv}	Valor estimado	VALOR REAL IMPACTO	v. estimado - v. real valor real × 100	v. real - v. estimado
ADOSADO	C2F1H1	B3	NE	6,28	18,65	-0,01	0,46	-5,78	-0,30	50,00	1,00	1,00	965,00	985,00	-2,03	20,00
	C2F1H1	B3	SE	6,28	18,65	0,00	0,46	-5,78	-0,30	50,00	1,00	1,00	965,50	910,00	6,10	55,50
	C3F3H2	B3	NE	6,28	18,65	-0,01	0,00	-6,02	-0,23	50,00	1,00	1,00	933,50	870,00	7,30	63,50
	C3F3H2	B3	SE	6,28	18,65	0,00	0,00	-6,02	-0,23	50,00	1,00	1,00	934,00	855,00	9,24	79,00
	C2F1H1	E1	NE	6,28	0,00	-0,01	0,46	-5,78	-0,30	50,00	1,00	1,00	32,50	65,00	-50,00	32,50
	C2F1H1	E1	SE	6,28	0,00	0,00	0,46	-5,78	-0,30	50,00	1,00	1,00	33,00	65,00	-49,23	32,00
	C3F3H2	E1	NE	6,28	0,00	-0,01	0,00	-6,02	-0,23	50,00	1,00	1,00	1,00	35,00	-97,14	34,00
	C3F3H2	E1	SE	6,28	0,00	0,00	0,00	-6,02	-0,23	50,00	1,00	1,00	1,50	35,00	-95,71	33,50
BQ. VIVIEN	C2F1H1	B3	NE	6,28	18,65	-0,01	0,46	-5,78	-0,30	50,00	1,00	0,69	665,85	590,00	12,86	75,85
	C2F1H1	B3	SE	6,28	18,65	0,00	0,46	-5,78	-0,30	50,00	1,00	0,69	666,20	640,00	4,09	26,19
	C3F3H2	B3	NE	6,28	18,65	-0,01	0,00	-6,02	-0,23	50,00	1,00	0,69	644,12	585,00	10,11	59,11
	C3F3H2	B3	SE	6,28	18,65	0,00	0,00	-6,02	-0,23	50,00	1,00	0,69	644,46	660,00	-2,35	15,54
	C2F1H1	E1	NE	6,28	0,00	-0,01	0,46	-5,78	-0,30	50,00	1,00	0,11	3,58	5,00	-28,50	1,43
	C2F1H1	E1	SE	6,28	0,00	0,00	0,46	-5,78	-0,30	50,00	1,00	0,11	3,63	5,00	-27,40	1,37
	C3F3H2	E1	NE	6,28	0,00	-0,01	0,00	-6,02	-0,23	50,00	1,00	0,11	0,11	5,00	-97,80	4,89
	C3F3H2	E1	SE	6,28	0,00	0,00	0,00	-6,02	-0,23	50,00	1,00	0,11	0,17	5,00	-96,70	4,84
JUNIFAMILIAR	C2F1H1	B3	NE	6,28	18,65	-0,01	0,46	-5,78	-0,30	50,00	1,00	1,53	1476,45	1351,45	9,25	125,00
	C2F1H1	B3	SE	6,28	18,65	0,00	0,46	-5,78	-0,30	50,00	1,00	1,53	1477,22	1450,00	1,88	27,21
	C3F3H2	B3	NE	6,28	18,65	-0,01	0,00	-6,02	-0,23	50,00	1,00	1,53	1428,26	1300,00	9,87	128,26
	C3F3H2	B3	SE	6,28	18,65	0,00	0,00	-6,02	-0,23	50,00	1,00	1,53	1429,02	1410,00	1,35	19,02
	C2F1H1	E1	NE	6,28	0,00	-0,01	0,46	-5,78	-0,30	50,00	1,00	0,29	9,43	0,00	#DIV/0!	9,43
	C2F1H1	E1	SE	6,28	0,00	0,00	0,46	-5,78	-0,30	50,00	1,00	0,29	9,57	0,00	#DIV/0!	9,57
	C3F3H2	E1	NE	6,28	0,00	-0,01	0,00	-6,02	-0,23	50,00	1,00	0,29	0,29	0,00	#DIV/0!	0,29
	C3F3H2	E1	SE	6,28	0,00	0,00	0,00	-6,02	-0,23	50,00	1,00	0,29	0,44	0,00	#DIV/0!	0,44
														PROMEDIO	#DIV/0!	35,77

Tabla A.2.8 Cálculo del indicador Consumo de energía primaria debido a las instalaciones de refrigeración en la fase uso y comprobación de los errores relativos y absolutos cometidos.

<i>Con^{fab}_{agua}</i>															Consumo de agua (m ³ /m ²) por metro cuadrado de superficie útil de la vivienda			Comprobación validación		Comprobación validación
FASE DE FABRICACIÓN																				
TIPOLOGÍA DE EDIFICIO	SOL CONSTRUCTIVA	ZONA CLIMÁTICA	ORIENTACIÓN	cte	<i>F_{S, cub}</i>	<i>F^{fab}_{cub agua}</i>	cte	<i>F_{S, fac}</i>	<i>F^{fab}_{fac agua}</i>	cte	<i>F_{S, car}</i>	<i>F^{fab}_{car agua}</i>	<i>S_{útil}</i>	Valor estimado <i>Con^{fab}_{agua}</i>	<i>VALOR REAL IMPACTO ^{fab} _{Con^{fab}_{agua}}</i>	$\frac{v. estimado - v. real}{valor real} \times 100$	v. real - v. estimado			
ADOSADO	C2F1H1	B3	NE	0,016	0,72	1,00	0,01	0,53	3,00	0,001	0,17	0,00	1,00	0,03	0,03	0,00	0,00			
	C2F1H1	B3	SE	0,016	0,72	1,00	0,01	0,53	3,00	0,001	0,17	0,00	1,00	0,03	0,03	0,00	0,00			
	C3F3H2	B3	NE	0,016	0,72	3,00	0,01	0,53	2,40	0,001	0,17	0,00	1,00	0,05	0,05	0,00	0,00			
	C3F3H2	B3	SE	0,016	0,72	3,00	0,01	0,53	2,40	0,001	0,17	0,00	1,00	0,05	0,05	0,00	0,00			
	C2F1H1	E1	NE	0,016	0,72	1,00	0,01	0,53	3,00	0,001	0,17	0,00	1,00	0,03	0,03	0,00	0,00			
	C2F1H1	E1	SE	0,016	0,72	1,00	0,01	0,53	3,00	0,001	0,17	0,00	1,00	0,03	0,03	0,00	0,00			
	C3F3H2	E1	NE	0,016	0,72	3,00	0,01	0,53	2,40	0,001	0,17	0,00	1,00	0,05	0,05	0,00	0,00			
C3F3H2	E1	SE	0,016	0,72	3,00	0,01	0,53	2,40	0,001	0,17	0,00	1,00	0,05	0,05	0,00	0,00				
BQ. VIVIEN	C2F1H1	B3	NE	0,016	0,23	1,00	0,01	0,63	3,00	0,001	0,14	0,00	1,00	0,02	0,02	0,00	0,00			
	C2F1H1	B3	SE	0,016	0,23	1,00	0,01	0,63	3,00	0,001	0,14	0,00	1,00	0,02	0,02	0,00	0,00			
	C3F3H2	B3	NE	0,016	0,23	3,00	0,01	0,63	2,40	0,001	0,14	0,00	1,00	0,03	0,03	0,00	0,00			
	C3F3H2	B3	SE	0,016	0,23	3,00	0,01	0,63	2,40	0,001	0,14	0,00	1,00	0,03	0,03	0,00	0,00			
	C2F1H1	E1	NE	0,016	0,23	1,00	0,01	0,63	3,00	0,001	0,14	0,00	1,00	0,02	0,02	0,00	0,00			
	C2F1H1	E1	SE	0,016	0,23	1,00	0,01	0,63	3,00	0,001	0,14	0,00	1,00	0,02	0,02	0,00	0,00			
	C3F3H2	E1	NE	0,016	0,23	3,00	0,01	0,63	2,40	0,001	0,14	0,00	1,00	0,03	0,03	0,00	0,00			
C3F3H2	E1	SE	0,016	0,23	3,00	0,01	0,63	2,40	0,001	0,14	0,00	1,00	0,03	0,03	0,00	0,00				
UNIFAMILIAR	C2F1H1	B3	NE	0,016	1,00	1,00	0,01	1,44	3,00	0,001	0,25	0,00	1,00	0,06	0,06	0,00	0,00			
	C2F1H1	B3	SE	0,016	1,00	1,00	0,01	1,44	3,00	0,001	0,25	0,00	1,00	0,06	0,06	0,00	0,00			
	C3F3H2	B3	NE	0,016	1,00	3,00	0,01	1,44	2,40	0,001	0,25	0,00	1,00	0,08	0,08	0,00	0,00			
	C3F3H2	B3	SE	0,016	1,00	3,00	0,01	1,44	2,40	0,001	0,25	0,00	1,00	0,08	0,08	0,00	0,00			
	C2F1H1	E1	NE	0,016	1,00	1,00	0,01	1,44	3,00	0,001	0,25	0,00	1,00	0,06	0,06	0,00	0,00			
	C2F1H1	E1	SE	0,016	1,00	1,00	0,01	1,44	3,00	0,001	0,25	0,00	1,00	0,06	0,06	0,00	0,00			
	C3F3H2	E1	NE	0,016	1,00	3,00	0,01	1,44	2,40	0,001	0,25	0,00	1,00	0,08	0,08	0,00	0,00			
C3F3H2	E1	SE	0,016	1,00	3,00	0,01	1,44	2,40	0,001	0,25	0,00	1,00	0,08	0,08	0,00	0,00				
PROMEDIO																0,00	0,00			

Tabla A.2.9 Cálculo del indicador Consumo de agua en la fase de fabricación de diferentes combinaciones de la envolvente y comprobación de los errores relativos y absolutos cometidos.

Gen_{resp}^{Fab} Generación de residuos peligrosos (kg/m ²) por metro cuadrado de superficie útil de la vivienda FASE DE FABRICACIÓN														Comprobación validación		Comprobación validación (error)
TIPOLOGÍA DE EDIFICIO	SOL. CONSTRUCTIVA	ZONA CLIMÁTICA	ORIENTACIÓN	cte	$F_{S,cub}$	$F_{cub}^{fab resp}$	cte	$F_{S,fac}$	cte	$F_{S,car}$	$F_{car}^{fab resp}$	$S_{útil}$	Valor estimado Gen_{resp}^{Fab}	VALOR REAL DEL IMPACTO Gen_{resp}^{Fab}	$\frac{v. estimado - v. real}{valor real} \times 100$	v. real - v. estimado
ADOSADO	C2F1H1	B3	NE	0,10	0,72	1,22	0,00	0,53	0,055	0,17	1,00	1,00	0,095	0,10	-0,33	0,000
	C2F1H1	B3	SE	0,10	0,72	1,22	0,00	0,53	0,055	0,17	1,00	1,00	0,095	0,10	-0,33	0,000
	C3F3H2	B3	NE	0,10	0,72	1,00	0,00	0,53	0,055	0,17	1,00	1,00	0,080	0,08	0,00	0,016
	C3F3H2	B3	SE	0,10	0,72	1,00	0,00	0,53	0,055	0,17	1,00	1,00	0,080	0,08	0,00	0,016
	C2F1H1	E1	NE	0,10	0,72	1,22	0,00	0,53	0,055	0,17	1,00	1,00	0,095	0,10	-0,33	0,000
	C2F1H1	E1	SE	0,10	0,72	1,22	0,00	0,53	0,055	0,17	1,00	1,00	0,095	0,10	-0,33	0,000
	C3F3H2	E1	NE	0,10	0,72	1,00	0,00	0,53	0,055	0,17	1,00	1,00	0,080	0,08	0,00	0,016
	C3F3H2	E1	SE	0,10	0,72	1,00	0,00	0,53	0,055	0,17	1,00	1,00	0,080	0,08	0,00	0,016
BQ. VIVIEN	C2F1H1	B3	NE	0,10	0,23	1,22	0,00	0,63	0,055	0,14	1,00	1,00	0,035	0,04	-0,29	0,061
	C2F1H1	B3	SE	0,10	0,23	1,22	0,00	0,63	0,055	0,14	1,00	1,00	0,035	0,04	-0,29	0,061
	C3F3H2	B3	NE	0,10	0,23	1,00	0,00	0,63	0,055	0,14	1,00	1,00	0,030	0,03	0,00	0,066
	C3F3H2	B3	SE	0,10	0,23	1,00	0,00	0,63	0,055	0,14	1,00	1,00	0,030	0,03	0,00	0,066
	C2F1H1	E1	NE	0,10	0,23	1,22	0,00	0,63	0,055	0,14	1,00	1,00	0,035	0,04	-0,29	0,061
	C2F1H1	E1	SE	0,10	0,23	1,22	0,00	0,63	0,055	0,14	1,00	1,00	0,035	0,04	-0,29	0,061
	C3F3H2	E1	NE	0,10	0,23	1,00	0,00	0,63	0,055	0,14	1,00	1,00	0,030	0,03	0,00	0,066
	C3F3H2	E1	SE	0,10	0,23	1,00	0,00	0,63	0,055	0,10	1,00	1,00	0,028	0,03	-7,28	0,068
UNIFAMILIAR	C2F1H1	B3	NE	0,10	1,00	1,22	0,00	1,44	0,055	0,25	1,00	1,00	0,133	0,13	-0,33	0,038
	C2F1H1	B3	SE	0,10	1,00	1,22	0,00	1,44	0,055	0,25	1,00	1,00	0,133	0,13	-0,33	0,038
	C3F3H2	B3	NE	0,10	1,00	1,00	0,00	1,44	0,055	0,25	1,00	1,00	0,112	0,11	0,00	0,016
	C3F3H2	B3	SE	0,10	1,00	1,00	0,00	1,44	0,055	0,25	1,00	1,00	0,112	0,11	0,00	0,016
	C2F1H1	E1	NE	0,10	1,00	1,22	0,00	1,44	0,055	0,25	1,00	1,00	0,133	0,13	-0,33	0,038
	C2F1H1	E1	SE	0,10	1,00	1,22	0,00	1,44	0,055	0,25	1,00	1,00	0,133	0,13	-0,33	0,038
	C3F3H2	E1	NE	0,10	1,00	1,00	0,00	1,44	0,055	0,25	1,00	1,00	0,112	0,11	0,00	0,016
	C3F3H2	E1	SE	0,10	1,00	1,00	0,00	1,44	0,055	0,25	1,00	1,00	0,112	0,11	0,00	0,016
PROMEDIO															-0,46	0,03

Tabla A.2.10 Cálculo del indicador Residuos peligrosos en la fase de fabricación de diferentes combinaciones de la envolvente y comprobación de los errores relativos y absolutos cometidos.

Gen_{resnp}^{Fab} <p style="text-align: center;">Generación de residuos no peligrosos (kg/m²) por metro cuadrado de superficie útil de la vivienda</p> <p style="text-align: center;">FABRICACIÓN</p> <p style="text-align: right;">FASE DE</p>															Comprobación validación		Comprobación validación (error)
TIPOLOGÍA DE EDIFICIO	SOL CONSTRUCTIVA	ZONA CLIMÁTICA	ORIENTACIÓN	cte	$F_{S,cub}$	F_{cub}^{fab}	cte	$F_{S,fac}$	F_{fac}^{fab}	cte	$F_{S,car}$	F_{car}^{fab}	$S_{útil}$	Valor estimado Gen_{resnp}^{Fab}	$\frac{v. estimado - v. real}{valor real} \times 100$	v. real - v. estimado	
ADOSADO	C2F1H1	B3	NE	10,32	0,72	1,56	10,28	0,53	2,23	0,001	0,17	0,00	1,00	23,74	23,75	-0,05	0,013
	C2F1H1	B3	SE	10,32	0,72	1,56	10,28	0,53	2,23	0,001	0,17	0,00	1,00	23,74	23,75	-0,05	0,013
	C3F3H2	B3	NE	10,32	0,72	1,00	10,28	0,53	1,06	0,001	0,17	0,00	1,00	13,21	13,21	-0,01	10,548
	C3F3H2	B3	SE	10,32	0,72	1,00	10,28	0,53	1,06	0,001	0,17	0,00	1,00	13,21	13,21	-0,01	10,548
	C2F1H1	E1	NE	10,32	0,72	1,56	10,28	0,53	2,23	0,001	0,17	0,00	1,00	23,74	23,75	-0,05	0,013
	C2F1H1	E1	SE	10,32	0,72	1,56	10,28	0,53	2,23	0,001	0,17	0,00	1,00	23,74	23,75	-0,05	0,013
	C3F3H2	E1	NE	10,32	0,72	1,00	10,28	0,53	1,06	0,001	0,17	0,00	1,00	13,21	13,21	-0,01	10,548
	C3F3H2	E1	SE	10,32	0,72	1,00	10,28	0,53	1,06	0,001	0,17	0,00	1,00	13,21	13,21	-0,01	10,548
	C3F3H2	E1	SE	10,32	0,72	1,00	10,28	0,53	1,06	0,001	0,17	0,00	1,00	13,21	13,21	-0,01	10,548
BQ. VIVIEN	C2F1H1	B3	NE	10,32	0,23	1,56	10,28	0,63	2,23	0,001	0,14	0,00	1,00	18,15	18,15	-0,01	5,609
	C2F1H1	B3	SE	10,32	0,23	1,56	10,28	0,63	2,23	0,001	0,14	0,00	1,00	18,15	18,15	-0,01	5,609
	C3F3H2	B3	NE	10,32	0,23	1,00	10,28	0,63	1,06	0,001	0,14	0,00	1,00	9,24	9,24	-0,02	14,516
	C3F3H2	B3	SE	10,32	0,23	1,00	10,28	0,63	1,06	0,001	0,14	0,00	1,00	9,24	9,24	-0,02	14,516
	C2F1H1	E1	NE	10,32	0,23	1,56	10,28	0,63	2,23	0,001	0,14	0,00	1,00	18,15	18,15	-0,01	5,609
	C2F1H1	E1	SE	10,32	0,23	1,56	10,28	0,63	2,23	0,001	0,14	0,00	1,00	18,15	18,15	-0,01	5,609
	C3F3H2	E1	NE	10,32	0,23	1,00	10,28	0,63	1,06	0,001	0,14	0,00	1,00	9,24	9,24	-0,02	14,516
	C3F3H2	E1	SE	10,32	0,23	1,00	10,28	0,63	1,06	0,001	0,14	0,00	1,00	9,24	9,24	-0,02	14,516
	C3F3H2	E1	SE	10,32	0,23	1,00	10,28	0,63	1,06	0,001	0,14	0,00	1,00	9,24	9,24	-0,02	14,516
UNIFAMILIAR	C2F1H1	B3	NE	10,32	1,00	1,56	10,28	1,44	2,23	0,001	0,25	0,00	1,00	49,11	49,13	-0,03	25,356
	C2F1H1	B3	SE	10,32	1,00	1,56	10,28	1,44	2,23	0,001	0,25	0,00	1,00	49,11	49,13	-0,03	25,356
	C3F3H2	B3	NE	10,32	1,00	1,00	10,28	1,44	1,06	0,001	0,25	0,00	1,00	26,01	26,02	-0,02	2,257
	C3F3H2	B3	SE	10,32	1,00	1,00	10,28	1,44	1,06	0,001	0,25	0,00	1,00	26,01	26,02	-0,02	2,257
	C2F1H1	E1	NE	10,32	1,00	1,56	10,28	1,44	2,23	0,001	0,25	0,00	1,00	49,11	49,13	-0,03	25,356
	C2F1H1	E1	SE	10,32	1,00	1,56	10,28	1,44	2,23	0,001	0,25	0,00	1,00	49,11	49,13	-0,03	25,356
	C3F3H2	E1	NE	10,32	1,00	1,00	10,28	1,44	1,06	0,001	0,25	0,00	1,00	26,01	26,02	-0,02	2,257
	C3F3H2	E1	SE	10,32	1,00	1,00	10,28	1,44	1,06	0,001	0,25	0,00	1,00	26,01	26,02	-0,02	2,257
	C3F3H2	E1	SE	10,32	1,00	1,00	10,28	1,44	1,06	0,001	0,25	0,00	1,00	26,01	26,02	-0,02	2,257
PROMEDIO															-0,03	9,72	

Tabla A.2.11 Cálculo del indicador Residuos no peligrosos en la fase de fabricación de diferentes combinaciones de la envolvente y comprobación de los errores relativos y absolutos cometidos.

$Cost_{\text{€}/\text{m}^2}^{fab}$ Coste de inversión en (€/m ²) por metro cuadrado de superficie útil de la vivienda															Comprobación validación		Comprobación validación
FASE DE FABRICACIÓN																	
TIPOLOGÍA DE EDIFICIO	SOL. CONSTRUCTIVA	ZONA CLIMÁTICA	ORIENTACIÓN	cte	$F_{S,cub}$	$F_{cub}^{fab} \text{€}/\text{m}^2$	cte	$F_{S,fac}$	$F_{fac}^{fab} \text{€}/\text{m}^2$	cte	$F_{S,car}$	$F_{car}^{fab} \text{€}/\text{m}^2$	$S_{\text{útil}}$	Valor estimado $Cost_{\text{€}/\text{m}^2}^{fab}$	$VALOR REAL IMPACTO Cost_{\text{€}/\text{m}^2}^{fab}$	$v_{\text{real}} - v_{\text{estimado}} \text{€} \times 100$	$v_{\text{real}} - v_{\text{estimado}}$
ADOSADO	C2F1H1	B3	NE	107,32	0,72	1,33	76,38	0,53	1,29	218,94	0,17	1,13	1,00	197,05	194,46	1,33	2,588
	C2F1H1	B3	SE	107,32	0,72	1,33	76,38	0,53	1,29	218,94	0,17	1,13	1,00	197,05	194,46	1,33	2,588
	C3F3H2	B3	NE	107,32	0,72	1,00	76,38	0,53	1,15	218,94	0,17	1,00	1,00	161,04	161,21	-0,10	0,166
	C3F3H2	B3	SE	107,32	0,72	1,00	76,38	0,53	1,15	218,94	0,17	1,00	1,00	161,04	161,21	-0,10	0,166
	C2F1H1	E1	NE	107,32	0,72	1,33	76,38	0,53	1,29	218,94	0,17	1,13	1,00	197,05	194,46	1,33	2,588
	C2F1H1	E1	SE	107,32	0,72	1,33	76,38	0,53	1,29	218,94	0,17	1,13	1,00	197,05	194,46	1,33	2,588
BQ. VIVIEN	C3F3H2	E1	NE	107,32	0,72	1,00	76,38	0,53	1,15	218,94	0,17	1,00	1,00	161,04	161,21	-0,10	0,166
	C3F3H2	E1	SE	107,32	0,72	1,00	76,38	0,53	1,15	218,94	0,17	1,00	1,00	161,04	161,21	-0,10	0,166
	C2F1H1	B3	NE	107,32	0,23	1,33	76,38	0,63	1,29	218,94	0,14	1,13	1,00	129,54	127,22	1,82	2,316
	C2F1H1	B3	SE	107,32	0,23	1,33	76,38	0,63	1,29	218,94	0,14	1,13	1,00	129,54	127,22	1,82	2,316
	C3F3H2	B3	NE	107,32	0,23	1,00	76,38	0,63	1,15	218,94	0,14	1,00	1,00	110,67	110,87	-0,18	0,197
	C3F3H2	B3	SE	107,32	0,23	1,00	76,38	0,63	1,15	218,94	0,14	1,00	1,00	110,67	110,87	-0,18	0,197
UNIFAMILIAR	C2F1H1	E1	NE	107,32	0,23	1,33	76,38	0,63	1,29	218,94	0,14	1,13	1,00	129,54	127,22	1,82	2,316
	C2F1H1	E1	SE	107,32	0,23	1,33	76,38	0,63	1,29	218,94	0,14	1,13	1,00	129,54	127,22	1,82	2,316
	C3F3H2	E1	NE	107,32	0,23	1,00	76,38	0,63	1,15	218,94	0,14	1,00	1,00	110,67	110,87	-0,18	0,197
	C3F3H2	E1	SE	107,32	0,23	1,00	76,38	0,63	1,15	218,94	0,14	1,00	1,00	110,67	110,87	-0,18	0,197
	C2F1H1	B3	NE	107,32	1,00	1,33	76,38	1,44	1,29	218,94	0,25	1,13	1,00	346,47	342,45	1,17	4,019
	C2F1H1	B3	SE	107,32	1,00	1,33	76,38	1,44	1,29	218,94	0,25	1,13	1,00	346,47	342,45	1,17	4,019
UNIFAMILIAR	C3F3H2	B3	NE	107,32	1,00	1,00	76,38	1,44	1,15	218,94	0,25	1,00	1,00	288,54	288,99	-0,16	0,451
	C3F3H2	B3	SE	107,32	1,00	1,00	76,38	1,44	1,15	218,94	0,25	1,00	1,00	288,54	288,99	-0,16	0,451
	C2F1H1	E1	NE	107,32	1,00	1,33	76,38	1,44	1,29	218,94	0,25	1,13	1,00	346,47	342,45	1,17	4,019
	C2F1H1	E1	SE	107,32	1,00	1,33	76,38	1,44	1,29	218,94	0,25	1,13	1,00	346,47	342,45	1,17	4,019
	C3F3H2	E1	NE	107,32	1,00	1,00	76,38	1,44	1,15	218,94	0,25	1,00	1,00	288,54	288,99	-0,16	0,451
	C3F3H2	E1	SE	107,32	1,00	1,00	76,38	1,44	1,15	218,94	0,25	1,00	1,00	288,54	288,99	-0,16	0,451
PROMEDIO																0,65	1,62

Tabla A.2.12 Cálculo del indicador Coste de inversión en la fase de fabricación de diferentes combinaciones de la envolvente y comprobación de los errores relativos y absolutos cometidos.

Coste de inversión en (€/m²) por metro cuadrado de superficie útil de la vivienda															Comprobación validación		Comprobación validación
FASE DE MANTENIMIENTO																	
TIPOLOGÍA DE EDIFICIO	SOL CONSTRUCTIVA	ZONA CLIMÁTICA	ORIENTACIÓN	cte	$F_{S, cub}$	$F_{cub}^{man} €/m^2$	cte	$F_{S, fac}$	$F_{fac}^{man} €/m^2$	cte	$F_{S, car}$	$Cost_{€/m^2}^{man}$	$S_{útil}$	Valor estimado	$VALOR REAL IMPACTO$	$\frac{v. estimado - v. real}{valor real} \times 100$	v. real - v. estimado
Cost_{€/m²}															Cost_{€/m²}		
ADOSADO	C2F1H1	B3	NE	67,24	0,72	1,39	11,78	0,53	1,92	165,24	0,17	1,00	1,00	107,37	107,58	-0,19	0,207
	C2F1H1	B3	SE	67,24	0,72	1,39	11,78	0,53	1,92	165,24	0,17	1,00	1,00	107,37	107,58	-0,19	0,207
	C3F3H2	B3	NE	67,24	0,72	1,00	11,78	0,53	1,92	165,24	0,17	1,00	1,00	88,49	88,51	-0,03	0,022
	C3F3H2	B3	SE	67,24	0,72	1,00	11,78	0,53	1,92	165,24	0,17	1,00	1,00	88,49	88,51	-0,03	0,022
	C2F1H1	E1	NE	67,24	0,72	1,39	11,78	0,53	1,92	165,24	0,17	1,00	1,00	107,37	107,58	-0,19	0,207
	C2F1H1	E1	SE	67,24	0,72	1,39	11,78	0,53	1,92	165,24	0,17	1,00	1,00	107,37	107,58	-0,19	0,207
	C3F3H2	E1	NE	67,24	0,72	1,00	11,78	0,53	1,92	165,24	0,17	1,00	1,00	88,49	88,51	-0,03	0,022
	C3F3H2	E1	SE	67,24	0,72	1,00	11,78	0,53	1,92	165,24	0,17	1,00	1,00	88,49	88,51	-0,03	0,022
BQ. VIVIEN	C2F1H1	B3	NE	67,24	0,23	1,39	11,78	0,63	1,92	165,24	0,14	1,00	1,00	58,88	58,97	-0,15	0,086
	C2F1H1	B3	SE	67,24	0,23	1,39	11,78	0,63	1,92	165,24	0,14	1,00	1,00	58,88	58,97	-0,15	0,086
	C3F3H2	B3	NE	67,24	0,23	1,00	11,78	0,63	1,92	165,24	0,14	1,00	1,00	52,85	52,87	-0,05	0,027
	C3F3H2	B3	SE	67,24	0,23	1,00	11,78	0,63	1,92	165,24	0,14	1,00	1,00	52,85	52,87	-0,05	0,027
	C2F1H1	E1	NE	67,24	0,23	1,39	11,78	0,63	1,92	165,24	0,14	1,00	1,00	58,88	58,97	-0,15	0,086
	C2F1H1	E1	SE	67,24	0,23	1,39	11,78	0,63	1,92	165,24	0,14	1,00	1,00	58,88	58,97	-0,15	0,086
	C3F3H2	E1	NE	67,24	0,23	1,00	11,78	0,63	1,92	165,24	0,14	1,00	1,00	52,85	52,87	-0,05	0,027
	C3F3H2	E1	SE	67,24	0,23	1,00	11,78	0,63	1,92	165,24	0,14	1,00	1,00	52,85	52,87	-0,05	0,027
UNIFAMILIAR	C2F1H1	B3	NE	67,24	1,00	1,39	11,78	1,44	1,92	165,24	0,25	1,00	1,00	167,34	167,66	-0,19	0,317
	C2F1H1	B3	SE	67,24	1,00	1,39	11,78	1,44	1,92	165,24	0,25	1,00	1,00	167,34	167,66	-0,19	0,317
	C3F3H2	B3	NE	67,24	1,00	1,00	11,78	1,44	1,92	165,24	0,25	1,00	1,00	141,12	141,18	-0,04	0,061
	C3F3H2	B3	SE	67,24	1,00	1,00	11,78	1,44	1,92	165,24	0,25	1,00	1,00	141,12	141,18	-0,04	0,061
	C2F1H1	E1	NE	67,24	1,00	1,39	11,78	1,44	1,92	165,24	0,25	1,00	1,00	167,34	167,66	-0,19	0,317
	C2F1H1	E1	SE	67,24	1,00	1,39	11,78	1,44	1,92	165,24	0,25	1,00	1,00	167,34	167,66	-0,19	0,317
	C3F3H2	E1	NE	67,24	1,00	1,00	11,78	1,44	1,92	165,24	0,25	1,00	1,00	141,12	141,18	-0,04	0,061
	C3F3H2	E1	SE	67,24	1,00	1,00	11,78	1,44	1,92	165,24	0,25	1,00	1,00	141,12	141,18	-0,04	0,061
														PROMEDIO	-0,11	0,12	

Tabla A.2.13 Cálculo del indicador Coste de inversión en la fase de mantenimiento de diferentes combinaciones de la envolvente y comprobación de los errores relativos y absolutos cometidos.

$Cost_{ep}^{fab} \text{ €/m}^2$ Coste del consumo de energía primaria en (€ kWh/m ²) FABRICACIÓN														FASE DE		Comprobación validación		Comprobación validación
TIPOLOGÍA DE EDIFICIO	SOL. CONSTRUCTIVA	ZONA CLIMÁTICA	ORIENTACIÓN	cte	$F_{S,cub}$	$F_{cub}^{fab} \text{ kWh}$	cte	$F_{S,fac}$	$F_{fac}^{fab} \text{ kWh}$	cte	$F_{S,car}$	$F_{car}^{fab} \text{ kWh}$	tarifa coste electricidad *	Valor estimado INDICADOR $Cost_{ep}^{fab} \text{ €/m}^2$	VALOR REAL DEL IMPACTO $Cost_{ep}^{fab} \text{ €/m}^2$	$\frac{v.\text{estimado} - v.\text{real}}{v.\text{real}} \times 100$	v. real - v. estimado	
ADOSADO	C2F1H1	B3	NE	418,84	0,72	1,13	134,44	0,53	1,62	169,85	0,17	7,09	0,181126	119,71	119,62	0,07	0,09	
	C2F1H1	B3	SE	418,84	0,72	1,13	134,44	0,53	1,62	169,85	0,17	7,09	0,181126	119,71	119,62	0,07	0,09	
	C3F3H2	B3	NE	418,84	0,72	1,00	134,44	0,53	1,60	169,85	0,17	4,38	0,181126	98,18	98,19	-0,01	0,01	
	C3F3H2	B3	SE	418,84	0,72	1,00	134,44	0,53	1,60	169,85	0,17	4,38	0,181126	98,18	98,19	-0,01	0,01	
	C2F1H1	E1	NE	418,84	0,72	1,13	134,44	0,53	1,62	169,85	0,17	7,09	0,181126	119,71	119,62	0,07	0,09	
	C2F1H1	E1	SE	418,84	0,72	1,13	134,44	0,53	1,62	169,85	0,17	7,09	0,181126	119,71	119,62	0,07	0,09	
	C3F3H2	E1	NE	418,84	0,72	1,00	134,44	0,53	1,60	169,85	0,17	4,38	0,181126	98,18	98,19	-0,01	0,01	
	C3F3H2	E1	SE	418,84	0,72	1,00	134,44	0,53	1,60	169,85	0,17	4,38	0,181126	98,18	98,19	-0,01	0,01	
BQ. VIVIEN	C2F1H1	B3	NE	418,84	0,23	1,13	134,44	0,63	1,62	169,85	0,14	7,09	0,181126	75,11	75,10	0,00	0,00	
	C2F1H1	B3	SE	418,84	0,23	1,13	134,44	0,63	1,62	169,85	0,14	7,09	0,181126	75,11	75,10	0,00	0,00	
	C3F3H2	B3	NE	418,84	0,23	1,00	134,44	0,63	1,60	169,85	0,14	4,38	0,181126	60,86	60,87	-0,03	0,02	
	C3F3H2	B3	SE	418,84	0,23	1,00	134,44	0,63	1,60	169,85	0,14	4,38	0,181126	60,86	60,87	-0,03	0,02	
	C2F1H1	E1	NE	418,84	0,23	1,13	134,44	0,63	1,62	169,85	0,14	7,09	0,181126	75,11	75,10	0,00	0,00	
	C2F1H1	E1	SE	418,84	0,23	1,13	134,44	0,63	1,62	169,85	0,14	7,09	0,181126	75,11	75,10	0,00	0,00	
	C3F3H2	E1	NE	418,84	0,23	1,00	134,44	0,63	1,60	169,85	0,14	4,38	0,181126	60,86	60,87	-0,03	0,02	
	C3F3H2	E1	SE	418,84	0,23	1,00	134,44	0,63	1,60	169,85	0,14	4,38	0,181126	60,86	60,87	-0,03	0,02	
UNIFAMILIAR	C2F1H1	B3	NE	418,84	1,00	1,13	134,44	1,44	1,62	169,85	0,25	7,09	0,181126	197,06	196,99	0,04	0,07	
	C2F1H1	B3	SE	418,84	1,00	1,13	134,44	1,44	1,62	169,85	0,25	7,09	0,181126	197,06	196,99	0,04	0,07	
	C3F3H2	B3	NE	418,84	1,00	1,00	134,44	1,44	1,60	169,85	0,25	4,38	0,181126	165,65	165,69	-0,02	0,04	
	C3F3H2	B3	SE	418,84	1,00	1,00	134,44	1,44	1,60	169,85	0,25	4,38	0,181126	165,65	165,69	-0,02	0,04	
	C2F1H1	E1	NE	418,84	1,00	1,13	134,44	1,44	1,62	169,85	0,25	7,09	0,181126	197,06	196,99	0,04	0,07	
	C2F1H1	E1	SE	418,84	1,00	1,13	134,44	1,44	1,62	169,85	0,25	7,09	0,181126	197,06	196,99	0,04	0,07	
	C3F3H2	E1	NE	418,84	1,00	1,00	134,44	1,44	1,60	169,85	0,25	4,38	0,181126	165,65	165,69	-0,02	0,04	
	C3F3H2	E1	SE	418,84	1,00	1,00	134,44	1,44	1,60	169,85	0,25	4,38	0,181126	165,65	165,69	-0,02	0,04	
															PROMEDIO	0,01	0,04	

Tabla A.2.14 Cálculo del indicador Coste del consumo de energía primaria en la fase de fabricación de diferentes combinaciones de la envolvente y comprobación de los errores relativos y absolutos cometidos.

$Cost_{ep}^{man}$ €/m ² Coste del consumo de energía primaria en (€ kWh/m ²) por metro cuadrado de superficie útil de la vivienda FASE DE MANTENIMIENTO															Comprobación validación		Comprobación validación
TIPOLOGÍA DE EDIFICIO	SOL CONSTRUCTIVA	ZONA CLIMÁTICA	ORIENTACIÓN	cte	$F_{S,cub}$	F_{cub}^{man} kWh	cte	$F_{S,fac}$	F_{fac}^{man} kWh	cte	$F_{S,car}$	F_{car}^{man} kWh	tarifa coste electricidad *	Valor estimado $Cost_{ep}^{man}$ €/m ²	VALOR REAL DEL IMPACTO $Cost_{ep}^{man}$ €/m ²	$\frac{v.\text{estimado} - v.\text{real}}{\text{valor real}} \times 100$	v. real - v. estimado
ADOSADO	C2F1H1	B3	NE	130,51	0,72	1,32	13,00	0,53	1,00	300,99	0,17	1,00	0,181126	32,98	33,14	-0,48	0,16
	C2F1H1	B3	SE	130,51	0,72	1,32	13,00	0,53	1,00	300,99	0,17	1,00	0,181126	32,98	33,14	-0,48	0,16
	C3F3H2	B3	NE	130,51	0,72	1,00	13,00	0,53	1,00	300,99	0,17	1,00	0,181126	27,54	27,64	-0,38	0,10
	C3F3H2	B3	SE	130,51	0,72	1,00	13,00	0,53	1,00	300,99	0,17	1,00	0,181126	27,54	27,64	-0,38	0,10
	C2F1H1	E1	NE	130,51	0,72	1,32	13,00	0,53	1,00	300,99	0,17	1,00	0,181126	32,98	33,14	-0,48	0,16
	C2F1H1	E1	SE	130,51	0,72	1,32	13,00	0,53	1,00	300,99	0,17	1,00	0,181126	32,98	33,14	-0,48	0,16
	C3F3H2	E1	NE	130,51	0,72	1,00	13,00	0,53	1,00	300,99	0,17	1,00	0,181126	27,54	27,64	-0,38	0,10
	C3F3H2	E1	SE	130,51	0,72	1,00	13,00	0,53	1,00	300,99	0,17	1,00	0,181126	27,54	27,64	-0,38	0,10
BQ. VIVIEN	C2F1H1	B3	NE	130,51	0,23	1,32	13,00	0,63	1,00	300,99	0,14	1,00	0,181126	16,29	16,43	-0,86	0,14
	C2F1H1	B3	SE	130,51	0,23	1,32	13,00	0,63	1,00	300,99	0,14	1,00	0,181126	16,29	16,43	-0,86	0,14
	C3F3H2	B3	NE	130,51	0,23	1,00	13,00	0,63	1,00	300,99	0,14	1,00	0,181126	14,55	14,68	-0,85	0,12
	C3F3H2	B3	SE	130,51	0,23	1,00	13,00	0,63	1,00	300,99	0,14	1,00	0,181126	14,55	14,68	-0,85	0,12
	C2F1H1	E1	NE	130,51	0,23	1,32	13,00	0,63	1,00	300,99	0,14	1,00	0,181126	16,29	16,43	-0,86	0,14
	C2F1H1	E1	SE	130,51	0,23	1,32	13,00	0,63	1,00	300,99	0,14	1,00	0,181126	16,29	16,43	-0,86	0,14
	C3F3H2	E1	NE	130,51	0,23	1,00	13,00	0,63	1,00	300,99	0,14	1,00	0,181126	14,55	14,68	-0,85	0,12
	C3F3H2	E1	SE	130,51	0,23	1,00	13,00	0,63	1,00	300,99	0,14	1,00	0,181126	14,55	14,68	-0,85	0,12
UNIFAMILIAR	C2F1H1	B3	NE	130,51	1,00	1,32	13,00	1,44	1,00	300,99	0,25	1,00	0,181126	48,22	48,58	-0,74	0,36
	C2F1H1	B3	SE	130,51	1,00	1,32	13,00	1,44	1,00	300,99	0,25	1,00	0,181126	48,22	48,58	-0,74	0,36
	C3F3H2	B3	NE	130,51	1,00	1,00	13,00	1,44	1,00	300,99	0,25	1,00	0,181126	40,66	40,94	-0,69	0,28
	C3F3H2	B3	SE	130,51	1,00	1,00	13,00	1,44	1,00	300,99	0,25	1,00	0,181126	40,66	40,94	-0,69	0,28
	C2F1H1	E1	NE	130,51	1,00	1,32	13,00	1,44	1,00	300,99	0,25	1,00	0,181126	48,22	48,58	-0,74	0,36
	C2F1H1	E1	SE	130,51	1,00	1,32	13,00	1,44	1,00	300,99	0,25	1,00	0,181126	48,22	48,58	-0,74	0,36
	C3F3H2	E1	NE	130,51	1,00	1,00	13,00	1,44	1,00	300,99	0,25	1,00	0,181126	40,66	40,94	-0,69	0,28
	C3F3H2	E1	SE	130,51	1,00	1,00	13,00	1,44	1,00	300,99	0,25	1,00	0,181126	40,66	40,94	-0,69	0,28
															PROMEDIO	-0,67	0,20

Tabla A.2.15 Cálculo del indicador Coste del consumo de energía primaria en la fase de mantenimiento de diferentes combinaciones de la envolvente y comprobación de los errores relativos y absolutos cometidos.

Coste del consumo de energía primaria en (€ kWh/m ²) de las instalaciones de calefacción por metro cuadrado de superficie útil de la vivienda															Comprobación validación		Comprobación validación
TIPOLOGÍA DE EDIFICIO	SOL. CONSTRUCTIVA	ZONA CLIMÁTICA	ORIENTACIÓN	cte	FASE DE USO					N años	S útil	F tipo viv	tarifa coste electricidad *	Valor estimado Cost ^{uso} ep €/m ² cal	VALOR REAL IMPACTO Cost ^{uso} ep €/m ² cal	v. estimado - v. real valor real	v. real - v. estimado
					F ^{uso} Z kWh/cal	F ^{uso} Or kWh/cal	F ^{uso} sup kWh/cal	F ^{uso} fac kWh/cal	F ^{uso} est kWh/cal								
ADOSADO	C2F1H1	B3	NE	116,40	-89,40	0,10	3,21	14,32	1,27	50,00	1,00	1,00	0,181126	415,68	400,29	3,85	15,40
	C2F1H1	B3	SE	116,40	-89,40	0,00	3,21	14,32	1,27	50,00	1,00	1,00	0,181126	414,78	400,29	3,62	14,49
	C3F3H2	B3	NE	116,40	-89,40	0,10	0,00	5,36	-0,27	50,00	1,00	1,00	0,181126	291,52	330,55	-11,81	39,03
	C3F3H2	B3	SE	116,40	-89,40	0,00	0,00	5,36	-0,27	50,00	1,00	1,00	0,181126	290,62	329,65	-11,84	39,03
	C2F1H1	E1	NE	116,40	0,00	0,10	3,21	14,32	1,27	50,00	1,00	1,00	0,181126	1225,32	1245,24	-1,60	19,92
	C2F1H1	E1	SE	116,40	0,00	0,00	3,21	14,32	1,27	50,00	1,00	1,00	0,181126	1224,41	1228,03	-0,29	3,62
	C3F3H2	E1	NE	116,40	0,00	0,10	0,00	5,36	-0,27	50,00	1,00	1,00	0,181126	1101,16	1072,27	2,69	28,89
	C3F3H2	E1	SE	116,40	0,00	0,00	0,00	5,36	-0,27	50,00	1,00	1,00	0,181126	1100,25	1071,36	2,70	28,89
	BQ. VIVIEN	C2F1H1	B3	NE	116,40	-89,40	0,10	3,21	14,32	1,27	50,00	1,00	0,88	0,181126	365,80	371,31	-1,48
C2F1H1		B3	SE	116,40	-89,40	0,00	3,21	14,32	1,27	50,00	1,00	0,88	0,181126	365,01	260,82	39,94	104,18
C3F3H2		B3	NE	116,40	-89,40	0,10	0,00	5,36	-0,27	50,00	1,00	0,88	0,181126	256,54	311,54	-17,65	55,00
C3F3H2		B3	SE	116,40	-89,40	0,00	0,00	5,36	-0,27	50,00	1,00	0,88	0,181126	255,74	260,82	-1,95	5,08
C2F1H1		E1	NE	116,40	0,00	0,10	3,21	14,32	1,27	50,00	1,00	0,98	0,181126	1200,81	1238,00	-3,00	37,19
C2F1H1		E1	SE	116,40	0,00	0,00	3,21	14,32	1,27	50,00	1,00	0,98	0,181126	1199,92	1159,21	3,51	40,72
C3F3H2		E1	NE	116,40	0,00	0,10	0,00	5,36	-0,27	50,00	1,00	0,98	0,181126	1079,13	1100,34	-1,93	21,21
C3F3H2		E1	SE	116,40	0,00	0,00	0,00	5,36	-0,27	50,00	1,00	0,98	0,181126	1078,24	1019,74	5,74	58,51
UNIFAMILIAR		C2F1H1	B3	NE	116,40	-89,40	0,10	3,21	14,32	1,27	50,00	1,00	1,27	0,181126	527,92	539,76	-2,19
	C2F1H1	B3	SE	116,40	-89,40	0,00	3,21	14,32	1,27	50,00	1,00	1,27	0,181126	526,77	485,42	8,52	41,35
	C3F3H2	B3	NE	116,40	-89,40	0,10	0,00	5,36	-0,27	50,00	1,00	1,27	0,181126	370,23	446,48	-17,08	76,24
	C3F3H2	B3	SE	116,40	-89,40	0,00	0,00	5,36	-0,27	50,00	1,00	1,27	0,181126	369,08	387,61	-4,78	18,53
	C2F1H1	E1	NE	116,40	0,00	0,10	3,21	14,32	1,27	50,00	1,00	1,24	0,181126	1519,39	1694,43	-10,33	175,04
	C2F1H1	E1	SE	116,40	0,00	0,00	3,21	14,32	1,27	50,00	1,00	1,24	0,181126	1518,27	1551,34	-2,13	33,07
	C3F3H2	E1	NE	116,40	0,00	0,10	0,00	5,36	-0,27	50,00	1,00	1,24	0,181126	1365,43	1305,01	4,63	60,42
	C3F3H2	E1	SE	116,40	0,00	0,00	0,00	5,36	-0,27	50,00	1,00	1,24	0,181126	1364,31	1238,90	10,12	125,41
	PROEMDIO															-0,11	44,11

Tabla A.2.16 Cálculo del indicador Coste del consumo de energía primaria en la fase de uso debido a las instalaciones de calefacción y comprobación de los errores relativos y absolutos cometidos.

Coste del consumo de energía primaria en (kWh/m ²) de las instalaciones de refrigeración por metro cuadrado de superficie útil de la vivienda																Comprobación validación		Comprobación validación
FASE DE USO																		
TIPOLOGÍA DE EDIFICIO	SOL. CONSTRUCTIVA	ZONA CLIMÁTICA	ORIENTACIÓN	cte	F_{usoZ} kWh/cal	F_{usoOr} kWh/cal	$F_{usoClim}$ kWh/cal	F_{usoFac} kWh/cal	F_{usoCar} kWh/cal	Nº años	S _{útil}	F _{tipoviv}	tarifa coste electricidad *	Valor estimado Cost _{uso} €/m ² ref	VALOR REAL IMPACTO Cost _{uso} €/m ² ref	v. estimado - v. real valor real X 100	v. real - v. estimado	
ADOSADO	C2F1H1	B3	NE	6,28	18,65	-0,01	0,46	-5,78	-0,30	50,00	1,00	1,00	0,181126	174,79	178,41	-2,03	3,62	
	C2F1H1	B3	SE	6,28	18,65	0,00	0,46	-5,78	-0,30	50,00	1,00	1,00	0,181126	174,88	164,82	6,10	10,05	
	C3F3H2	B3	NE	6,28	18,65	-0,01	0,00	-6,02	-0,23	50,00	1,00	1,00	0,181126	169,08	157,58	7,30	11,50	
	C3F3H2	B3	SE	6,28	18,65	0,00	0,00	-6,02	-0,23	50,00	1,00	1,00	0,181126	169,17	154,86	9,24	14,31	
	C2F1H1	E1	NE	6,28	0,00	-0,01	0,46	-5,78	-0,30	50,00	1,00	1,00	0,181126	5,89	11,77	-50,00	5,89	
	C2F1H1	E1	SE	6,28	0,00	0,00	0,46	-5,78	-0,30	50,00	1,00	1,00	0,181126	5,98	11,77	-49,23	5,80	
	C3F3H2	E1	NE	6,28	0,00	-0,01	0,00	-6,02	-0,23	50,00	1,00	1,00	0,181126	0,18	6,34	-97,14	6,16	
	C3F3H2	E1	SE	6,28	0,00	0,00	0,00	-6,02	-0,23	50,00	1,00	1,00	0,181126	0,27	6,34	-95,71	6,07	
BQ. VIVIEN	C2F1H1	B3	NE	6,28	18,65	-0,01	0,46	-5,78	-0,30	50,00	1,00	0,69	0,181126	120,60	106,86	12,86	13,74	
	C2F1H1	B3	SE	6,28	18,65	0,00	0,46	-5,78	-0,30	50,00	1,00	0,69	0,181126	120,67	115,92	4,09	4,74	
	C3F3H2	B3	NE	6,28	18,65	-0,01	0,00	-6,02	-0,23	50,00	1,00	0,69	0,181126	116,67	105,96	10,11	10,71	
	C3F3H2	B3	SE	6,28	18,65	0,00	0,00	-6,02	-0,23	50,00	1,00	0,69	0,181126	116,73	119,54	-2,35	2,81	
	C2F1H1	E1	NE	6,28	0,00	-0,01	0,46	-5,78	-0,30	50,00	1,00	0,11	0,181126	0,65	0,91	-28,50	0,26	
	C2F1H1	E1	SE	6,28	0,00	0,00	0,46	-5,78	-0,30	50,00	1,00	0,11	0,181126	0,66	0,91	-27,40	0,25	
	C3F3H2	E1	NE	6,28	0,00	-0,01	0,00	-6,02	-0,23	50,00	1,00	0,11	0,181126	0,02	0,91	-97,80	0,89	
	C3F3H2	E1	SE	6,28	0,00	0,00	0,00	-6,02	-0,23	50,00	1,00	0,11	0,181126	0,03	0,91	-96,70	0,88	
UNIFAMILIAR	C2F1H1	B3	NE	6,28	18,65	-0,01	0,46	-5,78	-0,30	50,00	1,00	1,53	0,181126	267,42	244,78	9,25	22,64	
	C2F1H1	B3	SE	6,28	18,65	0,00	0,46	-5,78	-0,30	50,00	1,00	1,53	0,181126	267,56	262,63	1,88	4,93	
	C3F3H2	B3	NE	6,28	18,65	-0,01	0,00	-6,02	-0,23	50,00	1,00	1,53	0,181126	258,69	235,46	9,87	23,23	
	C3F3H2	B3	SE	6,28	18,65	0,00	0,00	-6,02	-0,23	50,00	1,00	1,53	0,181126	258,83	255,39	1,35	3,45	
	C2F1H1	E1	NE	6,28	0,00	-0,01	0,46	-5,78	-0,30	50,00	1,00	0,29	0,181126	1,71	0,00	#DIV/0!	1,71	
	C2F1H1	E1	SE	6,28	0,00	0,00	0,46	-5,78	-0,30	50,00	1,00	0,29	0,181126	1,73	0,00	#DIV/0!	1,73	
	C3F3H2	E1	NE	6,28	0,00	-0,01	0,00	-6,02	-0,23	50,00	1,00	0,29	0,181126	0,05	0,00	#DIV/0!	0,05	
	C3F3H2	E1	SE	6,28	0,00	0,00	0,00	-6,02	-0,23	50,00	1,00	0,29	0,181126	0,08	0,00	#DIV/0!	0,08	
PROMEDIO															#DIV/0!	6,48		

Tabla A.2.17 Cálculo del indicador Coste del consumo de energía primaria en la fase de uso debido a las instalaciones de calefacción y comprobación de los errores relativos y absolutos cometidos