

METODOLOGÍA BASADA EN ACV PARA LA EVALUACIÓN DE SOSTENIBILIDAD EN EDIFICIOS

JUANMA HERNANDEZ-SANCHEZ

Dirigido por XAVIER ROCA y codirigido por MARTA GANGOLELLS
Universitat Politècnica de Catalunya

A Rosa,

por su apoyo, paciencia y confianza.

A Elsa y Fiona,

por sus sonrisas.

ABSTRACT

This methodology is aimed at assessing the environmental impact of buildings, their economic cost and social impact, taking into account the entire life cycle in a systematic, flexible, simple, holistic manner and focused on the comparison of results.

Each building has its own characteristics and the application of the life-cycle assessment (LCA) is different in each case. But buildings also have common characteristics, such as materials, construction processes, facilities, building materials and building use. These similarities should enable straightforward comparison between buildings, especially those that are of the same construction type. However, the interpretation, objective, scope and system limits of a life-cycle assessment mean that the results are barely comparable, even if the buildings being compared are similar.

The LCA standard methodology is suitable for all products, processes and services. However, it is very open and requires many iterations. The proposed method adjusts the LCA standard methodology for its exclusive use in buildings, avoiding repetition, adapting to all ways of acting from methodology users, and working for all different buildings and areas of sustainability.

The methodology consists of five phases. In the first phase the system and the general characteristics of the study are defined. In the second phase the necessary documentation to be used in the rest of the methodology is gathered. In the third phase the information found in the documentation is processed and the inventory data is carried out. In the fourth phase, using the inventory data, the required calculations and analysis of the life cycle are carried out. Finally in the fifth and final phase the results are presented.

Three adaptations to the methodology for specific uses have also been made. The first adaptation consists in analysis of alternatives, in which by changing a parameter, or combination of parameters, the best alternative for a certain purpose is revealed. The second adjustment consists in refurbishment, in which the building has not yet reached the end of its useful life and it is desired to reduce energy consumption and improve the welfare and comfort of the occupants. The last adjustment consists in dwelling stock, group of buildings that make up a neighbourhood, district, city, region, country or group of countries.

The application of the methodology to a case study confirms that the methodology is suitable for use and that the results are comparable to those using the LCA standard methodology.

A life-cycle assessment adapted to the domain of the buildings is as simple and straightforward as a general one, obtaining the same results. Using this methodology a dispersion in the way of processing the data is avoided. The spread of relevant data for the buildings allows for greater ease

in comparing results between different studies that apply this methodology.

The methodology is useful to gather and organize information about buildings, allowing for the preparation of a summary, with the intention to communicate. It also assists in the design process, highlighting the key issues and their relative importance. It is therefore significantly useful for actors who make decisions in the design stage and develop strategies tailored to the objectives. This methodology improves each of the phases of the building process and the whole building, and it increases competitiveness, social satisfaction and ensures sustainability.

RESUMEN

Esta metodología está orientada a evaluar el impacto medioambiental de los edificios, su coste económico y su efecto social, teniendo en cuenta todo el ciclo de vida, de una manera sistematizada, flexible, simple, holística y orientada a la comparación de los resultados.

Cada edificio tiene sus propias características y la aplicación del análisis de ciclo de vida (ACV) es diferente para cada caso. Pero los edificios también presentan características comunes, como materiales, procesos de construcción, instalaciones, elementos constructivos y uso del edificio. Estas similitudes deberían permitir una fácil comparación entre edificios, especialmente los que son del mismo tipo constructivo. Sin embargo, la interpretación, el objetivo, el alcance y los límites del sistema de un análisis de ciclo de vida hacen que los resultados sean difícilmente comparables entre sí, aunque los edificios a comparar sean semejantes.

La metodología estándar de ACV es apta para todos los productos, procesos y servicios. Sin embargo, es muy abierta y requiere que se hagan muchas reiteraciones. La metodología propuesta ajusta la metodología estándar de ACV para su uso exclusivo en los edificios, evitando reiteraciones, adaptándose a todas las maneras de proceder de los usuarios de la metodología, que sirva para todos los edificios y para los diferentes ámbitos de la sostenibilidad.

La metodología se compone de cinco fases. En la primera fase se define el sistema y las características generales del estudio. En la segunda fase se reúne la documentación necesaria que se usará en el resto de la metodología. En la tercera fase se procesa esta información contenida en la documentación y se realiza el inventario de datos. En la cuarta fase, utilizando los datos del inventario, se realizan por una parte los cálculos necesarios y por otra el análisis del ciclo de vida. Finalmente en la quinta y última fase se exponen los resultados.

También se han realizado tres adaptaciones de la metodología para usos específicos. La primera adaptación es para análisis de alternativas, en el que al variar un parámetro o combinación de parámetros se puede ver qué alternativa es mejor para un cierto propósito. La segunda adaptación es para la rehabilitación, en el que el edificio aún no ha llegado al fin de su vida útil y

se desea disminuir el consumo energético y aumentar el bienestar y comodidad de los ocupantes. La última adaptación es para un parque de edificios, que es un conjunto de edificios que conforman un barrio, un distrito, una ciudad, una región, un país o un conjunto de países.

La aplicación de la metodología a un caso práctico confirma que la metodología es apta para ser empleada y se obtienen los resultados esperados para la realización del ACV según el método estándar.

Un análisis de ciclo de vida adaptado al dominio de los edificios resulta más simple y directo que uno general, llegando a los mismos resultados. La utilización de esta metodología evita una dispersión en la manera de procesar los datos y, junto con la difusión de los datos relevantes de los edificios, permite una mayor facilidad en la comparación de los resultados entre diferentes estudios que apliquen esta metodología.

Además, la metodología tiene la utilidad de recoger y organizar la información relativa al edificio, lo que permite elaborar un resumen con la función de comunicar. También asiste el proceso de diseño, dejando ver cuáles son los aspectos clave y cuál es su importancia relativa. Por tanto, es considerablemente útil para los actores (promotor, proyectista, propietarios y usuarios) que toman decisiones en la etapa de diseño y que puedan desarrollar estrategias adecuadas a los objetivos propuestos. Esta metodología mejora cada una de las fases del edificio y su conjunto, incrementando la competitividad, la satisfacción social y garantizando la sostenibilidad.

*On fait la science avec des faits comme une maison avec des pierres;
mais une accumulation de faits n'est pas plus une science
qu'un tas de pierres n'est une maison.*

Science is built up with facts, as a house is with stones.
But a collection of facts is no more a science
than a heap of stones is a house.

— Henri Poincaré

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mis sinceros agradecimientos a los directores de esta tesis Dr. Xavier Roca y Dra. Marta Gangoellls, por su interés y apoyo, por los acertados consejos y su activa participación. También deseo agradecer a Dr. Miquel Casals por su implicación en la gestación y en las primeras etapas de la tesis.

A la *Universitat Politècnica de Catalunya* y especialmente al *Departament de Projectes*, por el inestimable apoyo recibido durante el doctorado. En especial a Daniel Garcia, Dr. Josep M^a Domènech, Dr. Santiago Gassó y Emmanuele Ferrari.

A los compañeros del *Departament d'Enginyeria de la Construcció* y grupo de investigación GRIC: Quirze Vilella, Patrice Grubius y M^a Carmen Goyenche.

A los compañeros de doctorado: Enrique Topete, Vicente Reyes y Marco Lino Calderón.

A quienes ya son doctores: Dra. Luz Rangel.

A Ian Stephens por su ayuda en el idioma inglés.

Y a todos aquellos que directa e indirectamente han colaborado en la elaboración de esta tesis.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS	xv
ÍNDICE DE FIGURAS	xvii
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Justificación	2
1.2 Objetivos	3
1.2.1 Específicos	3
1.3 Metodología de trabajo	5
1.4 Estructura del documento	7
2 ESTADO DE LA TÉCNICA	9
2.1 Sostenibilidad	10
2.2 Cambio climático	13
2.2.1 Contribución de los edificios al cambio climático	14
2.2.2 Iniciativas de atenuación de emisiones en los edificios	15
2.2.3 El clima actual y su tendencia	17
2.2.4 Escenarios de emisiones	19
2.3 Datos sobre edificios existentes	22
2.3.1 Clasificación tipológica de la construcción	22
2.3.2 Estado del parque edificatorio	27
2.4 Consumo y emisiones de edificios	37
2.4.1 Consumo y emisiones de una vivienda	37
2.4.2 Consumo y emisiones totales del sector residencial	40
2.4.3 Prospección de energía y de emisiones	44
2.5 Medidas de mejora de la eficiencia energética	46
2.5.1 Barreras	47
2.5.2 Medidas de mejora	48
2.5.3 Potencial de ahorro	52
2.6 Análisis de Ciclo de Vida (ACV)	55
2.6.1 Vida útil	55
2.6.2 Unidad funcional	56
2.6.3 Categorías de impacto	57
2.6.4 Métodos de evaluación de impacto	62
2.6.5 Bases de datos	65
2.6.6 Herramientas de ACV	65
2.7 Agentes de la edificación y toma de decisiones	69
2.7.1 Agentes de la edificación	69
2.7.2 Relación de los agentes de la edificación y las fases en la toma de decisiones	70
2.7.3 Descripción de los agentes y las decisiones	72
2.8 Energía operacional e incorporada	78
2.8.1 Energía incorporada en el transporte	80
2.8.2 Energía incorporada en los materiales y en la construcción	80
2.8.3 Energía incorporada en el mantenimiento y en la rehabilitación	81
2.8.4 Energía incorporada en el fin de vida	82
2.8.5 Energía incorporada versus energía operacional	83

Índice general

2.9	Conclusiones del estado de la técnica	85
2.9.1	Sostenibilidad	85
2.9.2	Cambio climático	85
2.9.3	Datos sobre edificios existentes	86
2.9.4	Consumo y emisiones de edificios	87
2.9.5	Medidas de mejora de la eficiencia energética	88
2.9.6	ACV	89
2.9.7	Agentes de la edificación y toma de decisiones	90
2.9.8	Energía operacional e incorporada	90
2.10	Hipótesis	92
2.10.1	Hipótesis específicas	92
3	METODOLOGÍA PROPUESTA	93
3.1	Esquema de la metodología	94
3.2	Fase de definición	98
3.2.1	Objetivo, alcance y resultados	99
3.2.2	Vida útil estimada	99
3.2.3	Etapas del ciclo de vida	100
3.2.4	Materiales y procesos	102
3.2.5	Transporte	103
3.2.6	Prospecciones de energía e infraestructuras	104
3.2.7	Limitaciones	105
3.2.8	Límites del sistema	105
3.2.9	Unidad funcional	108
3.2.10	Cálculos	109
3.2.11	Análisis ambiental	109
3.2.12	Análisis económico	112
3.2.13	Análisis social	113
3.3	Fase de documentación	114
3.3.1	Memoria	114
3.3.2	Anejos	117
3.3.3	Manual de uso y mantenimiento	117
3.3.4	Estudio de seguridad y salud	118
3.3.5	Estudio de impacto ambiental	118
3.3.6	Pliego de condiciones	118
3.3.7	Estado de mediciones	120
3.3.8	Presupuesto	121
3.3.9	Planos	122
3.3.10	Normativa	123
3.3.11	Manuales técnicos y prontuarios	126
3.3.12	Atlas solares y registros climatológicos	126
3.3.13	Bases de datos y otros datos	127
3.4	Fase de inventario de datos	128
3.4.1	Datos de diseño	129
3.4.2	Etapas de producto y de construcción	138
3.4.3	Etapas de uso	143
3.4.4	Etapas de fin de vida	145
3.4.5	Relación entre las fases de la metodología	145
3.5	Fase de cálculo y análisis	147
3.5.1	Cálculo de consumo en la etapa de uso	147
3.5.2	Cálculo económico en la etapa de uso	149
3.5.3	Análisis ambiental	150

3.5.4	Análisis económico	151
3.5.5	Análisis social	152
3.6	Fase de resultados	154
3.6.1	Resultados de la fase de definición	155
3.6.2	Resultados de la fase de cálculo y análisis	156
3.7	Metodología adaptada a alternativas	158
3.8	Metodología adaptada a rehabilitación	160
3.9	Metodología adaptada a un parque de edificios	162
4	CONCLUSIONES	165
4.1	Conclusiones generales	165
4.2	Contraste de las hipótesis planteadas	168
4.2.1	Hipótesis particulares	168
4.2.2	Hipótesis general	171
4.3	Contribución al conocimiento	172
4.4	Futuras líneas de investigación	173
ANEJOS		
A	APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA PARA UN EDIFICIO RESIDENCIAL	177
A.1	Definición	177
A.2	Documentación	178
A.3	Inventario de datos	178
A.4	Datos de diseño	180
A.5	Etapas de producto y construcción	184
A.6	Etapas de uso y mantenimiento	185
A.7	Etapas de fin de vida	186
A.8	Cálculo de energía final en la etapa de uso	186
A.9	Análisis del ciclo de vida	192
A.10	Validación del caso práctico	195
NOMENCLATURA		199
BIBLIOGRAFÍA		201

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1	Instituto Nacional de Estadística. N° de viviendas según tipo de edificio y clase de vivienda	29
Tabla 2.2	Encuesta de Presupuestos Familiares. Superficie según tipo de edificio	30
Tabla 2.3	Licencias municipales de obras. Superficie a construir según tipo	32
Tabla 2.4	Licencias municipales de obras. Superficie a construir en edificios no residenciales	32
Tabla 2.5	Licencias municipales de obras. Rehabilitación	33
Tabla 2.6	Licitación oficial por tipología de obra	33
Tabla 2.7	Visados de dirección de obra. Superficie a construir de uso residencial	35
Tabla 2.8	Visados de dirección de obra. Superficie a construir de uso no residencial	35
Tabla 2.9	Visados de dirección de obra. Reforma y/o restauración de edificios	36
Tabla 2.10	Consumo y emisiones de vivienda	38
Tabla 2.11	Consumo final de energía del sector doméstico en Cataluña	41
Tabla 2.12	Emisiones anuales del sector doméstico en Cataluña	41
Tabla 2.13	Consumo y emisiones del sector residencial en Cataluña en 2005	42
Tabla 2.14	Consumo final de energía del sector residencial en España en 2007 por fuente energética	42
Tabla 2.15	Consumo y emisiones del sector residencial en España en 2007	43
Tabla 2.16	Consumo final de energía del sector residencial en Europa en 2007 por fuente energética	43
Tabla 2.17	Consumo y emisiones del sector residencial en Europa en 2007	44
Tabla 2.18	Prospección de indicadores para Europa y España en 2030	44
Tabla 2.19	Medidas de mejora relacionadas con el factor demanda	49
Tabla 2.20	Medidas de mejora relacionadas con el factor rendimiento	49
Tabla 2.21	Medidas de mejora relacionadas con el factor gestión	49
Tabla 2.22	Medidas de mejora relacionadas con las normativas .	49
Tabla 2.23	Potencial de ahorro de las medidas en la demanda energética de climatización	53
Tabla 2.24	Categorías de impacto analizadas en la literatura . .	57
Tabla 2.25	Resumen de las categorías de impacto	58
Tabla 2.26	Relación de los agentes de la edificación y las fases en la toma de decisiones	71
Tabla 2.27	Contribución de la energía incorporada en el transporte	80

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.28	Contribución de la energía incorporada en los materiales y en la construcción	81
Tabla 2.29	Incremento de la energía incorporada en el mantenimiento y en la rehabilitación	82
Tabla 2.30	Contribución de la energía incorporada en el fin de vida	82
Tabla 2.31	Contribución de la energía operacional e incorporada	84
Tabla 2.32	Resumen de clasificaciones tipológicas de la construcción	86
Tabla 3.1	Capítulos a modo de ejemplo del estado de mediciones	120
Tabla 3.2	Tipos de planos	122
Tabla 3.3	Ejemplo de materiales constructivos y de sus valores característicos	134
Tabla 3.4	Ejemplo de transmitancia de puentes térmicos	135
Tabla 3.5	Ejemplo de elementos compuestos (cerramientos)	135
Tabla 3.6	Ejemplo de instalaciones y de sus características técnicas	137
Tabla 3.7	Estado de mediciones. Ejemplo de 1 m ² pared divisoria de 14 cm de ladrillo hueco doble	139
Tabla A.1	Edificio residencial. Datos generales	180
Tabla A.2	Edificio residencial. Definición geométrica	181
Tabla A.3	Edificio residencial. Materiales	181
Tabla A.4	Edificio residencial. Definición de cerramientos	182
Tabla A.5	Edificio residencial. Definición de huecos	183
Tabla A.6	Edificio residencial. Definición de puentes térmicos	183
Tabla A.7	Edificio residencial. Lista de instalaciones	184
Tabla A.8	Edificio residencial. Ejemplo de partida de obra	186
Tabla A.9	Edificio residencial. Resultados del cálculo	188
Tabla A.10	Edificio residencial. Resultados del cálculo por superficie	190
Tabla A.11	Edificio residencial. Resultados ACV	194
Tabla A.12	Edificio residencial. Resultados ACV en la etapa de uso para 50 años	195
Tabla A.13	Edificio residencial. Resultados ACV en la etapa de uso anual	195
Tabla A.14	Edificio residencial. Resultados ACV en la etapa de uso anual por vivienda	196
Tabla A.15	Edificio residencial. Resultados ACV en la etapa de uso anual por superficie útil	196
Tabla A.16	Edificio residencial. Resultados ACV en la etapa de uso anual por superficie construida	196

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 2.1	Variaciones anuales de las temperaturas máximas y mínimas diarias	18
Fig. 2.2	Evolución temporal del índice de precipitación estandarizada para toda la Península Ibérica	18
Fig. 2.3	Proyecciones de temperatura para cuatro escenarios de emisiones y tres períodos del siglo XXI	20
Fig. 2.4	Consumo por aspectos energéticos de la vivienda en España	39
Fig. 2.5	Consumo de vivienda en Europa por aspectos energéticos	40
Fig. 2.6	Emisiones de vivienda por aspectos energéticos	40
Fig. 3.1	Metodología. Esquema general	95
Fig. 3.2	Etapas del ciclo de vida de los edificios	100
Fig. 3.3	Límites del sistema	107
Fig. 3.4	Clasificación de elementos constructivos	131
Fig. 3.5	Relación entre las fases de la metodología	146
Fig. 3.6	Metodología. Esquema alternativas	158
Fig. 3.7	Metodología. Esquema rehabilitación	160
Fig. 3.8	Metodología. Esquema parque edificios	162
Fig. A.1	Edificio residencial. Fachada	178
Fig. A.2	Edificio residencial. Sección	178
Fig. A.3	Edificio residencial. Plantas	179
Fig. A.4	Edificio residencial. Datos básicos del edificio	187
Fig. A.5	Edificio residencial. Definición de puentes térmicos	188
Fig. A.6	Edificio residencial. Definición geométrica	188
Fig. A.7	Edificio residencial. Definición de espacios	189
Fig. A.8	Edificio residencial. Definición de ventanas	189
Fig. A.9	Edificio residencial. Definición de sistemas	189
Fig. A.10	Edificio residencial. Definición demanda Agua Caliente Sanitaria (ACS)	190
Fig. A.11	Edificio residencial. Definición de los equipos	190
Fig. A.12	Edificio residencial. Definición unidades terminales	190
Fig. A.13	Edificio residencial. Certificación energética	191
Fig. A.14	Edificio residencial. Tabla de resultados	191
Fig. A.15	Edificio residencial. ACV. Etapa de construcción	192
Fig. A.16	Edificio residencial. ACV. Residuos de la etapa de construcción	193
Fig. A.17	Edificio residencial. ACV. Etapa de uso	193
Fig. A.18	Edificio residencial. ACV. Etapa de fin de vida	194

1 | INTRODUCCIÓN

Construction, whether in the form of unique works of artistic, social or economic importance or borne of the universal need for housing, is a prime activity within a society seeking to establish a sustainable form of construction that contributes to the harmonic growth of our society and sets the stage for a brighter future for generations to come.

La construcción, bien sea a través de obras de singular importancia artística, social o económica, bien sea por la necesidad universal de vivienda, es una actividad nuclear dentro de la sociedad, que desea configurar una construcción sostenible que contribuya a un crecimiento armónico de nuestra sociedad y que sienta las bases del mejor futuro para las generaciones venideras.

— MCyT (2003)

Esta metodología está orientada a evaluar el impacto medioambiental de los edificios, su coste económico y su efecto social. Está especialmente enfocada a la mejora de los proyectos de construcción y rehabilitación de edificios, aunque se puede usar en otros casos, como evaluación de parques de edificios. Cada edificio tiene sus propias características y la aplicación del Análisis de Ciclo de Vida (ACV) es diferente para cada caso.

La creación de una metodología de evaluación de sostenibilidad en edificios sirve para medir, evaluar y demostrar el comportamiento del edificio según los tres pilares básicos de la sostenibilidad: medioambiental, social y económico. A través de un conjunto de criterios claramente definidos, comunes y verificables, este método se convierte en un instrumento objetivo y completo.

Además, la metodología tiene la utilidad de recoger y organizar la información relativa al edificio, lo que permite elaborar un resumen con la función de comunicar. También asiste el proceso de diseño, dejando ver cuáles son los aspectos clave y cuál es su importancia relativa. Por tanto, es considerablemente útil para los actores que toman decisiones en la etapa de diseño (promotor, proyectista, propietarios y usuarios), y que puedan desarrollar estrategias adecuadas a los objetivos propuestos. Esta metodología mejora cada una de las fases del edificio y su conjunto, incrementando la competitividad, la satisfacción social y garantizando la sostenibilidad.

1.1 JUSTIFICACIÓN

El sector residencial es el responsable de aproximadamente una cuarta parte del consumo de energía de Europa. Meijer, Itard y Sunikka-Blank (2009) lo sitúan en el 23 % para el 2004, la Comisión Europea (2010) en el 25 % para el 2007, Huber y col. (2010) en el 26 % para el 2007 y Eurostat (2010) en el 25 % para el 2008. Este consumo junto al consumo del resto de edificios, mayormente del sector terciario, suman el 40 % del consumo final de energía (Directive 2010/31/EU) y el 36 % de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) (EC, 2008).

Mundialmente los edificios representan alrededor del 10 % de las emisiones directas de CO₂. Sin embargo, al incluir las emisiones del uso de electricidad, se incrementa esta proporción hasta el 30 % (IEA, 2010a).

A pesar que actualmente el uso de energía en este sector continúa aumentando, es factible un potencial de ahorro para el año 2020 del 30 %, equivalente a una reducción del 11 % del uso de energía final de la Unión Europea (EC, 2008). Un nuevo camino en dirección hacia la sostenibilidad se abre mediante la nueva Directiva 2010/31/EU relativa a *la eficiencia energética de los edificios*, que pretende que todos los edificios nuevos sean de consumo de energía casi nulo a partir del año 2021.

Meijer, Itard y Sunikka-Blank (2009) determinan que los edificios ya construidos constituyen un mayor gran potencial de ahorro energético que la relativa baja proporción de los edificios nuevos. La Agencia Internacional de la Energía (IEA, 2010a) coincide que debido a la baja tasa de demolición y a un relativo bajo crecimiento, el mayor potencial de ahorro de energía y emisiones recae en la rehabilitación y en el cambio a nuevas tecnologías de los edificios existentes. El *Plan Estatal de Vivienda y Rehabilitación 2009-2012* (Real Decreto 2066/2008) plantea una serie de objetivos tanto en la construcción de nuevas viviendas protegidas como en actuaciones de rehabilitación sobre el parque de viviendas construido hacia la mejora de su eficiencia energética.

La Comisión Europea (EC y DGET, 2010) prevé un aumento del 17 % del consumo de energía final de España en el año 2030 respecto el año 2005, siendo este aumento para Europa prácticamente nulo en el mismo intervalo de tiempo. A pesar de que el consumo no disminuye, se prevé una reducción de CO₂ del 13 % para España y del 17 % para Europa debido a una mejora de la intensidad de CO₂ del 26 % para España y del 17 % para Europa. En cambio, desde un punto de vista global, la Agencia Internacional de la Energía (IEA, 2010a) predice que en el año 2050 las emisiones de CO₂ para el sector edificatorio mundial se doblarán.

1.2 OBJETIVOS

El objetivo general de la presente tesis doctoral es proponer, desarrollar y describir una metodología que incluya aspectos medioambientales, económicos y sociales para evaluar los impactos de un edificio en todo su ciclo de vida, adaptándose al marco de trabajo establecido por la metodología estándar de ACV. Deberá cumplir con el planteamiento de crear una forma de trabajar enfocada a tener menos reiteraciones y ser, por lo tanto, más directa. También deberá ser lo suficientemente flexible como para trabajar con los requisitos y singularidades del estudio y con cualquier aplicación de análisis y cálculo. Y además facilitará la interpretación y comparación de los resultados.

1.2.1 Específicos

A continuación se presentan los objetivos específicos de la tesis:

- Plantear las etapas de la metodología para que su uso esté integrado en el marco de trabajo establecido por la metodología de ACV, Coste de Ciclo de Vida (CCV) y Análisis de Ciclo de Vida Social (ACV-S)
- Facilitar el uso a los usuarios de la metodología: los actores implicados en la construcción, rehabilitación o deconstrucción de un edificio y a los investigadores que realicen evaluaciones medioambientales, económicas o sociales de edificios
- Establecer las condiciones de flexibilidad de la metodología, como el tipo de edificio, unidad funcional, categorías de impacto, métodos de evaluación de impactos y aplicaciones de análisis y cálculo
- Evaluar si es posible realizar una comparación de los resultados de los análisis medioambiental, económica o social de edificios cuando la unidad funcional o los límites del sistema no son equivalentes. En el caso de ser posible, identificar los resultados mínimos que se han de mostrar para poder realizar la comparación
- Identificar las decisiones tomadas tanto en el proyecto como en la evaluación medioambiental, económica o social de la ejecución de este proyecto. Determinar los momentos críticos en la toma de decisiones y los actores que están involucrados en ellas
- Determinar cuáles son los datos necesarios para realizar los cálculos y las evaluaciones y dónde se encuentran
- Desarrollar una extensión de la metodología para poder realizar una evaluación comparativa de dos o más alternativas de materiales, de soluciones constructivas y de otros parámetros (como la situación, entre otros)
- Desarrollar una extensión de la metodología para poder realizar una evaluación medioambiental, económica y social de la rehabilitación de un edificio
- Desarrollar una extensión de la metodología para poder realizar una evaluación medioambiental, económica y social de un parque de edificios

- Demostrar que la metodología es apropiada, mediante la validación de esta para el caso de estudio propuesto

1.3 METODOLOGÍA DE TRABAJO

Para lograr los objetivos anteriormente señalados, se describe brevemente la metodología seguida para el desarrollo de la tesis en los siguientes puntos:

- Búsqueda documental sobre sostenibilidad, cambio climático, estrategias de reducción de la contribución de los edificios al cambio climático, escenarios de emisiones futuros y legislación en el ámbito de los edificios respecto a la sostenibilidad y el cambio climático
- Búsqueda documental sobre edificios existentes y sus características principales. Descripción de tipologías de edificios y su cantidad. Qué aspectos clave pueden definir diferencias energéticas entre edificios. Datos relacionados con el sector de la construcción en España. Datos de consumo y emisiones de edificios. Medidas de mejora de eficiencia energética en edificios
- Búsqueda documental sobre ACV, CCV, ACV-S y conceptos vinculados: categorías de impacto, métodos de evaluación de impacto, bases de datos y herramientas de ACV, vida útil y unidad funcional aplicadas a metodologías de ACV en edificios
- Identificación de los agentes de la construcción y el proceso de toma de decisiones. Identificación de las decisiones que se toman durante todo el ciclo de vida del edificio y de los agentes de la construcción que las toman. Determinar si estas decisiones tienen algún efecto en el comportamiento energético, ambiental, social y económico del edificio
- Revisión en la literatura de energía incorporada en edificios, especialmente la relacionada con la etapa de producto, el transporte, el mantenimiento, la rehabilitación y el fin de vida. Comparación con la energía operacional
- Realización de las conclusiones del estado de la técnica
- Formulación de las hipótesis que se pretenden demostrar con esta tesis
- Realización de la fase de definición, en la que se resolverán todas las decisiones relacionadas con la evaluación de sostenibilidad en un edificio, como la aplicación prevista, la vida útil estimada del edificio, las etapas del ciclo de vida, el transporte, el escenario de fin de vida, las prospecciones, los límites del sistema, la unidad funcional y las decisiones relacionadas con el análisis
- Realización de la fase de documentación, en la que se recogerá toda la documentación que contenga información asociada directa o indirectamente con el edificio, como información técnica, económica, social y medioambiental
- Realización de la fase de inventario de datos, en la que se procesarán los datos disponibles en la documentación y se transformarán en información convenientemente asimilada para realizar los cálculos y análisis pertinentes
- Realización de la fase de cálculo y análisis, en la que se describirán el procedimiento para realizar los cálculos y el procedimiento para realizar los análisis, a partir de la información resultante de la anterior fase

- Realización de la fase de resultados, en la que se indicará qué datos y cómo se han de mostrar los resultados obtenidos en las fases anteriores
- Modificaciones de la metodología propuesta a aplicaciones concretas como evaluaciones comparativas de alternativas, evaluación de una rehabilitación o un parque de edificios
- Aplicación de la metodología a un caso de estudio concreto
- Conclusiones de los resultados obtenidos
- Redacción de la tesis doctoral

1.4 ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO

Para lograr los objetivos propuestos, el documento está estructurado en 5 capítulos: introducción, revisión del estado de la técnica, descripción de la metodología propuesta, resultados y conclusiones.

El capítulo 1 presenta una introducción al marco teórico de la tesis con una definición del problema a investigar, la fijación de los objetivos de la investigación y una visión general de la metodología de trabajo.

El capítulo 2 presenta una revisión del estado de la técnica y se introducen las bases teóricas que son necesarias para desarrollar la metodología. En primer lugar se define el concepto de sostenibilidad. A continuación se recogen datos de los edificios existentes, el consumo de energía y las emisiones asociadas a estos edificios y qué medidas de mejora de la eficiencia energética existen. Seguidamente se estudia cómo se aplica el ACV a edificios y qué agentes participan en el ciclo de vida. También se define la energía operacional e incorporada y qué valores de estas se encuentran en la literatura. Finalmente se recogen las conclusiones generales derivadas del estado de la técnica y se definen las hipótesis a demostrar.

En el capítulo 3 se describe la nueva metodología desarrollada, que se compone de cinco fases: fase de definición, fase de documentación, fase de inventario de datos, fase de cálculos y análisis y fase de resultados.

En el capítulo 4 se describen las conclusiones y se proponen ideas para futuras investigaciones.

Finalmente, en el anejo A se aplica la metodología a un caso de estudio concreto de un edificio residencial.

2 | ESTADO DE LA TÉCNICA

El capítulo del estado de la técnica se ha estructurado en 9 secciones. En la primera se presenta una breve introducción histórica al concepto de sostenibilidad. En la siguiente se define el cambio climático, de qué manera contribuyen a este los edificios y qué opciones de atenuación de emisiones se han realizado hasta el momento. También se estudia el estado del clima actual, qué tendencia tiene y cuáles son los escenarios de emisiones futuros.

Las tres siguientes secciones se dedican a los edificios. En la tercera sección se recogen los datos sobre edificios existentes. Se analizan las diferentes clasificaciones tipológicas de los edificios y cuál es el estado del parque edificatorio según las fuentes de datos oficiales. En la siguiente sección se analiza cuál es el consumo y emisiones asociadas primero de una vivienda media y luego de todo el sector residencial a diversas escalas geográficas. Y se configura una prospección de cuál será el consumo y las emisiones en un futuro. La quinta sección recoge medidas de mejora de eficiencia energética en edificios, qué barreras existen para su aplicación y cuál es el potencial de ahorro de cada medida.

Las siguientes tres secciones se dedican al ciclo de vida. La sexta sección estudia cómo se aplica el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) a edificios y se reúnen las diferentes definiciones de vida útil y unidad funcional encontradas en la literatura. También se describen categorías de impacto, métodos de evaluación de impacto, bases de datos y herramientas de ACV. En la siguiente sección se describen los agentes que participan en el ciclo de vida de un edificio, qué decisiones toman, en qué momento y la relación entre agentes y decisiones. La octava sección recoge resultados de la energía operacional e incorporada en la literatura, especialmente aquellos que tienen datos de transporte, materiales, procesos de construcción, mantenimiento, rehabilitación y fin de vida. Finalmente se hace una comparación del peso de la energía incorporada respecto a la operacional para todo el ciclo de vida.

Por último, en la novena sección, se recogen las conclusiones generales derivadas del estado de la técnica y se definen las hipótesis que se pretenden demostrar.

2.1 SOSTENIBILIDAD

La definición más simple de la sostenibilidad en el ámbito de la edificación la sostiene Cole (2011), definiendo que algo es sostenible si se mantienen las cosas de las que se dispone, en contraste al concepto de verde o ecológico que es hacer menos daño al ambiente y al de regenerativo, que consiste en recuperar las cosas que se han perdido.

En el año 1972 se celebró en Estocolmo la *Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano* (United Nations, 1972). Esta conferencia se reconoce como el comienzo de la conciencia moderna política y pública de los problemas ambientales globales. En ella se manifiesta la necesidad de una visión y unos principios comunes para inspirar y guiar los pueblos del mundo en la preservación y mejora del medio ambiente humano.

En el mismo año, se publica el libro *Los límites del crecimiento* (Meadows y col., 1972). En este libro se expone que si el actual incremento de la población mundial, la industrialización, la contaminación, la producción de alimentos y la explotación de los recursos naturales se mantienen sin variación, se llegará a los límites absolutos de crecimiento a la tierra durante los próximos cien años (ya han pasado 40 años y por tanto, según la estimación realizada sólo quedan 60 años). Se concluye que en un planeta limitado, las dinámicas de crecimiento exponencial de la población y el producto per cápita no son sostenibles.

No fue hasta el año 1987 en el informe *Nuestro futuro común* (WCED, 1987), también conocido como el *informe Brundtland*, que no se definió un concepto concreto relacionado con la sostenibilidad: “El desarrollo sostenible es aquel que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades”.

En el año 1992 se celebró en Río de Janeiro la *Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo* (United Nations, 1992), también conocida como la *Cumbre para la Tierra*. Fue un éxito aún no superado de participación (172 gobiernos) y de acuerdos (Programa 21, declaración de Río sobre el medio ambiente y el desarrollo y principios relativos a los bosques). Entre otras muchas cosas, se expuso la necesidad de fuentes alternativas de energía para reemplazar los combustibles fósiles vinculados al cambio climático global, la conciencia y la preocupación sobre la creciente escasez de agua y la necesidad del transporte público para reducir problemas de salud causados por la contaminación del aire. El término Programa 21 fue acuñado para referirse a los planes de acción que había que elaborar a escala local, regional y estatal para avanzar en la línea del desarrollo sostenible. El mensaje produjo resultados, como hacer del eco-eficiencia un principio rector por empresas y gobiernos.

En el año 1994 se celebró en la ciudad danesa de Aalborg la primera *Conferencia Europea de Ciudades y Pueblos Sostenibles*, en la que se ratificó la *Carta de las Ciudades Europeas hacia la Sostenibilidad*, también conocida como *Carta de Aalborg* (EUEGUE, 1994). Esta carta proporciona un marco sobre el desarrollo sostenible local e insta a los gobiernos locales a intervenir en los procesos del Programa 21 Local. Actualmente, más de 2 600 gobiernos locales

y regionales europeos (áreas metropolitanas, ciudades, pueblos, unidades territoriales, etc.) de 34 países europeos han firmado la Carta de Aalborg y 647 autoridades locales han firmado los compromisos de Aalborg (Aalborg Commitment Secretariat, 2011). En este documento se definen principios de sostenibilidad, en el que la sostenibilidad social está supeditada a la sostenibilidad económica y esta a su vez lo está a la sostenibilidad ambiental. La sostenibilidad ambiental significa preservar el capital natural y requiere que el ritmo de consumo de materiales y energía no supere la capacidad de los sistemas naturales para reponerlos. También que el ritmo de consumo de recursos no renovables no supere el ritmo de sustitución de los recursos renovables duraderos. Y finalmente, que el ritmo de emisiones no supere la capacidad de los sistemas naturales de absorberlos y procesarlos. Se concluye que las únicas alternativas sostenibles son las fuentes de energía renovables e insta a incrementar el rendimiento final de los productos, como edificios de alto rendimiento energético.

En el año 2001 se presenta en Göteborg la *Estrategia de la Unión Europea para un desarrollo sostenible* (EC, 2001) en la que se concluye que a largo plazo, el crecimiento económico, la cohesión social y la protección del medio ambiente deben ir de la mano, y que se necesita: una actuación urgente, un liderazgo político (con compromisos claros y amplias miras), un enfoque nuevo en la formulación de políticas, una amplia participación y una responsabilidad internacional.

En el año 2002 se celebró en Johannesburg la *Cumbre mundial sobre el desarrollo sostenible* (EC, 2003; United Nations, 2002), también conocida como *Cumbre de la Tierra 2002*, donde los principales objetivos fueron: la erradicación de la pobreza y la miseria, llegar a unos modelos sostenibles de producción y consumo, proteger los recursos naturales en que se basan el desarrollo económico y social de las generaciones futuras, el acceso al agua y a los servicios de saneamiento, la globalización y el cumplimiento de los derechos humanos.

En el año 2012 se celebrará en Río de Janeiro la *Conferencia de las Naciones Unidas sobre Desarrollo Sostenible* (UNDESA, 2010), también llamada *cumbre de Río+20*. Esta conferencia tiene como objetivo revisar y actualizar la implementación del concepto de desarrollo sostenible, asegurar que se renueve el compromiso político para el desarrollo sostenible, evaluar el progreso hasta la fecha y las lagunas existentes en la aplicación de los resultados de las principales cumbres sobre desarrollo sostenible y abordar los retos nuevos y emergentes. La conferencia se centrará en dos temas: el marco institucional para el desarrollo sostenible y una economía verde en el contexto del desarrollo sostenible y la erradicación de la pobreza.

En el informe *Sostenibilidad en España 2009* (OSE, 2009) se evalúan los indicadores de las principales dimensiones sobre el desarrollo sostenible. En la dimensión ambiental se valoran como desfavorables los indicadores de gestión del agua, calidad del aire y movilidad. El indicador de cambio global se valora como desfavorable y además crítico. En la dimensión económica se valoran como desfavorables los indicadores de Producto Interior Bruto (PIB), consumo y flujo de materiales y dependencia energética. El indicador de estructura económica se valora como indiferente. Finalmente en la dimensión social se valoran como desfavorables los indicadores de cohesión social

y educación. El indicador de empleo se valora como desfavorable y además crítico. Sin embargo el indicador de salud es valorado como favorable.

2.2 CAMBIO CLIMÁTICO

La *primera conferencia mundial sobre el clima* se celebró en el año 1979 en la ciudad suiza de Ginebra, organizada por iniciativa de la *Organización Meteorológica Mundial* (WMO, 2009). Fue una de las primeras grandes reuniones internacionales sobre el cambio climático, que contó con la participación de científicos de una amplia gama de disciplinas. La conferencia impulsó la formación de una serie de iniciativas científicas internacionales importantes como el *grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático* (IPCC), el *programa mundial sobre el clima* y el *programa mundial de investigaciones climáticas*.

El IPCC fue establecido en 1988 con la disposición de analizar la información científica necesaria para abordar el problema del cambio climático, evaluar sus consecuencias medioambientales y socioeconómicas y formular estrategias de respuesta realistas. Los informes y documentos elaborados por el IPCC fueron la base del asesoramiento fidedigno de la *conferencia de las Naciones Unidas sobre medio ambiente y desarrollo* (United Nations, 1992) celebrada en Río de Janeiro en el año 1992, conocida también como la *cumbre de la tierra*. Desde su establecimiento, el IPCC ha producido una serie de informes de evaluación, informes especiales, documentos técnicos y guías metodológicas que son ya obras de referencia de uso común y que han desempeñado un papel primordial ayudando a los gobiernos a adoptar y aplicar políticas de respuesta al cambio climático. En el *cuarto informe de evaluación* (IPCC, 2007b) se concluyó que:

La mayor parte del aumento observado en el promedio mundial de temperatura desde mediados del siglo XX se debe *muy probablemente* al aumento observado en las concentraciones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) antropógenos.

En el año 1997, en la ciudad japonesa de Kyoto, se adoptó el *Protocolo de Kyoto* dentro del marco de la *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático* (United Nations, 1998). Sin embargo, no entró en vigor hasta el año 2005, cuando se cumplió la condición que al menos fuera ratificado por los países industrializados responsables de un 55 % de las emisiones de dióxido de carbono (CO₂). El objetivo de este protocolo es la estabilización de las concentraciones de GEI en la atmósfera a un nivel que evite interferencias antropogénicas peligrosas en el sistema climático. Los gobiernos que lo firmaron pactaron reducir un 5,2 % de media las emisiones contaminantes entre 2008 y 2012, tomando como referencia los niveles de 1990. La Unión Europea se comprometió a reducir un 8 %. No obstante, a cada Estado Miembro se le otorgó un margen distinto en función de diversas variables económicas y medioambientales. El margen de España fue un incremento positivo del 15 %, es decir, se le permitió incluso incrementar las emisiones hasta este límite.

Se han establecido vínculos entre el cambio climático y las emisiones de CO₂ que se derivan de la producción y el consumo de energía. Ya que la energía representa alrededor del 65 % de las emisiones antropogénicas mundiales de GEI, la reducción de emisiones debe necesariamente comenzar con acciones dirigidas a reducir las emisiones de la quema de combustibles (IEA, 2010a).

El nivel de concentración de CO₂ en la atmósfera en la era preindustrial está establecido en 280 partes por millón. La concentración del año 2005 fue de 379 partes por millón, aproximadamente un 35 % más alto (IEA, 2010a). También se han producido aumentos significativos en los niveles de metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O).

2.2.1 Contribución de los edificios al cambio climático

La Directiva 2002/91/EC relativa a *la eficiencia energética de los edificios* expone la importancia de los edificios en el consumo de energía y emisiones de GEI:

El sector de la vivienda y de los servicios, compuesto en su mayoría por edificios, absorbe más del 40 % del consumo final de energía en la Comunidad y se encuentra en fase de expansión, tendencia que previsiblemente hará aumentar el consumo de energía y, por lo tanto, las emisiones de dióxido de carbono.

La Comisión Europea (EC, 2008) declara que la proporción del uso de energía final por los edificios residenciales y comerciales es del 41 % en el año 2006, y que el potencial de ahorro de energía de este sector para el año 2020 es del 30 %.

La nueva Directiva 2010/31/EU relativa a *la eficiencia energética de los edificios*, que deroga la antigua Directiva 2002/91/EC, determina que en el sector de los edificios hay un considerable potencial de ahorro energético rentable.

El *Ministerio de Vivienda* (MdV, 2008) expone que ya en el año 1996 el uso de los edificios generó unas emisiones de GEI que superaron el 115 % de sus emisiones de 1990 y que en el año 2005 fueron del 201 %. Este incremento de emisiones de GEI debidas al uso de los edificios está directamente relacionado con el aumento de edificación entre 1990 y 2005, que fue del 151 %. Las emisiones por m² construido aumentaron un 133 %.

La fabricación de los materiales necesarios para construir un m² estándar de edificación genera alrededor de 500 kgCO₂-eq, 17 veces más que las emisiones debidas al uso, que son del orden de 30 kgCO₂-eq anuales (MdV, 2008). Estas emisiones de fabricación són un 233 % más elevadas en 2005 que en 1990. Sin embargo no todas estas emisiones se han producido dentro del país.

El *Ministerio de Industria, Turismo y Comercio* junto con el *Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía* publicó el documento *Plan de Acción 2008-2012 de Ahorro y Eficiencia Energética en España* (IDAE, 2007), en el que se muestra que el consumo de energía del sector residencial en 2005 representó el 10 % del total de energía final en España, y el sector terciario el 7 %. Los edificios que tienen uso administrativo tienen un mayor peso en el consumo de energía del sector terciario, seguido por los edificios para el comercio, restaurantes y edificios de alojamiento, salud y educación.

En el sector residencial, la calefacción representa el 41.7 % de la energía final total, el Agua Caliente Sanitaria (ACS) el 26.2 %, los electrodomésticos el 12 %, la cocina el 10.8 %, la iluminación el 9 % y la refrigeración el 0.4 %.

Dentro del sector terciario, la refrigeración representa el 30 % del total de energía final, la calefacción el 29 %, la iluminación el 28 %, la ofimática el 4 % y el ACS el 3 %.

De acuerdo con el documento *Inventario de emisiones de gases de efecto invernadero de España. Años 1990-2009* (MMA-MRM, 2011) en el año 2009 las principales categorías que contribuyen a las emisiones del sector de la energía están relacionadas con las industrias del sector energético (centrales térmicas, refinerías de petróleo y transformación de combustibles) y el transporte, que contribuyen un 31.7 % y 33.4 % respectivamente. Seguidas por las industrias manufactureras y de la construcción (20.8 %) y la combustión en otros sectores (12.9 %).

En lo que respecta a la combustión en la categoría 1A4 (sector residencial, sectores comerciales e institucionales, así como el uso de combustibles en maquinaria agro-forestal y en la flota pesquera) se puede distinguir el período 1990-1997 de relativa estabilidad y crecimiento moderado, y el período 1997-2005 de crecimiento sostenido que continúa en 2006 con una inflexión a la baja en 2007 y un nivel prácticamente estable a partir de ese año. Parte de este perfil está motivado por un cambio en el nivel de actividad económica y de ingresos, pero con picos y valles menos pronunciados como las presentadas en la combustión industrial. La contribución a las emisiones de esta categoría oscilaron entre el 9 % y 10 % en el período estudiado, con una variación de las emisiones de CO₂-eq entre el año 2009 y el año 1990 del 38.6 %.

El aumento de emisiones de CO₂-eq en el sector residencial durante el período 1990-2009 fue del 30.2 %. En el sector comercial e institucional, las crecientes emisiones durante el mismo período fue de 113.7 %.

2.2.2 Iniciativas de atenuación de emisiones en los edificios

En el año 1993 se aprobó la Directiva 93/76/EEC relativa a *la limitación de las emisiones de dióxido de carbono mediante la mejora de la eficacia energética (SAVE)*. El objetivo de esta directiva era limitar las emisiones de CO₂ mediante la mejora de la eficacia [sic] energética, en particular mediante el establecimiento y la aplicación de programas en los siguientes ámbitos:

- Certificación energética de los edificios
- Facturación de los gastos de calefacción, climatización y ACS en función del consumo real
- Financiación por terceros de las inversiones en eficacia energética en el sector público
- Aislamiento térmico de los edificios nuevos
- Inspección periódica de las calderas
- Auditorías energéticas en las empresas de elevado consumo de energía

Esta Directiva ha sido derogada por la actual Directiva 2006/32/EC sobre *la eficiencia del uso final de la energía y los servicios energéticos*. En esta directiva

se estimula aumentar la eficiencia energética en calefacción, ACS, refrigeración, aislamiento, ventilación, iluminación, cocina y otros equipos y aparatos. También se pretende alentar el uso de fuentes de energía renovable y de cogeneración de alta eficiencia. Y se fomentan otras medidas como normas para aumentar la eficiencia energética, sistemas de etiquetado energético, sistemas inteligentes de medida, campañas de información, impuestos, formación y educación.

El objetivo de la Directiva 2002/91/EC relativa a *la eficiencia energética de los edificios* es 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. Esta Directiva establece requisitos en relación con:

- El marco general de una metodología de cálculo de la eficiencia energética integrada de los edificios
- La aplicación de requisitos mínimos de eficiencia energética de los edificios nuevos y grandes edificios existentes que sean objeto de reformas importantes
- La certificación energética de edificios
- La inspección periódica de calderas y sistemas de aire acondicionado de edificios

La aplicación en España de los requisitos mínimos de eficiencia energética establecidos en la Directiva 2002/91/EC se realiza mediante el Real Decreto 314/2006 que aprueba el Código Técnico de la Edificación (CTE), que es un instrumento normativo que fija las exigencias básicas de calidad de los edificios y sus instalaciones, y se da satisfacción a ciertos requisitos básicos de la edificación relacionados con el ahorro energético.

La Directiva 2003/87/EC por la que se establece un régimen para el comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero en la Comunidad regula el comercio de derechos de emisión de GEI en la Comunidad Europea. Se establecen dos períodos, del año 2005 al 2007 y del 2008 al 2012, en el que cada Estado miembro debe elaborar un plan nacional, llamado *Plan Nacional de Asignación de Derechos de Emisión*, basado en criterios objetivos y transparentes, que determinará la cantidad total de derechos de emisión que se prevé asignar durante dichos períodos y cuál será el procedimiento de asignación.

En el Real Decreto 1370/2006, por el que se aprueba el *Plan Nacional de Asignación de derechos de emisión de gases de efecto invernadero, 2008-2012*, se expone que para cumplir el compromiso de limitación del crecimiento de las emisiones de GEI establecido en el Protocolo de Kyoto, las emisiones promedio en el periodo 2008-2012 no pueden superar en más del 15% las emisiones del año base.

El *Plan de Acción 2008-2012 de Ahorro y Eficiencia Energética en España* (IDAE, 2007), en el Sector Edificación, propone las siguientes medidas:

- Rehabilitación de la envolvente de los edificios existentes
- Mejora de la eficiencia energética de las instalaciones térmicas de los edificios existentes

- Mejora de la eficiencia energética de las instalaciones de iluminación interior de los edificios existentes
- Promover la construcción de nuevos edificios y la rehabilitación de existentes con alta calificación energética
- Aumentar las exigencias establecidas en el CTE para los nuevos edificios o aquellos que se rehabiliten
- Aprobar mediante Real Decreto un procedimiento básico de certificación energética de edificios existentes

Por otra parte, IPCC (2007a) propone, para un país de la OECD con clima temperado, las siguientes medidas:

- Bombas de calor para refrigeración
- Materiales de construcción de alta reflectividad
- Masa térmica para minimizar picos interiores de temperatura
- Enfriador por evaporación directa
- Energía solar térmica para calentar agua
- Intercambiador de calor aire-aire

De acuerdo con el Real Decreto 47/2007, la certificación energética debe incluir información objetiva sobre las características energéticas de los edificios, de forma que se pueda valorar y comparar su eficiencia energética, con el fin de favorecer la promoción de edificios de alta eficiencia energética y las inversiones en ahorro de energía. La certificación energética debe incluir información sobre la zona climática donde se ubique el edificio, el consumo estimado de energía primaria del edificio, expresado en kWh/año, y de emisiones de CO₂, expresado en kgCO₂/año, así como a los ratios por m² de superficie.

2.2.3 El clima actual y su tendencia

Los resultados obtenidos en diversos estudios y análisis sobre las tendencias recientes de las variables del clima en España muestran la existencia de un aumento de la temperatura durante el último cuarto de siglo (Abanades García y col., 2007). De acuerdo con Brunet y col. (2007) España tiene un calentamiento significativo de 0,10°C/década para el promedio anual de temperatura media (figura 2.1).

Vicente-Serrano (2006) señala que a diferencia de la temperatura, la evolución de la precipitación en España durante el siglo pasado no ha mostrado tendencias claramente definidas (figura 2.2). La tendencia a la disminución de las precipitaciones totales en latitudes subtropicales como señala IPCC (2007b) no es fácil de comprobar en el caso de España, dada la complejidad de la distribución espacial de las precipitaciones, no sólo en cantidad sino también en su distribución estacional y su concentración temporal (Abanades García y col., 2007).

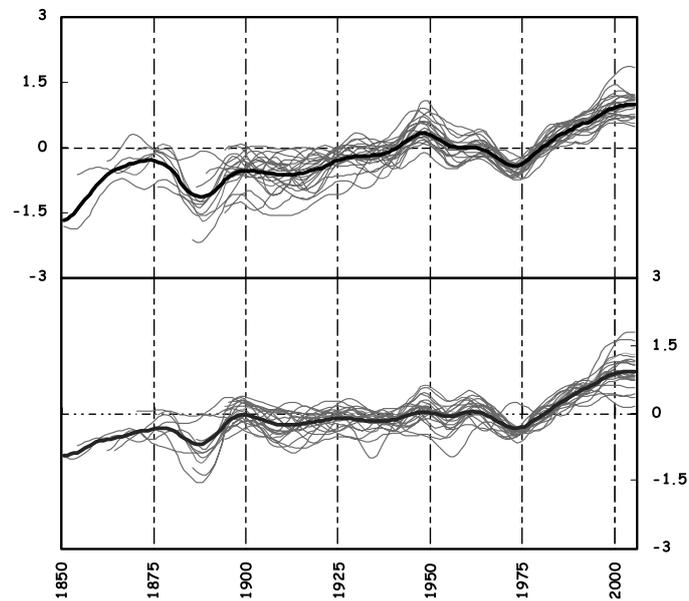


Fig. 2.1: Variaciones anuales (1850 - 2005) de la temperatura máxima diaria (arriba) y mínima (abajo), los registros de temperatura (líneas finas grises) y su media correspondiente (línea espesa negra). Fuente: Brunet y col. (2007)

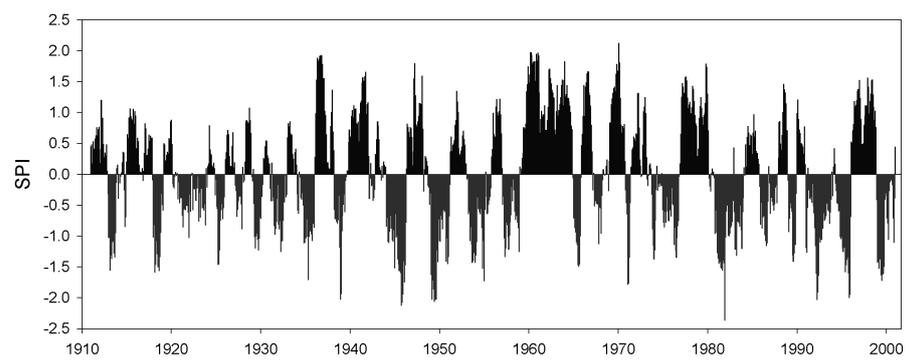


Fig. 2.2: Evolución temporal del índice de precipitación estandarizada para toda la Península Ibérica. Fuente: Vicente-Serrano (2006)

2.2.4 Escenarios de emisiones

El IPCC (2007b) ha establecido un conjunto de escenarios de emisiones designados por el término IEE (Informe Especial sobre Escenarios de Emisiones). Están agrupados en cuatro familias (A1, A2, B1 y B2) que exploran vías de desarrollo alternativas a partir de supuestos básicos respecto a la evolución socioeconómica, demográfica y tecnológica, junto con las emisiones de GEI resultantes. Las proyecciones de emisión son muy utilizadas para conjeturar el cambio climático futuro y son el punto de partida de numerosos estudios sobre la vulnerabilidad del cambio climático y evaluaciones de impacto. El mismo IPCC (2007b) predice que, como continuación de las pautas observadas en las tendencias recientes, es muy probable que disminuya la precipitación en la mayoría de las regiones terrestres subtropicales, de las que la península ibérica forma parte.

En el informe *El cambio climático en España. Estado de situación* (Abanades García y col., 2007) se han analizado las proyecciones de temperatura para cuatro escenarios de emisiones (A1, A2, B1 y B2) y tres períodos del siglo XXI (2010-2040, 2041-2070, 2071-2100), como se puede ver en la figura 2.3. Los resultados obtenidos más significantes son:

- En todas las regiones se proyecta un incremento progresivo de la temperatura superficial, con un acusado aceleramiento en el caso de los escenarios de emisiones globales más altas
- En el primer tercio de siglo apenas se aprecian diferencias en el cambio medio de temperatura entre los diferentes escenarios. Sin embargo, en el último tercio de siglo, las diferencias resultan muy notables: el calentamiento proyectado en el escenario de emisiones altas (A1) es de unos 3°C mayor que en el de emisiones bajas (B1)
- El incremento térmico proyectado en invierno sería bastante similar en todas las regiones. En cambio las diferencias territoriales serán notables en las otras estaciones del año
- En todas las regiones se proyecta una tendencia progresiva a la disminución de la precipitación, que será más acusada a partir de mitad de siglo y aún mayor en los escenarios de emisiones altas

El *Plan de Acción 2008-2012 de Ahorro y Eficiencia Energética en España* (IDAE, 2007) plantea dos proyecciones de evolución de la demanda energética para cada sector económico para el período 2008-2012: el *escenario base*, que evoluciona de forma natural al no realizar ningún esfuerzo de reducción y mejora en el uso de la energía, y el *escenario de eficiencia*, que incluye la tendencia esperada en el consumo de energía una vez aplicadas las medidas de ahorro propuestas.

El escenario base prevé un aumento del consumo final de energía hasta 23 584 ktep en el sector de la construcción. A partir de la aplicación de medidas de ahorro y eficiencia energética en la estrategia propuesta se cree que se conseguirá un ahorro del 7.5% en este escenario, por lo que el consumo previsto en el escenario de eficiencia en 2012 será de 21 811 ktep.

Respecto al sector de equipamiento doméstico y ofimática, el escenario base prevé un aumento del consumo final de energía hasta 4 687 ktep. Con

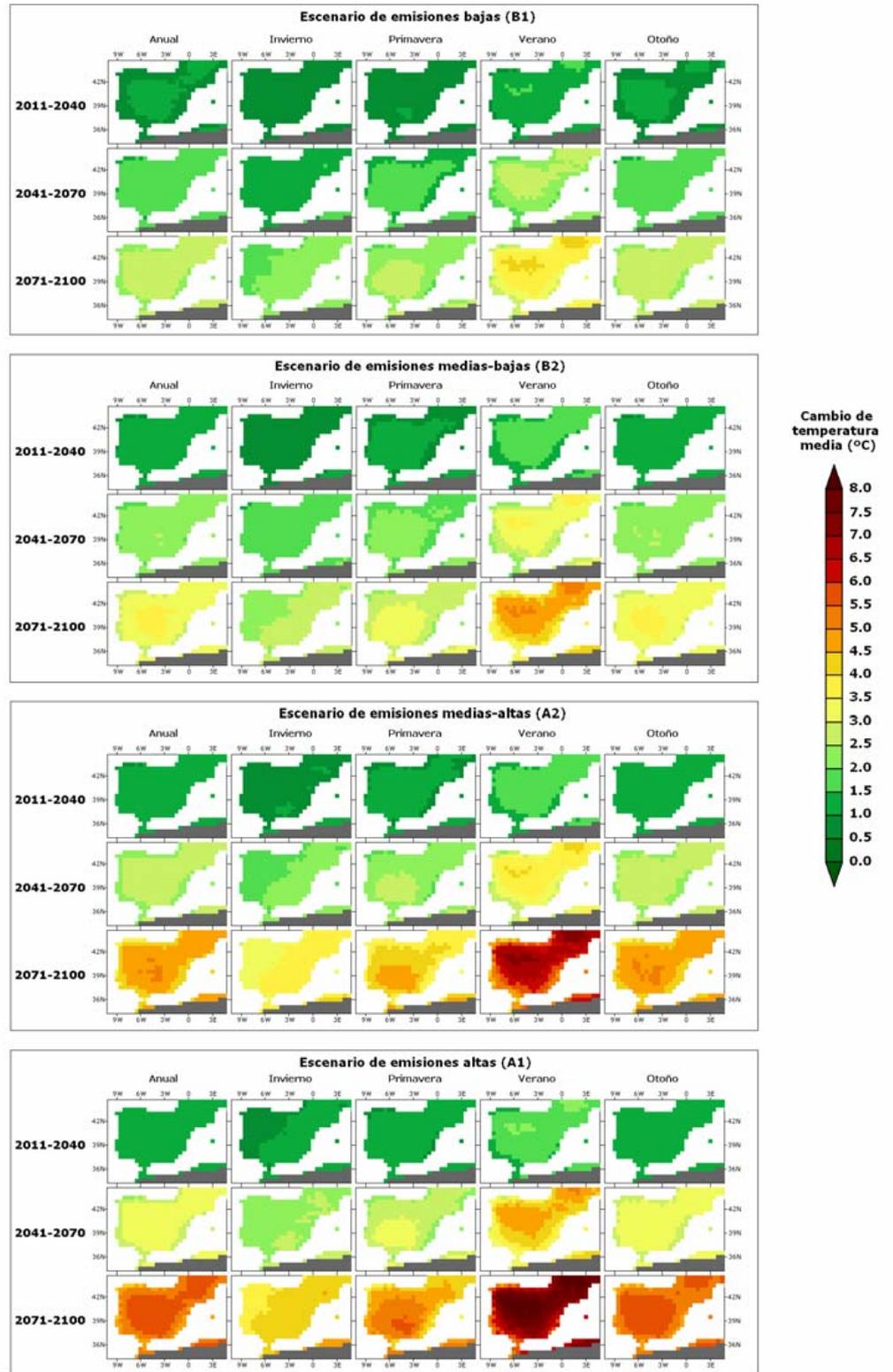


Fig. 2.3: Proyecciones de temperatura para cuatro escenarios de emisiones (A1, A2, B1 y B2) y tres períodos del siglo XXI. Fuente: Abanades García y col., 2007.

la aplicación de medidas de ahorro y eficiencia energética en la estrategia propuesta se cree que se conseguirá un ahorro del 8.7% en este escenario, por lo que el consumo previsto en el escenario de eficiencia en 2012 será de 4 278 ktep.

De acuerdo con el documento *Cuarta comunicación nacional de España. Convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático* (MMA-MRM, 2006), el grupo compuesto por los sectores comercial, institucional y residencial tiene un crecimiento estimado de emisiones de CO₂-eq en el año 2010 del 76.3% respecto el año 1990 en el escenario sin medidas (114.3% en 2020) y un crecimiento del 61.8% en el escenario con medidas (91.9% en 2020).

El informe realizado por la Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA, 2002) también hace algunas proyecciones sobre las emisiones de GEI para el año 2010. Concretamente en España se prevé un crecimiento del 10% (frente al año 1990) de las emisiones de GEI en el sector residencial y un crecimiento del 97% en el sector de los servicios.

Los compromisos asumidos por España en relación con el Protocolo de Kyoto se encuentran lejos del objetivo planteado para España de incrementar como máximo de media en el periodo 2008-2012 en un 15% las emisiones del año base. En los planes del Gobierno se plantea como objetivo limitar el crecimiento de las emisiones al 37% de las del año base, cubriendo la diferencia entre esta cifra (37%) y el compromiso español del 15% mediante mecanismos de flexibilidad (20%) y sumideros (2%) (MITyC, 2008).

El informe *Efectos de la aplicación del Protocolo de Kyoto en la economía española* (PricewaterhouseCoopers, 2004) expone que el crecimiento proyectado en las emisiones de CO₂ son de un 76% para el sector residencial y de un 144% para el sector servicios en comparación con el año 1990.

2.3 DATOS SOBRE EDIFICIOS EXISTENTES

En esta sección primero se analiza cuál es la clasificación tipológica en la construcción referente a los edificios. Después se analiza cuál es el estado del parque de viviendas de España. Y finalmente se exponen las conclusiones.

Las fuentes consultadas para obtener datos del sector de la construcción han sido:

- Instituto Nacional de Estadística (INE, 2001), que proporciona datos de los censos de población y viviendas
- Ministerio de Fomento (MdF, 2011a,b,c), que recoge los datos a su vez de licencias municipales de obras, de licitación oficial en la construcción y visados de dirección de obra
- EUROSTAT (Eurostat, 2011), la oficina estadística de la Comisión Europea, que produce datos sobre la Unión Europea y promueve la armonización de los métodos estadísticos de los estados miembros
- División de Estadística de las Naciones Unidas (United Nations, 2012), bajo el Departamento de Asuntos Económicos y Sociales, que actúa como el mecanismo central dentro de la Secretaría de las Naciones Unidas para suministrar las necesidades estadísticas del sistema global

2.3.1 Clasificación tipológica de la construcción

La clasificación tipológica de la construcción está concebida para su utilización con diversos fines, por ejemplo, estadísticas sobre las actividades de construcción, informes sobre construcción, censos de edificios y viviendas y estadísticas de precios de las obras de construcción. También se emplea para definir las construcciones, como elemento necesario a la hora de rendir información sobre variables concretas (por ejemplo, permisos de construcción, producción, etc.) en materia de indicadores a corto plazo. Asimismo, está concebida para servir durante todo el ciclo de vida de la construcción: cambios de utilización, transacciones, renovaciones, demolición.

Clasificación Central de Productos

La familia internacional de clasificaciones económicas y sociales se compone de clasificaciones de referencia que se han registrado en el *inventario de clasificaciones* de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), revisadas y aprobadas como directivas por la *comisión estadística* de la ONU u otro organismo competente intergubernamental en ámbitos como economías, demografía, trabajo, salud, educación, bienestar social, geografía, ambiente y turismo (United Nations, 2008a).

Dentro de la sección 5: *Construcciones y servicios de las construcciones* y la división 53: *Construcciones* se encuentra el grupo 531: *Edificios* que se divide en las siguientes clases y subclases:

- 5311 Edificios residenciales

- 53111 Edificios residenciales de una o dos viviendas
- 53112 Edificios residenciales de más de dos viviendas
- 5312 Edificios no residenciales
 - 53121 Edificios industriales
 - 53122 Edificios comerciales
 - 53129 Otros edificios no residenciales

La clasificación es muy reducida tanto en edificios residenciales como no residenciales.

EUROSTAT

La Clasificación de la tipología de la Construcción (CC) ha sido creada a partir de la Clasificación Central de Productos (CPC), publicada con carácter provisional en 1991 por las Naciones Unidas (Eurostat, 1997). Al mismo tiempo, la CC trata de ser coherente con las recomendaciones de las Naciones Unidas aplicables en este campo:

- las definiciones relativas a las estadísticas actuales en materia de vivienda y construcción para los países de la región Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas (CEPE) (1994)
- las recomendaciones para los censos de 1990 en materia de población y vivienda para los países de la región CEPE

En comparación con la estructura de la CPC, el grupo *Edificios* de la CC se ha subdividido de manera más detallada e incluye un número considerable de partidas nuevas.

De modo general, el emplazamiento de la construcción, la propiedad y la institución a la que pertenecen son criterios poco significativos para esta clasificación, por lo que no se han tenido en cuenta salvo en contadas ocasiones.

- 11 Edificios residenciales
 - 111 Edificios de una vivienda
 - * 1110 Edificios de una vivienda
 - 112 Edificios de dos o más viviendas
 - * 1121 Edificios de dos viviendas
 - * 1122 Edificios de tres y más viviendas
 - 113 Residencias para colectividades
 - * 1130 Residencias para colectividades
- 12 Edificios no residenciales
 - 121 Hoteles y edificios similares
 - * 1211 Edificios hoteleros
 - * 1212 Otros edificios para alojamiento turístico
 - 122 Inmuebles para oficinas
 - * 1220 Inmuebles para oficinas
 - 123 Edificios para el comercio al por mayor y al por menor

- * 1230 Edificios para el comercio al por mayor y al por menor
- 124 Edificios para transporte y comunicaciones
 - * 1241 Edificios para transporte y comunicaciones, excepto garajes
 - * 1242 Edificios para garajes
- 125 Edificios industriales y almacenes
 - * 1251 Edificios industriales
 - * 1252 Depósitos, silos y almacenes
- 126 Edificios de uso cultural, recreativo, educativo o sanitario
 - * 1261 Edificios de uso recreativo y cultural
 - * 1262 Museos y bibliotecas
 - * 1263 Edificios escolares, universitarios y centros de investigación
 - * 1264 Edificios de uso sanitario
 - * 1265 Locales deportivos
- 127 Otros edificios no residenciales
 - * 1271 Edificios para explotaciones agrarias
 - * 1272 Edificios dedicados al culto y a la religión
 - * 1273 Monumentos declarados de interés artístico o histórico
 - * 1274 Otros edificios no comprendidos en otras partidas

Esta clasificación es amplia y divide los diferentes elementos según su uso, pero no tiene en cuenta la tipología constructiva ni energética.

Organización de las Naciones Unidas

El censo de población de la ONU (United Nations, 2008b) define una clasificación según la tipología del edificio, con el propósito de definir el tipo de edificio en el censo.

- Edificios que contienen una unidad de vivienda
 - Aislados
 - En hilera
- Edificios que contienen más de una unidad de vivienda
 - Hasta 2 plantas
 - De 3 a 4 plantas
 - De 5 a 10 plantas
 - De 11 plantas o más
- Edificios de residencia colectiva
- Otros

Esta clasificación sólo divide los edificios en unifamiliares, plurifamiliares y de residencia colectiva, subdividiéndolos en una tipología constructiva básica en el caso de las unifamiliares y por número de plantas en edificios plurifamiliares.

Instituto Nacional de Estadística

El Instituto Nacional de Estadística (INE, 2001) usa la siguiente clasificación para sus estadísticas:

- Edificio sólo con una vivienda familiar
- Edificio sólo con varias viviendas familiares
- Edificios principalmente con viviendas familiares compartido con locales
- Edificios principalmente con vivienda colectiva: hotel, albergue, pensión...
- Edificios principalmente con vivienda colectiva: convento, cuartel, prisión...
- Edificios principalmente con vivienda colectiva: instituciones de enseñanza, internados de enseñanzas medias, academias militares...
- Edificios principalmente con vivienda colectiva: hospitales en general, instituciones para discapacitados, marginados...
- Edificios principalmente con locales compartidos con alguna vivienda
- Locales
- Alojamientos

Esta clasificación proporciona poca información de edificios residenciales, en los que se puede llegar a agregar en tres categorías: unifamiliares, plurifamiliares y viviendas colectivas. Como edificios no residenciales sólo ofrece información sobre locales.

La *Encuesta de Presupuestos Familiares (EPF)* (INE, 2011) es una aproximación estadística a los hábitos de consumo. En la variable tipo de edificio de los microdatos se establece la siguiente clasificación:

- Edificio unifamiliar independiente
- Edificio unifamiliar adosado o pareado
- Edificio con menos de 10 viviendas
- Edificio con 10 o más viviendas
- Otros

Ministerio de fomento

La Subdirección General de Estadísticas y Estudios del Ministerio de Fomento realiza anualmente la *Encuesta de la Estructura de la Industria de la Construcción* (MdF, 2011b).

Los objetivos de esta encuesta son:

- Conocer las principales magnitudes del sector de la construcción
- Obtener un conjunto de información detallada, actualizada, fidedigna y completa del sector de la industria de la construcción
- Obtener series temporales homogéneas de resultados, con definiciones y criterios que permitan la comparación con la información elaborada con otros países

- Servir como instrumento para la ejecución de estudios y análisis relativos a los factores de producción utilizados y otros elementos que permitan medir la actividad, rendimiento y competitividad de las empresas, así como la estructura y la evolución de las mismas con el objeto de comparar su actividad y rendimiento con los de los competidores de su sector

Las principales variables de estudio son: personal y horas trabajadas, coste de personal, volumen de negocio, valor de la producción, excedente bruto de explotación, etc. Y la variable de clasificación aquí utilizada es el tamaño de empresa.

La clasificación de tipología de edificios que aparece en el cuestionario es la siguiente:

- Edificios residenciales
 - Destinados a vivienda
 - * Con una vivienda
 - Aislados
 - Adosados
 - Pareados
 - * Con dos o más viviendas
 - Destinados a residencia colectiva
 - * Permanente
 - * Eventual
- Edificios no residenciales
 - Explotaciones agrarias, ganaderas o pesca
 - Industrias
 - Transportes y comunicaciones
 - Almacenes
 - Servicios burocráticos (oficinas)
 - Servicios comerciales
 - Servicios sanitarios
 - Servicios culturales y recreativos
 - Servicios educativos
 - Iglesias y otros edificios religiosos (no residenciales)
 - Otros

Esta clasificación proporciona un amplio abanico de tipos, tanto para edificios residenciales como no residenciales, que puede ayudar a la hora de definir la importancia relativa de los diferentes tipos de edificios. Sin embargo, tanto en las licencias municipales de obra, como en los visados de obra, la clasificación es ligeramente diferente a la del cuestionario.

TABULA

El proyecto TABULA (2010) promueve un enfoque común europeo que sirva como una plataforma para el entendimiento mutuo de consumo de energía del parque de viviendas. Se manifiesta un esfuerzo de colaboración a escala europea que se centra en la creación y aplicación de las tipologías de construcción europea, con énfasis en el sector residencial, lo que permite una comprensión de la estructura y los procesos de modernización del sector de la construcción en diferentes países europeos (Dascalaki y col., 2011).

El término "tipología del edificio" describe una clasificación de los edificios de acuerdo con algunas características específicas, que en este caso están relacionados con el rendimiento energético del edificio. En este proyecto se estima el consumo de energía en los edificios a partir de tipologías, de parámetros de clasificación y de una serie de factores. Los parámetros acordados para la clasificación de los edificios son los siguientes:

- País
- Región o zona climática
- Año de construcción
- Tamaño del edificio
- Parámetro adicional

En cuanto a la clasificación según el tamaño del edificio es la siguiente:

- Vivienda unifamiliar
- Casa adosada (unifamiliar)
- Vivienda multifamiliar
- Bloque de apartamentos
- Edificios torre

2.3.2 Estado del parque edificatorio

Tradicionalmente, los arquitectos y los ingenieros estaban interesados en el diseño de nuevos edificios, condicionados por el apogeo posterior a la segunda guerra mundial, que duplicó los edificios e infraestructuras en la mayoría de países europeos. Pero en los últimos años, el interés se está desplazando gradualmente de la gestión del crecimiento a la gestión de situaciones de saturación (Kohler, Steadman y Hassler, 2009).

El proyecto europeo *COST Action C16* (Bragança, 2007) tiene como objetivo mejorar las técnicas y métodos usados para adaptar la envolvente térmica de los bloques residenciales construidos durante la segunda mitad del siglo XX. Debido a la rápida producción de un gran número de viviendas, el aspecto cualitativo fue poco importante. Se estima que entre el 50% y el 70% de los edificios residenciales en España están construidos sin la protección térmica adecuada (ANDIMA e IDAE, 2008; Heras, 2010). Esto indica que existe un potencial enorme en la mejora de la eficiencia energética.

El *Plan Estatal de Vivienda y Rehabilitación 2009-2012*, regulado mediante el Real Decreto 2066/2008, plantea una serie de objetivos políticos de primera magnitud, entre los que se incluye orientar todas las intervenciones tanto en la construcción de nuevas viviendas protegidas como en actuaciones de rehabilitación sobre el parque de viviendas construido hacia la mejora de su eficiencia energética y de sus condiciones de accesibilidad. Para alcanzar este objetivo, dentro del eje básico del plan, se ofrecen ayudas *renove* a la rehabilitación.

La Comisión Europea (EC, 2011) insta a que el sector público sea un ejemplo a seguir. Y que al renovar los edificios públicos, con tal de elevar su nivel de eficiencia energética, se debe duplicar la tasa actual de renovación, que en la EU-27 se sitúa entre un 1.2 % y un 1.5 %.

El Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (MITyC, 2011b) expone que en el caso de la rehabilitación hay una mayor dificultad técnica en las actuaciones que mejoran la calificación energética. Por lo que es más difícil alcanzar una calificación energética de tipo A que en un edificio nuevo. También preve una rehabilitación del 13 % del parque de hogares existentes en el año 2020 respecto del año 2011.

MITyC (2011b) propone varias medidas en el sector edificación y equipamiento directamente relacionadas con la rehabilitación:

- Rehabilitación energética de la envolvente térmica de los edificios existentes
- Mejora de la eficiencia energética de las instalaciones térmicas de los edificios existentes
- Mejora de la eficiencia energética de las instalaciones de iluminación interior en los edificios existentes
- Construcción de nuevos edificios y rehabilitación integral de existentes con alta calificación energética

Estas medidas consisten en reducir el consumo de energía en calefacción y refrigeración de los edificios existentes mediante actuaciones de reforma o rehabilitación de la envolvente térmica o de las instalaciones térmicas de calefacción, climatización y producción de ACS. También consisten en reducir el consumo de energía de las instalaciones de iluminación interior existentes y en reducir el consumo de energía mediante la promoción de edificios con una alta calificación energética (A o B).

El sector de la edificación y equipamiento al ser un sector difuso y por tener más dificultad para acometer medidas de eficiencia energética es el sector más prioritario. De las medidas propuestas en este sector solo las tres primeras están priorizadas, cuya ejecución resultaría en un ahorro de energía final de 2525 ktep, un ahorro de energía primaria de 4872 ktep y unas emisiones evitadas de 10 643 ktCO₂. Para ello se necesitaría un apoyo del sector público de 1585 millones de euros, que junto con aportación privada se realizaría una inversión de 21 615 millones de euros.

La rehabilitación energética de edificios proporciona una vía de reconversión para el sector de la construcción y, por lo tanto, de disminución de su fuerte carga ambiental (OSE, 2011). La proporción de licencias de rehabilitación respecto a obra nueva ha sido siempre muy pequeña, algo superior al

Tabla 2.1: Instituto Nacional de Estadística. Nº de viviendas según tipo de edificio y clase de vivienda (INE, 2001)

Clase de vivienda	Unifamiliar	Plurifamiliar	Colectiva	Locales	Total
Principales	4 240 155	9 858 229	27 464	58 178	14 184 026
Alojamientos	3 143	0	0	0	3 143
Secundarias	1 423 217	1 924 363	3 720	9 331	3 360 631
Vacías	980 978	2 106 154	4 464	14 826	3 106 422
Otro tipo	38 241	252 118	718	1 255	292 332
Total	6 685 734	14 140 864	36 366	83 590	20 946 554

3 % durante la última década, pero en el año 2009 alcanzó una proporción 10.31 %, principalmente debido al desplome de las licencias de obra nueva. El ratio de número de viviendas según visados da una imagen lo más cercana a la realidad sobre la evolución de la rehabilitación, que ha estado en torno al 5 % en toda la pasada década, aumentando hasta un 21.79 % en el año 2009 (OSE, 2010).

Instituto Nacional de Estadística

El Instituto Nacional de Estadística es el organismo oficial encargado de recopilar las estadísticas demográficas, sociales y económicas, así como planificar, levantar y analizar los censos. Los censos de población son recuentos exhaustivos de la población de un país que permiten conocer las características sociales y demográficas de las personas y constituyen la operación de mayor rango dentro de la actividad estadística oficial. Con referencia a 1 de noviembre de 2001 se han realizado los primeros censos demográficos del siglo XXI (INE, 2001). Este último censo de población y viviendas presenta una cifra oficial de 9 284 513 edificios y un total de 20 946 554 viviendas, 14 184 026 de ellas principales. En la tabla 2.1 se puede ver el número de viviendas según el tipo de edificio y la clase de vivienda según su uso.

El auge de la construcción de viviendas y el aumento de la población de los últimos diez años hace que esta cifra sea obsoleta. El número estimado de viviendas principales en 2008 según el *Ministerio de Vivienda* (MdV, 2009b) es de 16 474 294.

Por otra parte, sólo el 70 % de las viviendas está destinado a residencia habitual, representando las viviendas no principales el 30 % (14 % desocupadas y 16 % secundarias), cifra muy superior a las registradas en el resto de países europeos (INE, 2001). Si bien estos datos del 2001 indican la desocupación de viviendas, se ha de sumar el número de viviendas nuevas que aún están sin vender debido al auge inmobiliario, cuya cifra se estima en más de 600 000 viviendas en el año 2008 (MdV, 2010). A finales de 2009 estas viviendas sin vender podrían oscilar entre el 2.8 % y el 4.4 % del parque total de viviendas (Banco de España, 2010).

Otro hecho relevante de la situación de la vivienda en España es que el parque de viviendas es mayoritariamente en propiedad (82 %) y que existen

Tabla 2.2: Encuesta de Presupuestos Familiares. Superficie según tipo de edificio [millones de m²] (INE, 2011)

Año	Unifamiliar independiente	Unifamiliar adosada	Menos de 10 viviendas	10 o más viviendas	Otros	Total
2006	262.44	429.76	241.13	633.61	3.28	1570.22
2007	252.39	470.01	252.53	646.76	5.36	1627.05
2008	235.83	481.13	268.03	673.35	2.84	1661.18
2009	239.84	502.38	262.64	678.30	3.16	1686.32
2010	225.02	488.55	263.02	697.86	2.12	1676.57

más viviendas vacías (14 %) que en alquiler (11 %) (INE, 2001; OSE, 2009). Al ser la mayoría de viviendas de propiedad, atenúa el dilema de la división de incentivos entre el propietario y el arrendatario que se da cuando quien ha de costear la medida de eficiencia energética no es quien se beneficia de las mejoras.

Si bien la información de la superficie total no está disponible directamente, puede ser calculada mediante el número de viviendas multiplicado por su superficie media, pero sólo se dispone de esta información en el caso de las viviendas principales. En el año 2001 estaban censados 853 millones de m² de tipo de edificio plurifamiliar, 462 millones de m² de unifamiliar, 6 millones de m² de locales y 3 millones de m² de tipo de edificio colectivo, representando un total de 1324 millones de m² de viviendas residenciales principales.

La Encuesta de Presupuestos Familiares (EPF) (INE, 2011) sólo trata con viviendas principales. Entre las variables disponibles en los microdatos de estas encuestas se encuentran el tipo de edificio y la superficie de la vivienda. La superficie total es una estimación de cálculo en el que se multiplica la superficie de cada una de las muestras por su factor de representación. En la tabla 2.2 se muestra esta superficie total para cada tipo de edificio.

Ministerio de fomento

El ministerio de fomento recoge una amplia información cuantitativa sobre el sector de la construcción mediante la recopilación de: formularios que los aparejadores o arquitectos técnicos deben cumplimentar en los colegios profesionales con ocasión del visado de encargo de dirección de obra y de la certificación de fin de obra, cuestionarios que el promotor o técnico responsable de un proyecto debe entregar en el ayuntamiento al solicitar la licencia de una obra mayor de nueva planta, de demolición y de rehabilitación de edificios y viviendas, y la licitación de obra pública realizada por las distintas administraciones públicas.

Licencias municipales de obras

La licencia municipal de obras es un permiso necesario para la realización de cualquier tipo de obras en locales, naves y edificios dentro de un munic-

pio. Los diferentes tipos de obras son construcción, rehabilitación y demolición. Y se pueden referir a edificios o a viviendas.

En el tipo de obra de nueva construcción, como se muestra en la tabla 2.3, la información de edificios residenciales se halla muy agregada, ya que sólo hace distinción a vivienda familiar y residencia colectiva (permanente o temporal). Los edificios residenciales forman entre el 65 % y el 85 % de la superficie total a construir. Tienen en común que están formados mayoritariamente por recintos habitables que requieren de unas condiciones térmicas cuyo cumplimiento tiene una demanda energética importante en la fase de uso del edificio.

Los edificios no residenciales, tabla 2.4, están clasificados en 7 categorías: explotaciones agrarias y pesqueras, industria, transporte y comunicaciones, almacenes, servicios burocráticos, servicios comerciales y otros. En muchos de estos edificios habrán recintos habitables como aulas, bibliotecas, despachos, oficinas, salas de reunión, baños, aseos y zonas comunes de circulación. Algunas de estas categorías suelen tener la mayoría de recintos de este tipo, como las oficinas (servicios burocráticos) y el sector terciario (servicios comerciales). Pero estos edificios también disponen de recintos no habitables cuyo uso no requiere de condiciones térmicas, como almacenes y explotaciones agrarias.

Se puede observar que hay un máximo de construcción de obra nueva en todos los tipos de edificios en torno al año 2006 y un mayúsculo declive posterior, incluso en edificios no residenciales.

Según se puede comprobar en la tabla 2.5, las obras de rehabilitación se han incrementado notablemente en la última década, y en contraste a la obra nueva, se mantienen durante el último lustro. A pesar de que el número de edificios en rehabilitación es realmente modesto, con una tasa de renovación ligeramente por encima del 0,3 %, es un sector en auge.

Licitación oficial en la construcción

A través de los datos de la licitación oficial en la construcción, el Ministerio de Fomento (MdF, 2011c) resume la demanda de construcción realizada por las distintas administraciones públicas, siempre que ésta haya sido anunciada en los distintos Boletines Oficiales.

La variable de estudio es el presupuesto licitado y la variable de clasificación es la tipología de obra. En la tabla 2.6 se puede observar que el gran peso de la inversión de las licitaciones recaen en la ingeniería civil. Las construcciones de esta categoría en su mayor parte no son edificios, sino obras como carreteras y vías urbanas, infraestructuras ferroviaria y aeroportuaria, puertos y canales de navegación, encauzamiento y defensa, obras de regadío, centrales de energía eléctrica, abastecimiento de agua potable, saneamientos, instalaciones de telecomunicaciones, instalaciones deportivas, urbanizaciones y otras obras ingeniería civil.

La nueva Directiva 2010/31/EU de eficiencia energética en edificios expone que el sector público debe servir de ejemplo en el ámbito de la eficiencia energética de los edificios, y por ello los planes nacionales deben fijar

Tabla 2.3: Licencias municipales de obras. Superficie a construir según tipo [miles m²] (MdF, 2011b))

Año	Vivienda familiar	Residencia colectiva permanente	Residencia colectiva temporal	No residencial	Total
2001	65 129	564	1522	18 378	85 593
2002	67 013	671	1123	16 820	85 627
2003	77 946	734	1256	17 151	97 087
2004	89 251	630	1029	18 584	109 494
2005	96 895	615	996	19 405	117 911
2006	116 693	680	937	25 591	143 901
2007	101 145	752	893	25 464	128 254
2008	46 738	797	670	17 880	66 085
2009	23 729	424	266	13 014	37 433
2010	17 752	297	439	8218	26 706

Tabla 2.4: Licencias municipales de obras. Superficie a construir en edificios no residenciales [miles m²] (MdF, 2011b)

Año	Explotac. agrarias y pesqueras	Industria	Transporte y comunic.	Almacenes	Servicios burocrát.	Servicios comerc.	Otros	Total
2001	1031	8013	524	3984	1338	2128	1358	18 376
2002	1129	7240	291	3566	1324	1590	1683	16 823
2003	1449	6909	373	3023	1532	2260	1601	17 147
2004	1423	8552	401	3252	1118	1949	1889	18 584
2005	1140	8643	445	3876	1130	2091	2082	19 407
2006	1463	10 964	606	4353	2393	3038	2773	25 590
2007	1166	9669	598	4271	2967	2329	4463	25 463
2008	886	6232	218	3104	2809	2082	2548	17 879
2009	1340	4239	125	1469	1495	1447	2898	13 013
2010	885	2359	107	948	1079	1245	1599	8222

Tabla 2.5: Licencias municipales de obras. Obras de rehabilitación (MdF, 2011b)

Año	Edificios	Superficie [miles m ²]	Cimentación	Cubiertas	Fachadas	Locales
2001	25 818	2701	3932	7732	8629	5421
2002	27 336	2556	4022	8061	8991	5659
2003	28 392	2970	4274	8326	9638	5749
2004	32 229	2982	4572	9461	10 642	6020
2005	33 086	2684	5138	10 191	12 016	6886
2006	35 856	3282	4966	10 834	12 212	7162
2007	33 359	3408	4844	10 100	11 354	6902
2008	34 807	3582	4858	11 223	11 650	7371
2009	33 267	2495	4457	12 645	11 282	6242
2010	31 910	2761	5111	12 460	10 982	6043

Tabla 2.6: Licitación oficial por tipología de obra [miles €] (MdF, 2011c)

Año	Viviendas familiares	Establecimientos colectivos	No residencial	Ingeniería civil	Total
2001	626 199	1 606 264	5 156 522	16 340 638	23 729 622
2002	650 565	1 240 822	5 332 170	19 610 613	26 834 170
2003	880 827	783 002	5 523 863	16 700 223	23 887 916
2004	876 364	1 310 472	5 247 423	20 864 210	28 298 468
2005	1 140 640	1 367 252	7 934 704	23 010 765	33 453 361
2006	1 791 219	2 268 955	9 182 797	30 962 334	44 205 305
2007	1 195 009	974 185	8 722 749	26 507 489	37 399 432
2008	1 355 333	999 111	7 720 799	28 374 183	38 449 425
2009	1 086 025	1 355 989	7 745 013	25 167 043	35 354 070
2010	665 614	835 609	6 627 535	13 808 694	21 937 452

objetivos más ambiciosos para los edificios ocupados por las autoridades públicas.

Visados de dirección de obra

La Dirección General de Programación Económica del Ministerio de Fomento publica esta estadística de obras en edificación con el objetivo de conocer la evolución de la actividad de la construcción y del parque de edificios que se construyen en España, sean obras nuevas, ampliaciones o reformas.

La tabla 2.7 muestra que la información de edificios residenciales se halla agregada, aunque no tanto como en las licencias municipales de obras, ya que la vivienda familiar se diferencia entre unifamiliar adosada, unifamiliar aislada, plurifamiliar y vivienda colectiva. Los edificios residenciales forman entre el 67 % y el 86 % de la superficie total a construir.

Los edificios no residenciales (tabla 2.8) están clasificados en 7 categorías, pero diferentes a la de las licencias municipales: servicios comerciales y almacenes, agrario y ganadero, industria, oficinas, turismo, transporte y otros. Como en las licencias municipales en muchos de estos edificios habrán recintos habitables, especialmente en oficinas y servicios comerciales. Sin embargo, en esta clasificación los servicios comerciales están agregados con los almacenes, que no dispondrán de tanto recinto habitable.

Análogamente a los datos arrojados por las licencias, se puede observar que en el año 2006 se produce el máximo de nueva construcción y que en el año 2010 el nivel de construcción cae a un 20 % respecto a la media de la última década para la edificación de uso residencial y a un 42 % para la edificación de uso no residencial.

Otros

La oficina estadística de la Comisión Europea (Eurostat, 2011) publica las estadísticas sobre población y condiciones sociales para todos los países de la Comunidad Europea. Los valores son los mismos que los publicados por los censos del INE (2001).

Los datos proporcionados por la ONU (United Nations, 2012) también proceden de los censos del INE (2001). No obstante, la mayoría de datos relacionados con la vivienda son indicadores sociales y se refieren a cuestiones de habitabilidad básicas, como condiciones de vida, número de habitantes por vivienda, número de habitantes por habitación, disponibilidad de agua y luz, referidos siempre a un entorno urbano o rural.

El *Plan de Acción 2008-2012 de Ahorro y Eficiencia Energética en España* señala que:

El parque edificatorio español está constituido mayoritariamente por edificios cuyo uso principal es el de vivienda. En el año 2005, el 85 % de la superficie construida estaba formada por edificios de viviendas y el 15 % restante por edificios destinados a otros usos principalmente administrativo y comercial. En concreto, 389 millones de m² correspondían al sector terciario en sus diferentes usos y el resto 2300 millones de m²

Tabla 2.7: Visados de dirección de obra. Superficie a construir de uso residencial [miles m²] (MdF, 2011a)

Año	Unifamiliares adosadas	Unifamiliares aisladas	En bloque	Colectivos	Total
2001	18 590	9 567	54 401	557	83 114
2002	18 787	9 901	57 221	625	86 534
2003	23 629	11 508	67 832	912	103 880
2004	25 227	12 140	75 750	685	113 803
2005	27 167	12 036	79 393	451	119 046
2006	20 651	14 651	102 857	406	138 566
2007	9 501	12 607	81 280	363	103 752
2008	4 085	8 308	32 523	195	45 111
2009	1 579	5 045	12 775	110	19 509
2010	1 060	4 946	10 272	114	16 391

Tabla 2.8: Visados de dirección de obra. Superficie a construir de uso no residencial [miles m²] (MdF, 2011a)

Año	Servicios comerciales y almacenes	Agrario y ganadero	Industria	Oficinas	Turismo recreo y deportes	Servicios de transporte	Otros servicios	Total
2001	7 329	312	4 776	2 218	3 867	718	1 955	21 175
2002	6 436	357	4 262	3 110	3 392	842	2 458	20 856
2003	6 890	390	4 763	2 722	3 882	960	2 690	22 297
2004	6 464	468	4 623	2 623	2 949	931	2 206	20 264
2005	6 931	400	4 251	2 381	3 560	1 587	2 972	22 083
2006	6 878	385	3 965	2 341	4 039	1 415	3 548	22 571
2007	6 160	392	4 399	3 124	3 193	1 180	3 049	21 498
2008	4 104	375	2 769	2 172	1 693	1 135	2 614	14 862
2009	2 054	173	1 318	1 338	1 569	750	2 458	9 660
2010	1 487	143	905	1 091	1 321	700	2 469	8 116

Tabla 2.9: Reforma y/o restauración de edificios. N° de edificios y presupuesto de ejecución material (MdF, 2011a)

Año	N° de edificios		Presupuesto de ejecución material [millones €]	
	Residencial	Otros usos	Residencial	Otros usos
2001	21 924	6842	822	995
2002	21 031	7543	835	1131
2003	22 362	8526	1016	1226
2004	24 324	8599	1175	1195
2005	26 550	10 496	1261	1350
2006	27 132	7324	1429	1360
2007	28 225	8077	1651	1491
2008	28 718	7705	1472	1593
2009	31 789	8969	1425	1742
2010	32 597	7851	1331	1407

al sector doméstico, de los que 1600 millones de m² estaban destinados a viviendas principales (IDAE, 2007).

2.4 CONSUMO Y EMISIONES DE EDIFICIOS

Esta sección está dividida en tres partes: el consumo y emisiones de una vivienda, el consumo y emisiones del sector residencial analizado para diferentes escalas regionales y una revisión de la literatura sobre prospección de energía y de emisiones.

En la primera parte se analiza cuál es el consumo de una vivienda y cuáles son las emisiones asociadas a este consumo. En la literatura se encuentran dos aproximaciones, que son el consumo medio de una región (consumo total dividido por el número de viviendas) y el consumo de una vivienda estándar. Se ha realizado una tercera aproximación consistente en analizar consumos reales de una muestra de viviendas y mostrar el valor medio. Finalmente, se muestra el consumo y emisiones por aspectos energéticos.

La segunda parte se centra en reunir toda la información oficial disponible sobre el consumo y las emisiones anuales totales del sector residencial para tres regiones: Cataluña, España y Europa. Se ha prestado especial atención en conocer la proporción de fuentes energéticas y cuál es la energía primaria empleada.

La última parte recoge información de la previsión de la demanda de energía final y emisiones del sector residencial y también sobre de precios de la energía a largo plazo.

2.4.1 Consumo y emisiones de una vivienda

El uso energético de la vivienda se suele dividir en aspectos energéticos: calefacción, ACS, electrodomésticos, cocina, iluminación, climatización y otros. En este apartado se exponen las publicaciones y estudios que detallan el consumo total de una vivienda, cuáles son las emisiones asociadas y qué proporción tienen los diferentes aspectos energéticos de la vivienda respecto al consumo y emisiones totales. El consumo total de una vivienda se suele presentar por el consumo de energía final que la vivienda necesita durante un año expresado en kWh. Las emisiones totales se presentan en kg de CO₂ emitidos a la atmósfera. Según la fuente, estas emisiones pueden contabilizar únicamente las emisiones directas o también incluir las indirectas, como las que se generan por el uso de electricidad.

Según Cuchí y col. (2003) los datos sobre el estado actual de consumo se pueden definir de tres maneras: el consumo medio de la población en el sector doméstico, el consumo real obtenido de la lectura de una muestra de viviendas y el consumo de una vivienda estándar. De las publicaciones analizadas en la tabla 2.10, cuatro estiman el consumo medio de todo el parque residencial de una región, dos analizan una vivienda estándar y una, mediante un cálculo propio de los datos del Hernández-Sánchez y Roca (2012), expone los datos reales de una muestra de viviendas.

El *Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino* (MMA-MRM, 2009a) establece el consumo y emisiones de CO₂ de las viviendas de España en

Tabla 2.10: Consumo y emisiones de vivienda, anuales y por superficie. Elaboración propia a partir de datos de: CRANA (2006); Cuchí y col. (2003); Hernández-Sánchez y Roca (2012); ICAEN (2010); MMA-MRM (2009a,b); Rodrigo y col. (2008); WEC (2008)

	Consumo [kWh]	Emisiones [kgCO ₂]	Superficie [m ²]	Consumo [kWh/m ²]	Emisiones [kgCO ₂ /m ²]
MMA	12 212	1 132	93	131	12
WEC		1 300	93		14
ICAEN	8 486		90	94	
CRANA	12 213	6 100	99	123	62
Cuchí	11 837	3 059	90	132	34
Rodrigo	9 300		90	103	
Hernández	8 579		94	91	

12 212 kWh (1,05 tep) y 1 132 kgCO₂ por vivienda. Las viviendas principales de España tienen una superficie media de 93 m² (INE, 2001), resultando en un consumo específico de 131 kWh/m² y en unas emisiones específicas de 12 kgCO₂/m². Las emisiones de CO₂ son las que proceden de la combustión de origen residencial que incluye las producidas por: calderas, turbinas de gas, motores estacionarios y otros equipos como estufas, cocinas, etc.

Los datos del *Consejo Mundial de Energía* (WEC, 2008) muestran que las emisiones totales anuales de una vivienda son de 1,3 tCO₂. De este consumo se derivan unas emisiones específicas de 14 kgCO₂/m² para una superficie media de 93 m².

El *Institut Català d'Energia* (ICAEN, 2010) considera el consumo anual en el año 2007 de una vivienda en Cataluña en 8 486 kWh. Dado que según el *Institut d'Estadística de Catalunya* (IDESCAT, 2010) la superficie media de una vivienda es de 90 m², el consumo específico resulta en 94 kWh/m².

El *Centro de Recursos Ambientales de Navarra* (CRANA, 2006) estima el consumo medio anual en el año 2002 de las viviendas de Navarra en 12 213 kWh, resultado de dividir el total de consumo asociado al sector doméstico entre el número de viviendas. Como el *Instituto Nacional de Estadística* (INE, 2001) indica que la superficie media de una vivienda para esta comunidad autónoma es de 99 m², el consumo específico resulta en 123 kWh/m². También considera que las emisiones asociadas a ese consumo son 6 100 kgCO₂, resultando que las emisiones específicas son de 62 kgCO₂/m².

Cuchí y col. (2003) determinan que el consumo de una vivienda estándar situada en el área de Barcelona, de 90 m² de superficie y 4 habitantes, tiene un consumo anual de 11 837 kWh y unas emisiones asociadas de 3 059 kgCO₂. También argumenta que este consumo equivale aproximadamente a 1 000 litros de gasolina.

De la misma manera, Rodrigo y col. (2008) determinan que una vivienda estándar localizada en la zona de Zaragoza, de 90 m² de superficie, tiene un consumo anual de 9 300 kWh.

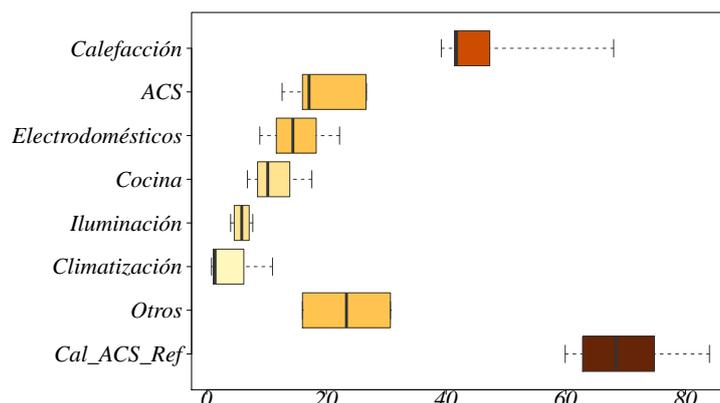


Fig. 2.4: Consumo por aspectos energéticos de la vivienda en España. Elaboración propia a partir de datos de: CRANA (2006); Cuchí y col. (2003); ICAEN (2010); IDAE (2009a); Rodrigo y col. (2008)

Finalmente, Hernández-Sánchez y Roca (2012) han realizado el cálculo del consumo anual de una vivienda a partir de datos reales utilizando los microdatos proporcionados por el *Instituto Nacional de Estadística* (INE, 2011) sobre encuestas de presupuestos familiares. Estas encuestas proporcionan datos de consumo para cada fuente energética a partir de una muestra de 24 000 viviendas durante el período del 2006 al 2010. Se ha tenido en cuenta que cada muestra tiene asociado un factor de representatividad, se han transformado todos los consumos convirtiéndolos a kWh y se ha calculado la media ponderada del consumo y de la superficie, obteniendo un resultado de un consumo anual de 8 579 kWh para una superficie media de 94 m². El consumo específico es el resultado de la división de estos dos valores.

Algunas publicaciones también muestran las proporciones en el consumo de energía de cada aspecto energético. En la figura 2.4 se pueden ver resumidos qué aspectos energéticos son los que necesitan más energía y cuáles menos. Se ha añadido el estudio realizado por el *Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía* (IDAE, 2009a), que sólo documenta estos datos y no menciona ni la superficie media ni el consumo total anual. Los usos energéticos que forman la mayor parte del consumo de una vivienda son la calefacción, la refrigeración y el ACS. La proporción global de consumo del conjunto de estos aspectos energéticos varían entre el 60 % y el 84 %, siendo la media el 70 %.

En la figura 2.5 se pueden contrastar las proporciones de los aspectos energéticos del consumo europeo, donde la calefacción y el ACS tienen un peso aún mayor y la refrigeración es inexistente. La proporción global de consumo de calefacción, refrigeración y ACS asciende hasta el 82 %.

La única publicación que analiza la proporción de las emisiones según el aspecto energético es la de Cuchí y col. (2007), cuyos resultados se muestran en la figura 2.6. La diferencia de proporciones respecto el consumo (figura 2.4) sugiere que la calefacción y el ACS utilizan gas natural y el resto electricidad.

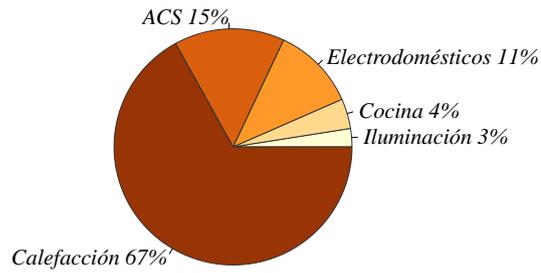


Fig. 2.5: Consumo de vivienda en Europa por aspectos energéticos. IDAE (2009a)

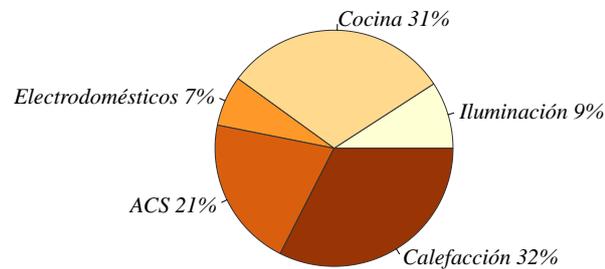


Fig. 2.6: Emisiones de vivienda por aspectos energéticos. Cuchí y col. (2007)

2.4.2 Consumo y emisiones totales del sector residencial

Se analiza cuál es el consumo total del sector residencial y sus emisiones asociadas, a través de datos de publicaciones, para tres regiones de diferente tamaño: Cataluña, España y Europa. Asimismo, se establece la proporción de cada fuente energética sobre el consumo total.

Cataluña

Alcantara, Padilla y Roca (2007) analizan el consumo de energía y las emisiones del sector doméstico en Cataluña según la fuente energética para el periodo 2003-2005.

Tal como se muestra resumido en la tabla 2.11, la fuente energética más utilizada como energía final es el gas natural, igualado por la electricidad y seguido por el petróleo. Las otras fuentes energéticas prácticamente no tienen ninguna representatividad debido a su baja aportación.

En el caso de las emisiones (tabla 2.12) la ausencia de la electricidad como energía final y la proporción más alta de las otras fuentes energéticas sugieren que la electricidad se ha fragmentado según los combustibles que la generan y que producen CO₂.

Tabla 2.11: Consumo final de energía del sector doméstico en Cataluña para el periodo 2003-2005 por fuente energética. Alcantara, Padilla y Roca (2007)

Fuente energética	Consumo	
	[ktep]	% del total
Carbón	0,5	0,02 %
Gas natural	905,2	42,61 %
Biomasa	41,3	1,94 %
Solar térmica	3,5	0,16 %
Biogas	0,0	0,00 %
Refinados de petróleo	345,1	16,24 %
Electricidad	829,0	39,02 %
Total	2124,6	

Tabla 2.12: Emisiones anuales del sector doméstico en Cataluña para el periodo 2003-2005. Alcantara, Padilla y Roca (2007)

Fuente energética	Emisiones	
	[ktCO ₂]	% del total
Carbón	179,4	3,64 %
Petróleo	915,1	18,58 %
SDP (Saldo derivados de petróleo)	429,3	8,72 %
Gas	3401,1	69,06 %
Total	4924,9	

En la tabla 2.13 se resumen los datos del consumo final de energía, los requerimientos de energía primaria y las emisiones totales de Cataluña en 2005 (excepto para ICAEN cuyos datos son del año 2007). El ICAEN (2010) estima el consumo final de energía del sector doméstico en Cataluña para 2007 en 2 260,1 ktep. Roca, Alcantara y Padilla (2007) estiman este consumo para 2005 en 2 180,7 ktep y que la energía primaria necesaria para satisfacer este consumo es de 3 540,1 ktep. LAVOLA (2009) estima 2 014,9 ktep en 2003 y 2 260,1 ktep en 2007, se ha utilizado el valor interpolado 2 138 ktep en 2005 para una mejor comparación con los datos de los otros autores. Garrido-Soriano y col. (2012) sólo consideran el consumo final de energía de los aspectos energéticos de la calefacción y de la refrigeración, que representan el 47 % del total del consumo de energía final de la vivienda.

España

Eurostat (2010) proporciona datos de la cantidad de energía final desglosada por fuente energética para el sector residencial, servicios, agricultura y otros. En esta publicación se muestran datos del total del consumo final de energía para cada fuente energética y también del total del consumo final para cada subsector del grupo. Adicionalmente, para el grupo residencial se conoce

Tabla 2.13: Consumo y emisiones del sector residencial en Cataluña en 2005. Elaboración propia a partir de datos de: Alcantara, Padilla y Roca (2007); Garrido-Soriano y col. (2012); ICAEN (2010); LAVOLA (2009); Roca, Alcantara y Padilla (2007)

	Consumo final de energía	Requerimientos de energía primaria	Emisiones
ICAEN ⁽²⁰⁰⁷⁾	2 260 ktep		
Alcántara	2 125 ktep		4 925 ktCO ₂
Roca	2 181 ktep	3 540 ktep	
Lavola	2 138 ktep	3 406 ktep	
Garrido-Soriano *	1 161 ktep		2 800 ktCO ₂

* Exclusivamente calefacción y refrigeración

Tabla 2.14: Consumo final de energía del sector residencial en España en 2007 por fuente energética [ktoe]. Elaboración propia a partir de los datos de Eurostat (2010)

Fuente energética	Residencial	
Comb. sólidos	134	0,84 %
Gasóleo	3 168	19,96 %
Gas natural	3 755	23,66 %
Renovables	1 387	8,74 %
Electricidad	6 133	38,64 %
Otros	1 295	8,16 %
Total	15 872	100,00 %

que el consumo de gas natural y de electricidad suman el 62 % del total. Para el 38 % restante: combustibles sólidos, gasóleo, renovables y otros, el consumo final de energía ha sido inferido mediante la interpolación de los datos disponibles.

En la tabla 2.14 se muestran los datos del consumo final de energía del sector residencial en España en 2007 desglosados por la fuente energética.

En la tabla 2.15 se resumen los datos del consumo final de energía y de las emisiones totales de España en 2007. IDAE (2009a) estima que el consumo de energía final del sector residencial en España en el año 2008 es de 16 471 ktep. Eurostat (2010) lo estima en 15 872 ktep en el año 2007. Una cifra similar, 15 940 ktep, es la que presenta la Comisión Europea (EC y DGET, 2010) con unas emisiones de CO₂ de 18 400 ktCO₂ y unas emisiones de gases de efecto invernadero de 19 300 ktCO₂-eq. El sector residencial español representa entonces el 16,11 % del consumo de energía final y el 4,36 % de las emisiones. MMA-MRM (2009c) sólo ofrece los valores de las emisiones cuantificándolas en 19 255 ktCO₂-eq.

Tabla 2.15: Consumo y emisiones del sector residencial en España en 2007. Elaboración propia a partir de datos de: EC y DGET (2010); Eurostat (2010); IDAE (2009a); MMA-MRM (2009c)

	Consumo final de energía	Emisiones
IDAE ⁽²⁰⁰⁸⁾	16 471 ktep	
EUROSTAT	15 872 ktep	
EC-DGET	15 940 ktep	19 300 ktCO ₂
MMA-MRM		19 255 ktCO ₂

Tabla 2.16: Consumo final de energía del sector residencial en Europa en 2007 por fuente energética [ktoe]. Elaboración propia a partir de los datos de Eurostat (2010)

Fuente energética	Residencial	
Combustibles sólidos	7 676	2,70 %
Gasóleo	39 936	14,04 %
Gas natural	113 193	39,78 %
Renovables	23 961	8,42 %
Electricidad	69 049	24,27 %
Otros	30 700	10,79 %
Total	284 516	100,00 %

Europa

Como en el caso de España, Eurostat (2010) proporciona datos de la cantidad de energía final desglosada por fuente energética para el sector residencial, servicios, agricultura y otros. Se conoce que el consumo de gas natural y de electricidad para el grupo residencial suman el 64 % del total. Para el 36 % restante: combustibles sólidos, gasóleo, renovables y otros, el consumo final de energía ha sido inferido mediante la interpolación de los datos disponibles.

En la tabla 2.16 se muestran los datos del consumo final de energía del sector residencial en Europa en 2007 desglosados por la fuente energética.

En la tabla 2.17 se resumen los datos del consumo final de energía y de las emisiones totales de Europa (EU-27) en 2007. La Comisión Europea (EC y DGET, 2010) estima el consumo final de energía de Europa en 2007 en 284,6 Mtep con unas emisiones de CO₂ de 413,1 MtCO₂ y unas emisiones de gases de efecto invernadero de 426,5 MtCO₂-eq. Un valor similar, 284,5 Mtep, lo ofrece Eurostat (2010).

Tabla 2.17: Consumo y emisiones del sector residencial en Europa en 2007. Elaboración propia a partir de datos de: EC y DGET (2010); Eurostat (2010)

	Consumo final de energía	Emisiones
EC-DGET	284,6 Mtep	426,5 MtCO ₂
EUROSTAT	284,5 Mtep	

Tabla 2.18: Prospección demográfica, de balance de energía y de indicadores para Europa y España en 2030. Elaboración propia a partir de datos de EC y DGET (2010)

Indicador	EU-27			España		
	2010	Base.	Ref.	2010	Base.	Ref.
Demanda Energía Final [ktep]	309 183	0 %	-4 %	16 085	11 %	7 %
Emisiones CO ₂ [MtCO ₂]	481.1	-16 %	-25 %	21.5	-17 %	-29 %
Intensidad CO ₂ [tCO ₂ /tep]	1.56	-15 %	-22 %	1.34	-25 %	-34 %
Población [10 ⁶]	499.4	4 %	4 %	46.7	13 %	13 %
Nº viviendas [10 ⁶]	216.8	11 %	11 %	17.3	27 %	27 %
DEF/viv. [kep/vivienda]	1426	-10 %	-14 %	930	-13 %	-16 %
CO ₂ /viv. [kgCO ₂ /vivienda]	2219	-24 %	-33 %	1243	-34 %	-44 %

2.4.3 Prospección de energía y de emisiones

El indicador de intensidad de emisiones de CO₂ indica cuántas toneladas de CO₂ se emiten al consumir en el punto final una energía equivalente a una tonelada de petróleo. Según el escenario base de la Comisión Europea, y como se muestra en la tabla 2.18, en el año 2010 este indicador es de 1.56 tCO₂/tep en Europa y de 1.34 tCO₂/tep en España. En el año 2030 está previsto que sean de 1.32 tCO₂/tep en Europa y de 1.00 tCO₂/tep en España, lo que implica una mejora de un 15 % y un 25 % respectivamente.

La demanda de energía final por vivienda en 2030 respecto al 2010 habrá disminuido en Europa un 10 % y en España un 13 %. Las emisiones de CO₂ por vivienda habrán disminuido más, un 24 % y un 34 % respectivamente, debido en primer lugar por la disminución de la demanda y por último a la mejora de la intensidad de emisiones de CO₂.

Globalmente habrá una mejor eficiencia y se emitirá menos CO₂ por unidad de energía consumida. De entrada por el cambio de la combinación de energía para producir electricidad. Después por la sustitución de equipos obsoletos por otros más eficientes. Y por último por la mejora de la envolvente térmica de los edificios que se resuelve en una menor demanda energética. Esta estimación incluye los edificios ya construidos y con baja eficiencia que serán rehabilitados en los próximos 20 años.

El escenario base determina el desarrollo del sistema energético de la Unión Europea con las tendencias y políticas actuales. Tiene en cuenta tanto las tendencias actuales en la población y en el desarrollo económico, como la

reciente crisis económica y el entorno de precios altamente volátil de importación de energía en los últimos años. El escenario de referencia se basa en las mismas suposiciones que en el escenario base, pero teniendo en cuenta las políticas adoptadas en el año 2009 y suponiendo que se lograrán los objetivos en el año 2020 bajo las directivas de renovables y de emisiones de CO₂.

Según el informe *Perspectivas de la energía en el mundo 2010* (IEA, 2010b) el precio del petróleo aumentará un 124% en el año 2035 respecto al año 2009 según el escenario de políticas actuales y un 87% según el escenario de nuevas políticas. Se considera que el gas natural y el carbón sufrirán un cambio similar, ya que su precio se supone proporcional al del petróleo.

El precio de la electricidad en Europa en el año 2030 aumentará un 31% según el escenario base y un 28% según el escenario de referencia de la comisión europea (EC y DGET, 2010).

Según el escenario base de la agencia internacional de la energía (IEA, 2010a) el sector de la edificación estará cerca de duplicar las emisiones de CO₂ en el año 2050 respecto al año 2007. En cambio, en el escenario Blue Map, las emisiones se reducen en dos tercios mediante el uso de electricidad con baja emisión de CO₂, una mayor eficiencia energética y el cambio a tecnologías de bajas emisiones de CO₂.

La reciente Directiva sobre los residuos (Directive 2008/98/EC) impone reciclar, reusar o revalorizar un 70% de los materiales de la deconstrucción. No es disparatado suponer que en 50 años surjan otras directivas más restrictivas.

2.5 MEDIDAS DE MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA

La Comisión Europea (EC, 2008) enfatiza que la eficiencia energética es la manera más rentable de reducir el consumo energético manteniendo un nivel equivalente de actividad económica. Y que además aborda los aspectos energéticos claves del cambio climático, la seguridad de abastecimiento energético y la competitividad. El *Consejo Empresarial Mundial para el Desarrollo Sostenible* (WBCSD, 2010) considera que las medidas de reducción de la demanda de energía que se pueden hacer en los edificios son las más baratas, las más fáciles y las más escalables. Además, estas medidas reportan grandes beneficios, como reducción de costes económicos, disminución de la dependencia de suministros externos y mejoras medioambientales (Cuchí y col., 2007).

La eficiencia energética en el transporte y viviendas ha mejorado sólo un 9 % desde el año 1996 hasta el año 2006. Sin embargo se considera factible para el año 2020 un potencial del 30 % de ahorro de energía de una manera rentable en los edificios, reduciendo así un 11 % la energía final de la Unión Europea. En el *Plan 2011 sobre Eficiencia Energética* (EC, 2011) se destaca que los edificios constituyen el sector con más potencial de ahorro energético.

Dada la larga vida estimada de los edificios, el gran número de edificios existentes y la baja proporción de edificios nuevos, el mayor potencial para mejorar la eficiencia energética a corto y medio plazo está en el parque de edificios residenciales existentes (Balaras y col., 2007; IPCC, 2007a; Meijer, Itard y Sunikka-Blank, 2009). Sin embargo, las decisiones que se tomen hoy para los nuevos edificios determinarán la presión del sector residencial en recursos energéticos y en el cambio climático en el futuro (EC y JRC, 2008).

Respecto a las fases del ciclo de vida de los edificios residenciales, la fase de construcción es significativa, pero sólo es relevante para nuevos edificios. La demanda energética para la calefacción domina la fase de uso, tanto en edificios nuevos como existentes. Y la fase de fin de vida es la de menor importancia (Nemry y col., 2010).

La mayoría de autores coinciden en que los factores que influyen en el consumo energético y en las emisiones asociadas de los edificios residenciales son: la envolvente térmica, la eficiencia energética de los equipos y sistemas, las fuentes energéticas utilizadas y el comportamiento de los usuarios (Charlot-Valdieu, 2010; Cuchí y col., 2007; DGIEM, 2008; López, 2006; Salat, 2009). Otros factores que influyen en el consumo energético son la zona climática y la forma, el volumen y la orientación del edificio. Estos factores sólo son significativos en la etapa de diseño, en el caso que se pueda decidir sobre ellos. Y una vez construido el edificio, sólo la forma y el volumen pueden cambiarse.

$$CE = D * \eta * Ge \quad (1)$$

Tal como resume la ecuación 1 de López (2006), el consumo energético (CE) se puede expresar en función de tres factores: la demanda energética (D), el rendimiento medio de las instalaciones (η) y un factor de gestión (Ge). En el rendimiento medio ya se tiene en cuenta la fuente energética utilizada.

Gran parte de las medidas de mejora energética inciden directamente sobre estos tres factores. Sin embargo, existe otro grupo de medidas, las normativas, que inciden indirectamente sobre el consumo energético. Por ejemplo, propiciando mediante financiación la aplicación de medidas de mejora, que de otra manera no se harían.

En cambio, el *Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático* (IPCC, 2007a) agrupa las medidas en tres categorías: las que reducen el consumo de energía y la energía incorporada, las que cambian las fuentes de energía a otras con menos emisiones de CO₂ y las que controlan las emisiones de gases de efecto invernadero diferentes al CO₂. Esta clasificación añade otras dimensiones ambientales, ya que no sólo busca el aumento de la eficiencia energética, sino también reducir la energía incorporada y las emisiones de gases de efecto invernadero.

2.5.1 Barreras

Las medidas de eficiencia energética cuentan con diferentes tipos de barreras en su aplicación. Una posible clasificación se puede realizar en cinco categorías: la falta de información, el precio de la energía, la financiación, el proceso de implantación y las barreras técnicas.

La barrera más importante para una mayor eficiencia energética es la falta de información: sobre los costes y la disponibilidad de nuevas tecnologías, o sobre los costes del consumo propio de energía (EC, 2005). También hay falta de sensibilización sobre los beneficios de la eficiencia energética y falta de formación para profesionales, especialmente aquellos involucrados con la rehabilitación (EC, 2008, 2011). Por otra parte, la energía es imperceptible para el usuario y la información con la que cuenta tiene poco valor para la toma de decisiones (Fundación Entorno, 2009b,c).

En la segunda categoría de barreras se incluyen los hechos que la energía es muy barata, que tiene poco peso relativo de la factura energética, que está subvencionada (Fundación Entorno, 2009c; Heras, 2010; IPCC, 2007a) o que tiene precios engañosos debido a la exclusión de las externalidades o a la falta de transparencia (EC, 2005).

La tercera categoría está relacionada con la falta de incentivos adecuados y las limitaciones a la financiación (IPCC, 2007a). También son barreras los altos costes iniciales y la sobrestimación de los requerimientos de financiación (EC, 2008, 2011).

La cuarta categoría se refiere a la dispersión de las competencias y la gran cantidad de agentes intervinientes en el proceso. Un ejemplo es la falta de iniciativa de los promotores para implantar medidas de eficiencia energética (Fundación Entorno, 2009b; IPCC, 2007a). Las decisiones sobre inversiones

pueden también verse influidas por un problema de motivaciones contradictorias. Por ejemplo, cuando el presupuesto de inversiones de una empresa no se coordina con el presupuesto de gasto energético. O en el caso del dilema del propietario-arrendatario, donde existen diferentes motivaciones entre el propietario que instala la caldera y el arrendatario que paga las facturas de calefacción (EC, 2005, 2011; TFB, 2010).

Por último están las barreras técnicas, como la falta de estandarización de los equipos y componentes que utilizan energía, que pueden dificultar la entrada en el mercado de las nuevas tecnologías más eficientes (EC, 2005).

2.5.2 Medidas de mejora

Las medidas que mejoran la eficiencia energética están clasificadas, según su relación, en cuatro categorías: el factor demanda, el factor rendimiento, el factor gestión y la normativa.

En la tabla 2.19 se muestran las medidas que actúan sobre los elementos pasivos como son la envolvente térmica, la protección solar, los materiales, la iluminación natural y la ventilación natural.

En la tabla 2.20 se muestran las medidas que actúan sobre los elementos activos como los equipos y las fuentes de energía utilizadas.

En la tabla 2.21 se muestran las medidas que actúan sobre el comportamiento de los usuarios, el uso y gestión de las instalaciones y el mantenimiento de éstas.

Finalmente en la tabla 2.22 se incluyen las medidas que son posibles a través de la regulación del sector edificatorio.

Envolvente térmica

Todos los investigadores coinciden que es necesario realizar una mejora de la envolvente térmica para mejorar la eficiencia energética del edificio (APU, 2007; Balaras y col., 2007; Cuchí y col., 2007; Directive 2006/32/EC, 2006; EC y JRC, 2008; ETRES, 2009; IDAE, 2008; Knotzer, 2010; Nemry y col., 2010; Viladomiu, 2008).

Las mejoras en la envolvente térmica incluyen el aumento del aislamiento de la fachada y de la cubierta, el cambio de aberturas por otras más eficientes y la reducción de la infiltración de aire mejorando la estanqueidad.

El aislamiento de la fachada y el cambio de aberturas (carpintería y vidrios) se recomienda para todo tipo de edificios, mientras que el aislamiento de la cubierta sólo se recomienda para casas unifamiliares, ya que la aportación de la mejora en términos relativos a un edificio plurifamiliar es baja. La estanqueidad también se recomienda para todo tipo de edificios, y a pesar que el potencial es pequeño, el coste también lo es.

Tabla 2.19: Medidas de mejora relacionadas con el factor demanda

Categoría	Medida
Envolvente térmica	Aumento del aislamiento de la fachada
	Aumento del aislamiento de la cubierta
	Cambio de aberturas (carpinterías y vidrios)
	Reducción de la infiltración de aire
Protección solar	Lamas, cornisas, viseras, retranqueo
	Pintar fachadas y cubiertas
Iluminación natural	Iluminación natural
Ventilación natural	Ventilación natural
Materiales	Materiales

Tabla 2.20: Medidas de mejora relacionadas con el factor rendimiento

Categoría	Medida
Equipos	Equipos eficientes
	Sistemas de recuperación de calor
	Cambio a otras tecnologías
	Centralización de equipos
Fuentes de energía	Cambio a gas natural
	Cambio a energía renovable

Tabla 2.21: Medidas de mejora relacionadas con el factor gestión

Categoría	Medida
Gestión	Gestión
Mantenimiento	Mantenimiento
Usuario	Comportamiento del usuario

Tabla 2.22: Medidas de mejora relacionadas con las normativas

Categoría	Medida
Normativas	Marco regulatorio coordinado y estable
	Requisitos más restrictivos
	Incentivación y seguimiento de la implantación de requisitos
	Nuevos modelos de financiación
	Incentivos fiscales y subvenciones
	Definición de condiciones contractuales
	Mejores prácticas
	Auditorías energéticas

Por último, IPCC (2007a) recomienda aumentar en climas secos la masa térmica de los componentes de los edificios para minimizar picos interiores de temperatura.

Protección solar

Un grupo de medidas de protección solar consisten en sistemas que impiden el paso de la luz solar directa por las aberturas en verano, pero la permiten en invierno, como lamas, cornisas, viseras y retranqueo. Otra medida de protección solar consiste en pintar las fachadas y cubiertas con un color claro que refleje la luz solar e impida la absorción de calor (Cuchí y col., 2007; Knotzer, 2010).

Iluminación y ventilación natural

La iluminación y ventilación natural son medidas pasivas, normalmente concebidas en la etapa de diseño del edificio. Las cubiertas ventiladas son muy útiles para proteger el edificio del calor. Y la ventilación natural cruzada sirve como refrigeración pasiva (Cuchí y col., 2007; Directive 2006/32/EC, 2006; Knotzer, 2010).

Materiales

un cambio en la composición de los materiales puede suponer una mejora para los nuevos edificios. Los resultados muestran que el cambio de materiales convencionales por productos hechos de madera tiene mejoras medioambientales significantes (EC y JRC, 2008).

IPCC (2007a) recomienda utilizar materiales de construcción de alta reflectividad.

Equipos

Actuando sobre los equipos de climatización se puede mejorar el rendimiento medio de los elementos activos. Se puede realizar utilizando equipos o sistemas más eficientes o cambiando de tecnología.

Una solución se logra utilizando equipos eficientes de calefacción, ACS y aire acondicionado, combinándolo además con nuevas tecnologías como sistemas de recuperación de calor (APU, 2007; Cuchí y col., 2007; Directive 2006/32/EC, 2006; Knotzer, 2010).

Otra solución es el cambio de tecnología, como por ejemplo a bomba de calor (IPCC, 2007a; Sartori, Wachenfeldt y Hestnes, 2009), enfriador de evaporación directa, intercambiador aire-aire (IPCC, 2007a), calefacción/refrigeración de distrito (Directive 2006/32/EC, 2006) o incluso centralizando los equipos de un edificio plurifamiliar (Viladomiu, 2008).

Fuentes de energía

Hay concordancia a la hora de calificar el uso de la electricidad para calentar agua caliente y calefacción como muy ineficiente (Cuchí y col., 2007; ETRES, 2009). También hay concordancia en recomendar el gas natural como la opción energética no renovable que menos emisiones tiene para cubrir la demanda (APU, 2007; Viladomiu, 2008).

Otra opción de mejora de la eficiencia energética es reemplazar energías fósiles por energías renovables como la energía solar, la energía geotérmica o la biomasa (APU, 2007; Directive 2006/32/EC, 2006; Knotzer, 2010). Por supuesto, dentro de éstas, la energía solar térmica es altamente recomendada (Balaras y col., 2007; Cuchí y col., 2007; ETRES, 2009; IPCC, 2007a; Knotzer, 2010; Viladomiu, 2008).

Gestión

Otras opciones para mejorar el rendimiento de los sistemas activos es invertir en una solución en la que se regulen los equipos inteligentemente, como por ejemplo mediante la gestión domótica de la calefacción y la ventilación (Cuchí y col., 2007; Knotzer, 2010).

Mantenimiento

Otro aspecto en el que algunos autores inciden es en el mantenimiento regular de calderas, equipos de calefacción y ACS, aire acondicionado e iluminación (Balaras y col., 2007; Cuchí y col., 2007).

Comportamiento del usuario

La información y la comunicación reducen indirectamente el consumo final de energía, al estar los usuarios concienciados sobre los equipos, los servicios y el mantenimiento (APU, 2007; Knotzer, 2010).

Normativa

En cuanto a mejoras que pueden producirse mediante la regulación del sector de la edificación, se basan en conseguir un marco regulatorio coordinado y estable (Fundación Entorno, 2009c) y en unos requisitos de eficiencia energética más restrictivos y reconocidos internacionalmente en los códigos de edificación. Así como incentivación y seguimiento de su implementación (WBCSD, 2010).

Por otra parte, nuevos modelos de financiación, nuevos incentivos fiscales o subvenciones para inversiones en eficiencia energética con periodos de retorno más largos (Fundación Entorno, 2009c; WBCSD, 2010) permitirían hacer realidad más proyectos de mejora de la eficiencia energética. Jenkins

(2010) indica que el gobierno del Reino Unido ha propuesto ofrecer préstamos como 'pague lo que ahorre' para permitir a los propietarios de viviendas, en lugar de los inquilinos, pagar los costes a través de los ahorros realizados en la tecnología instalada.

Debido a la dispersión de las competencias y la gran cantidad de agentes que intervienen en el proceso, es deseable definir condiciones contractuales y de negocio que impliquen desde el comienzo a arquitectos, proyectistas, contratistas, proveedores de servicios y usuarios finales, como parte de un equipo integrado (EC, 2005; WBCSD, 2010). Crear definiciones y procesos estándar y modelos de contrato reducirá la confusión y variaciones de la calidad en los servicios de contratos de eficiencia energética (Mayer, 2010; Mayer y col., 2010).

También es necesario aprovechar las mejores prácticas de la cadena de valor (Fundación Entorno, 2009c). Y por último, se hace especial énfasis en realizar auditorías energéticas e inspecciones regulares del comportamiento energético de los edificios (Fundación Entorno, 2009c; WBCSD, 2010).

2.5.3 Potencial de ahorro

En la tabla 2.23 se resume el potencial de ahorro de la demanda energética de climatización o de refrigeración expresado en el porcentaje de ahorro. Realizar una combinación de medidas no conlleva que el potencial resultante sea la suma de los potenciales individuales.

El potencial de ahorro de energía de que disponen los edificios es muy elevado. Solé Bonet y CAATT (2003) estima que este ahorro puede superar el 50 % en muchos casos. Knotzer (2010) expone que el potencial medio de ahorro del parque de edificios residenciales en España es del 60 %. IPCC (2007a) indica que hay un potencial global para reducir las emisiones un 29 % de manera rentable para los sectores residencial y comercial, teniendo éstos el potencial de ahorro más alto entre todos los sectores.

El ahorro en la demanda energética de climatización por el aumento de aislamiento de la fachada se estima hasta un 15 % (Cuchí y col., 2007), entre un 5 % y un 16 % (Viladomiu, 2008) y entre 4 % y 49 % (Rodríguez, 2010). El ahorro por el aumento de aislamiento de la cubierta se estima hasta un 4 % (Cuchí y col., 2007), entre un 4 % y un 14 % (Viladomiu, 2008) y hasta el 12 % (Rodríguez, 2010).

El ahorro estimado por la mejora de los huecos arquitectónicos, en concreto por el cambio de carpintería y vidrios, oscila entre el 3 % y el 10 % de la demanda energética de calefacción (Viladomiu, 2008), entre 8 % y 13 % (Rodríguez, 2010), entre el 14 % y el 20 % (Balaras y col., 2007) y entre el 18 % y el 25 % (Luxán y col., 2010a). Cuchí y col. (2007) divide el ahorro hasta el 2 % para la carpintería (marcos) y hasta el 7,5 % para los vidrios.

El aumento del aislamiento de la fachada y la cubierta puede representar un ahorro de hasta un 18 % de la demanda energética de climatización (Luxán y col., 2010b). Un cambio de aislamiento y huecos puede llegar a un ahorro

Tabla 2.23: Potencial de ahorro de las medidas en la demanda energética de climatización

Medida	Potencial	Autor
Aislamiento fachada	< 15 %	Cuchí y col. (2007)
	5 % – 16 %	Viladomiu (2008)
	4 % – 49 %	Rodríguez (2010)
Aislamiento cubierta	< 4 %	Cuchí y col. (2007)
	< 12 %	Rodríguez (2010)
	4 % – 14 %	Viladomiu (2008)
Aislamiento fachada y cubierta	< 18 %	Luxán y col. (2010a)
Huecos	< 9 %	Cuchí y col. (2007)
	3 % – 10 %	Viladomiu (2008)
	8 % – 13 %	Rodríguez (2010)
	14 % – 20 %	Balaras y col. (2007)
	18 % – 25 %	Luxán y col. (2010a)
Aislamiento + Huecos	14 % – 29 %	Garrido-Soriano y col. (2012)
	37 % – 41 %	Fundación Entorno (2009b)
Estanqueidad	16 % – 21 %	Balaras y col. (2007)
	12 % – 44 %	Rodríguez (2010)
Protección solar *	< 10 %	Cuchí y col. (2007)
Ventilación natural *	< 60 %	Cuchí y col. (2007)
Energía solar térmica	15 % – 30 %	Viladomiu (2008)
Cambio a gas natural	5 % – 10 %	Viladomiu (2008)
Equipos eficientes	< 25 %	Cuchí y col. (2007)
Regulación calefacción	< 20 %	Cuchí y col. (2007)
Mantenimiento	10 % – 12 %	Balaras y col. (2007)
Combinación	72 % – 78 %	Fundación Entorno (2009b)
Hábitos de consumo	9 %	Guerra (2008)

* Demanda energética de refrigeración

conjunto de entre el 14 % y el 29 % (Garrido-Soriano y col., 2012), y entre el 37 y el 41 % (Fundación Entorno, 2009a).

La estanqueidad es poco tenida en cuenta por la mayoría de autores del sur de Europa, y sin embargo, es estimado un ahorro de entre el 16 % y el 21 % (Balaras y col., 2007) y entre el 12 % y el 44 % (Rodríguez, 2010).

Respecto a la demanda energética de refrigeración, otras medidas pasivas pueden aportar un ahorro de hasta un 10 % para el caso de la protección solar y hasta un 60 % en el caso de la ventilación natural (Cuchí y col., 2007).

En relación con la fuente de energía, el uso de energía solar térmica para ACS puede suponer un ahorro de entre el 15 % y el 30 % y el cambio a gas natural entre un 5 % y un 10 % (Viladomiu, 2008). La mejora de la eficiencia energética en los equipos de calor puede conllevar un ahorro del 25 %. El uso de regulación en la calefacción puede ahorrar un 20 % (Cuchí y col.,

2007). Y finalmente, el mantenimiento de las calderas puede suponer un ahorro de entre el 10 % y el 12 % (Balaras y col., 2007).

Combinando una mejora del aislamiento y huecos, con el uso de energía solar térmica y bomba de calor puede llegar a suponer un ahorro de entre el 72 % y el 78 % (Fundación Entorno, 2009a).

El potencial de ahorro energético de los hogares españoles, mediante el cambio de los hábitos de consumo, es de 9,28 % (Guerra, 2008).

2.6 ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA (ACV)

En esta sección se exponen los usos de la vida útil y de la unidad funcional encontrados en la literatura. Seguidamente se presentan las categorías de impacto, los métodos de evaluación de impactos ambientales, las bases de datos y las herramientas de ACV existentes.

La normativa ISO/TS 21931-1:2006 (2006) subraya la importancia de las aproximaciones al ciclo de vida dentro de los métodos de evaluación del comportamiento medioambiental de edificios. Los impactos ambientales no dependen solo de los materiales, sino también de la forma en la que son colocados, de los requisitos de mantenimiento, de la vida útil y de la distancia de transporte. Es por esto que la selección de materiales o de sistemas de construcción requieren el rigor del ACV (López-Mesa y col., 2009).

El uso previsto de las herramientas de ACV es evaluar el comportamiento medioambiental de los edificios a lo largo de su ciclo de vida. El objetivo de una evaluación medioambiental es evaluar cómo un edificio contribuye a un desarrollo sostenible en una dimensión ambiental. Por otra parte, se ha de tener en cuenta que el ACV es un método que solo tiene en cuenta las cuestiones medioambientales, por lo que, para aspectos como la comodidad o la salud, el ACV no es apropiado (IEA Annex 31, 2001a). El ACV debe ser combinado con aspectos económicos y sociales para ser útil como una herramienta para el consumo sostenible (Hertwich, 2005).

La comparación de los resultados de estudios de ACV o Inventario de Ciclo de Vida (ICV) diferentes, es posible solo si las suposiciones y el contexto de cada estudio son equivalentes (ISO 14040:2006, 2006). Más concretamente las normativas ISO 14044:2006 (2006) y UNE-EN 15643-1:2010 (2010) expresan que para que dos edificios puedan compararse, han de utilizar la misma unidad funcional y otros aspectos como los límites del sistema, los métodos de evaluación de impactos ambientales y la evaluación del impacto.

2.6.1 Vida útil

Debido a la larga vida que tienen la mayoría de edificios, más de la mitad de los que hoy existen seguirán en pie en el año 2050 (IEA, 2010a).

La vida útil estimada es la vida útil esperable de un edificio para unas condiciones de uso específicas (UNE-EN 15643-1:2010). En la normativa española sobre el cálculo y seguridad en estructuras de hormigón, *Instrucción de hormigón estructural (EHE-08)*, se define la vida útil nominal en 50 años para edificios de viviendas u oficinas y estructuras de ingeniería civil (excepto obras marítimas) de repercusión económica baja o media.

Zabalza, Aranda y Scarpellini (2009), Ruiz y Romero (2011) y Ortiz, Castells y Sonnemann (2010) definen la vida útil estimada en 50 años. Blengini y Di Carlo (2010) la definen en 70 años, teniendo en cuenta que estudian la etapa de fin de vida, y por tanto, un valor alto minimiza los impactos relativos de esta etapa respecto al total. Gustavsson, Joelsson y Sathre (2010) estudian la influencia de la vida útil en los resultados, utilizando dos valores: 50 y 100

años. Srinivasan y col. (2012) también la definen en 100 años. Szalay (2007) expone que se puede utilizar el valor de la amortización oficial de un edificio, fijado en 50 años, o por otra parte, se puede utilizar la vida útil física de un edificio que, según la literatura, está entre 80 y 100 años. Brunklaus, Thormark y Baumann (2010) inciden en que al aumentar la vida útil estimada también aumentará la necesidad de mantenimiento.

En cambio, Verbeeck y Hens (2010) adoptan una escala temporal de una generación (30 años) al considerar que la vida útil de una vivienda excede el lapso de una generación y por la incertidumbre de las modificaciones y el destino del edificio que tendrá después.

En el informe sobre el *Potencial de mejora medioambiental de los edificios residenciales* (EC y JRC, 2008) se presenta una visión sistemática de los impactos ambientales del ciclo de vida de los edificios residenciales en la UE-25 y en el caso de edificios existentes se limita a un máximo de 40 años la vida útil residual, que es el remanente de vida útil. Para edificios de nueva construcción el límite superior de 40 años también se aplica, a fin de tener en cuenta las incertidumbres inherentes a largo plazo. Y porque proporciona un marco razonable en la definición que las medidas políticas pueden cubrir, que por lo general no tienen en cuenta los objetivos a largo plazo más allá del año 2050.

La nueva directiva relativa a la eficiencia energética de los edificios (Directiva 2010/31/EU) insta a los Estados Miembros de la Unión Europea a determinar el ciclo de vida útil estimada de un edificio según la práctica y la experiencia actuales en la definición de ciclos de vida útil típicos. Por el momento, ningún Estado Miembro ha definido ningún valor.

2.6.2 Unidad funcional

La finalidad de la unidad funcional es proporcionar una referencia donde se relacionan las entradas y salidas (ISO 14044:2006, 2006). La unidad funcional de un edificio puede incluir la información sobre los siguientes aspectos: tipo y uso del edificio, ocupación, superficie construida y volumen, vida útil prevista y adaptabilidad (ISO/TS 21931-1:2006, 2006; UNE-EN 15643-1:2010, 2010).

La mayoría de autores utilizan la unidad funcional como un metro cuadrado durante el período de un año (Blengini, 2009; Blengini y Di Carlo, 2010; EC y JRC, 2008; Nemry y col., 2010) y un metro cuadrado para un período de 50 años (Ortiz, Castells y Sonnemann, 2010; Ortiz y col., 2010). Sin embargo, Brunklaus, Thormark y Baumann (2010) utilizan la unidad funcional de 1 m²/año pero especificando que se hace sobre un período de operación de 50 años. Ortiz y col. (2009) en cambio utiliza la unidad funcional de 1 m² para una vida estimada del edificio de 50 años para una vivienda en la que viven cuatro personas.

Otro empleo más genérico de la unidad funcional la utilizan Verbeeck y Hens (2010) donde la definen como una vivienda con un ambiente confortable en invierno y en verano para una familia de una a cuatro personas. En el otro extremo, Monahan y Powell (2011) definen la unidad funcional como una

Tabla 2.24: Categorías de impacto analizadas en la literatura

Autor	CO ₂	EF	EP
Anastaselos, Oxizidis y Papadopoulos (2011)	✓	✓	
Baboulet y Lenzen (2010)	✓	✓	
Blengini y Di Carlo (2010)	✓	✓	✓
Gracia y col. (2010)	✓	✓	✓
Gustavsson y Joelsson (2010)	✓		✓
Gustavsson, Joelsson y Sathre (2010)	✓		✓
Hernandez y Kenny (2010)			✓
Kneifel (2010)	✓	✓	
Li, Zhu y Zhang (2010)	✓	✓	✓
Malmqvist y col. (2011)	✓	✓	✓
Monahan y Powell (2011)	✓		✓
Nemry y col. (2010)	✓	✓	✓
Ortiz y col. (2010)	✓	✓	✓
Ortiz, Castells y Sonnemann (2010)	✓	✓	✓
Rosselló-Batle y col. (2010)	✓	✓	

EF: energía final. EP: energía primaria

combinación de aspectos, donde precisa el tipo de casa, el número de habitaciones, la superficie y el volumen.

Normalmente se utiliza la superficie útil, pero hay autores que utilizan superficie calefactada (Blengini y Di Carlo, 2010) o incluso superficie total (Monahan y Powell, 2011), y a veces incluso no queda definida cuál (Uygunoglu y Keçebas, 2011).

Cuando el análisis es económico, se puede utilizar otro tipo de unidad funcional que tenga en cuenta la superficie de pared, como hacen Uygunoglu y Keçebas (2011), que utilizan unidad funcional de un metro cuadrado de pared para un período de 50 años.

Aunque la mayoría de autores consideran el edificio como un producto, Erlandsson y Borg (2003) consideran el edificio como un servicio. Proponen considerar todas las etapas como un proceso continuo, en contraposición a un análisis del ciclo de vida secuencial.

2.6.3 Categorías de impacto

En la tabla 2.24 se puede comprobar que en el sector de la edificación es una conducta común considerar únicamente como categorías de impacto el calentamiento global, determinado por la cantidad de CO₂-eq, y el uso de energía primaria o final, determinado por los kWh de energía primaria o final consumidos. Muchos de estos estudios tienen en cuenta las categorías de impacto requeridas por la normativa (ISO/TS 21931-1:2006, 2006), tanto las obligatorias como las opcionales. Según Hertwich (2011), en términos de impacto ambiental los primeros estudios consideraban únicamente la

energía como un indicador. Recientemente también se consideran el CO₂ y otros GEI. Y algunos estudios además tienen un conjunto más amplio de impactos ambientales basados en ACV.

La elección de los indicadores apropiados y las metodologías para analizar los resultados de un inventario es siempre subjetiva (Blengini y Di Carlo, 2010).

Tabla 2.25: Resumen de las categorías de impacto

Categoría de impacto	Indicador de categoría	Modelo de caracterización	Factor de caracterización	Unidad
Cambio climático	Forzamiento radiativo	IPCC	GWP	CO ₂ -eq
Disminución de la capa de ozono	Degradación del ozono estratosférico	WMO	ODP	CFC-11-eq
Acidificación	Carga crítica de acidez	RAINS	AP	SO ₂ -eq
Eutrofización	Enriquecimiento de nutrientes	CARMEN	EP	PO ₄ ³⁻ -eq
Oxidación fotoquímica (<i>smog</i>)	Formación de ozono troposférico	UNECE Trajectory	POCP	C ₂ H ₄ -eq
Toxicidad humana	PDI/ADI	EUSES o CalTOX	HTP	C ₆ H ₄ Cl ₂ -eq
Eco-toxicidad	PEC/PNEC	EUSES o CalTOX	AETP y TETP	C ₆ H ₄ Cl ₂ -eq
Disminución de recursos abióticos	Reserva final/uso anual	Guinée & Heijungs 95	ADP	Sb-eq

La siguiente lista de categorías de impacto ha sido creada a partir de las categorías de impacto más comunes encontradas en la literatura (EC, JRC y IES, 2010a,b; Guinée y col., 2004; USEPA, 2006). La descripción proporciona una introducción en términos generales, ya que la definición precisa depende del modelo de caracterización. Para cada categoría de impacto pueden existir varios modelos de caracterización, cada uno con sus diferencias y particularidades. En la tabla 2.25 se muestra un resumen de las categorías de impacto más importantes, con el indicador de categoría, el modelo de caracterización, el factor de caracterización y la unidad utilizada.

Cambio climático

Cuando la radiación solar entra en contacto con la superficie de la tierra, una parte es absorbida y otra parte es reflejada como radiación infrarroja. Esta radiación es a su vez absorbida en parte por los gases de efecto invernadero en la troposfera e irradiada en todas direcciones, devolviendo una fracción a la tierra y resultando en un calentamiento de la superficie de la tierra. Además del mecanismo natural, el efecto invernadero se ve incrementado por las actividades humanas (efecto antropogénico).

Los gases de efecto invernadero pueden tener un gran variedad de impactos: aumento de la temperatura media terrestre, cambios en las precipitaciones,

aumento del nivel del mar, cambio en las corrientes oceánicas, tormentas y huracanes, entre otros. El CO_2 , el CH_4 y los cloro-fluoro-carbonos (CFC) son ejemplos de gases de efecto invernadero.

El indicador de categoría es el forzamiento radiativo expresado en $[\text{W}/\text{m}^2]$. El modelo de caracterización es el propuesto por el IPCC. Se utiliza el factor de caracterización potencial de calentamiento global (GWP) sobre un periodo de cien años, para definir el potencial de calentamiento global y se calcula en dióxido de carbono equivalente ($\text{CO}_2\text{-eq}$) al que se asigna por convenio un valor de 1.

Disminución de la capa de ozono

Existen varios compuestos químicos caracterizados por tener una alta estabilidad química y contener flúor, cloro o bromo, que al ser expulsados en el aire, reducen la concentración de ozono estratosférico. Esto produce un incremento de la radiación solar, en particular en la zona ultravioleta de onda media (B) (UV-B). Este incremento a lo largo de periodos largos tiene una influencia negativa en la salud humana.

El indicador de categoría es la degradación del ozono estratosférico. El modelo de caracterización es el propuesto por la organización meteorológica mundial (WMO). Se utiliza el factor de caracterización de potencial de disminución de ozono (ODP), donde se compara la cantidad de ozono destruido por una determinada sustancia química con la cantidad de ozono destruido por 1 kg de CFC-11.

Acidificación (acuática y terrestre)

A través de la oxidación y reacciones fotoquímicas, sustancias contaminantes presentes en la atmósfera, como el dióxido de azufre (SO_2) y nitrógeno (N_2) son transformadas en sustancias acidificantes como ácido sulfúrico (H_2SO_4) y ácido nítrico (HNO_3). Estos ácidos pueden ser depositados como polvo o disueltos en una precipitación. Estas deposiciones pueden causar efectos no deseados en ecosistemas acuáticos y terrestres, en infraestructuras hechas por el hombre, e incluso en la salud humana.

El impacto medioambiental se expresa en términos de superación de las cargas críticas. El indicador de categoría es la carga crítica de acidez, que es el umbral de deposición de nitrógeno y azufre sin consecuencias sobre las precipitaciones ácidas. El modelo de caracterización es el denominado información y simulación de la acidificación regional (RAINS). El factor de caracterización llamado potencial de acidificación (AP) se da en equivalentes de dióxido de azufre ($\text{SO}_2\text{-eq}$). Este potencial se describe como la capacidad de determinadas sustancias para la generación y liberación de iones H^+ .

Eutrofización (acuática y terrestre)

Sustancias como el nitrógeno y los fosfatos son nutrientes esenciales para la vida, pero en exceso pueden provocar eutrofización. El incremento de estos

nutrientes en zonas acuáticas contribuye a un crecimiento acelerado de algas, produciendo un entorno con concentraciones bajas de oxígeno en agua y con una disminución de la luz solar. Esto conduce a una disminución de la fotosíntesis, una menor producción de oxígeno y eventualmente a la muerte de peces. Además, el oxígeno es necesario para la descomposición de algas muertas. Un exceso de nitrógeno en el suelo puede alterar el balance de nutrientes en las plantas, provocando un aumento de la susceptibilidad de las plantas a enfermedades y plagas.

El impacto medioambiental se expresa en términos de superación de las cargas críticas. La carga crítica de nitrógeno nutriente es la deposición máxima de nitrógeno que no causa eutrofización de los ecosistemas. El indicador de categoría es el enriquecimiento de nutrientes. El modelo de caracterización es el denominado modelo de relación causa/efecto para el apoyo a las negociaciones medioambientales (CARMEN). El factor de caracterización llamado potencial de eutrofización (EP) se calcula en fosfato equivalente (PO_4^{3-} -eq).

Oxidación fotoquímica (smog)

La oxidación fotoquímica se produce por la reacción de sustancias presentes en la atmósfera, especialmente óxidos de nitrógeno e hidrocarburos, con la radiación solar. Un tipo de *smog* está formado por ozono, que a pesar de jugar un papel protector en la estratosfera, a nivel del suelo en altas concentraciones es tóxico para los humanos y provoca dificultades respiratorias.

El indicador de categoría es la formación de ozono troposférico. El modelo de caracterización de Comisión Económica para Europa de Naciones Unidas (UNECE) denominado *UNECE Trajectory*. Se utiliza como factor de caracterización el potencial de creación de ozono fotoquímico (POCP) y se mide como etileno equivalente (C_2H_4 -eq).

Toxicidad humana (carcinogénicos + no carcinogénicos)

Cubre los impactos sobre la salud humana de sustancias tóxicas presentes en el entorno. El indicador de categoría es la ingestión diaria predicha y admisible (PDI/ADI). Existen varios modelos de caracterización como el sistema de la Unión Europea para la evaluación de sustancias (EUSES) o CalTOX. Se utiliza el factor de caracterización del potencial de toxicidad humana (HTP), y se calcula en base a kilogramos de 1,4-diclorobenceno equivalente ($\text{C}_6\text{H}_4\text{Cl}_2$ -eq). Algunos métodos hacen diferencia entre carcinogénicos y no carcinogénicos.

Eco-toxicidad (acuática y terrestre)

Esta categoría de impacto es muy similar a la toxicidad humana, con la diferencia que cubre los impactos de sustancia tóxicas en ecosistemas acuáticos y terrestres. El indicador de categoría es la concentración ambiental predicha y la concentración sin efecto predicha (PEC/PNEC). Los modelos

de caracterización son los mismos que en la toxicidad humana: EUSES y CalTOX.

Se utiliza el factor de caracterización del potencial de ecotoxicidad acuática y terrestre (AETP) y potencial de ecotoxicidad terrestre (TETP), y se calcula en base a kilogramos de 1,4-diclorobenceno equivalente ($C_6H_4Cl_2$ -eq). También se hace diferencia si es agua dulce o marina.

Disminución de recursos abióticos

Los recursos abióticos son recursos naturales como minerales y combustibles fósiles que se caracterizan por no estar vivos. El indicador de categoría es reserva final/uso anual. El modelo de caracterización es el propuesto por Guinée & Heijungs 95. El factor de caracterización es el potencial de disminución de recursos abióticos (ADP) y se expresa como kilogramos de antimonio equivalente (Sb-eq).

Disminución de recursos bióticos

Los recursos bióticos son recursos naturales como bosques y animales, que se caracterizan por estar vivos.

Consumo de recursos (energías) no renovables

El consumo de energía primaria no renovable caracteriza esencialmente las siguientes fuentes de energía: gas natural, petróleo, carbón y uranio. El gas natural y el petróleo se utilizan tanto para la producción de energía como materiales, por ejemplo, los plásticos. El carbón se usa principalmente para la producción de energía. El uranio solo es utilizado para la producción de electricidad en centrales nucleares.

Uso del suelo

En esta categoría se cubre un rango de consecuencias del uso del suelo por acción del hombre. Entran dentro de esta categoría la ocupación del suelo, la pérdida de biodiversidad y la pérdida de la función de soporte de vida.

Radiación ionizante

Cubre tanto los impactos provenientes de la liberación de sustancias radioactivas, como de la exposición directa a la radiación, por ejemplo en materiales de la construcción. La exposición a la radiación ionizante es perjudicial para el hombre y el entorno natural, por ello las áreas de protección son la salud humana, el entorno natural y los recursos naturales. La radiación ionizante se expresa en términos del número de átomos que se desintegran por unidad de tiempo, cuya unidad en el sistema internacional es el becquerel (Bq).

Otros

Existen muchas más categorías de impacto: accidentes, ruido, olores, uso de agua, disminución de recursos, extracción de minerales, uso de recursos naturales, residuos sólidos, residuos radioactivos, desecación, radiación, metales pesados, pesticidas, efectos de respiración de sustancias inorgánicas y orgánicas...

2.6.4 Métodos de evaluación de impacto

Para que la aplicación de un método sea factible, se ha de comprobar que disponga del análisis de impactos deseados, la validez regional y la validez temporal. Muchos de los métodos solo son válidos en una región o país, como por ejemplo, *Ecological Scarcity* para Suiza, LIME para Japón, LUCAS para Canadá y TRACI para Estados Unidos. Varios métodos no están conformes a la Organización Internacional de Normalización (ISO), como por ejemplo *Swiss Critical Volume approach* y *Eco-scarcity*.

La mayoría de métodos incluyen los aspectos medioambientales de cambio climático y destrucción de la capa de ozono que demanda la normativa (ISO/TS 21931-1:2006, 2006). Sin embargo, para los aspectos medioambientales demandados solo si tienen relevancia (destrucción de recursos no renovables, formación de agentes contaminantes, formación de oxidantes fotoquímicos, acidificación de la tierra y las fuentes de agua, y eutrofización), el número de métodos que los incluyen todos es menor. Entre ellos se encuentran CML 2002, IMPACT 2002+, LIME, LUCAS, ReCiPe y TRACI.

La siguiente lista de métodos de evaluación de impacto, ha sido creada a partir de los métodos de impacto más comunes encontrados en la literatura (DLMC, 2006; EC, JRC y IES, 2010a; E&MSD, 2005; Frischknecht y col., 2007b). En el caso de existir varias versiones solo se ha tenido en cuenta la más actual.

CML 2002

Ha sido desarrollado con el objetivo de proporcionar la mejor práctica para indicadores de punto intermedio y está hecha para trabajar con la serie de estándares *ISO 14040*. Se incluye métodos para la normalización pero no para la ponderación. Aunque las relaciones entre los puntos intermedios y los de daño se han debatido, no se han modelado ni cuantificado (Guinee y col., 2004). Este método es una nueva versión del antiguo método *CML 1992*.

Eco-Indicator 99

Este método está orientado para indicadores de daño, ya que los indicadores de categoría de impacto están definidos a tres categorías de daño: recursos, calidad del ecosistema y salud humana. Ha sido desarrollado con el objetivo

de simplificar la interpretación y la ponderación de los resultados. Su principal característica es la del cálculo de un único indicador de puntuación global. Proviene de los métodos *EPS* y *Eco-indicator 95*, y a su vez ha sido el punto de partida del desarrollo de otros métodos como *LIME* y *Impact 2002+*.

Ecological Footprint

El análisis de huella ecológica proporciona un indicador de la demanda de la humanidad sobre los ecosistemas de la Tierra y los recursos naturales. Refleja la cantidad de tierra biológicamente productiva y el área de agua que teóricamente se necesitan para producir los recursos que se consumen y absorber parte de los residuos generados utilizando la tecnología y gestión de los recursos vigente. En la práctica, solo se incluye un número limitado de aspectos ambientales. El método no incluye, y no se puede dividir, en categorías de impacto, es más, de hacerlo el concepto del método se perdería.

Ecological Scarcity (UBP97)

El método de la escasez ecológica permite una ponderación y agregación comparativa de varios eco-factores. Estos están basados en flujos reales anuales y en el flujo anual considerado como crítico para una determinada región. Este método también es conocido como *Swiss Eco-points* o *Swiss Ecoscarcity*. La validez regional es Suiza, ya que el método se ha desarrollado para este país, aunque posteriormente se han creado conjuntos de eco-factores para otras regiones, como Bélgica y Japón.

EDIP 2003

El objetivo del método de diseño ambiental de productos industriales (EDIP) es proveer factores de caracterización diferenciados espacialmente (específicos del lugar) para las categorías de impacto no globales. Se incluye factores para la normalización pero no para la ponderación. Este método es una nueva versión del antiguo método *EDIP 97*.

EPS 2000

El método de estrategias de las prioridades medioambientales (EPS) fue creado en 1990 y la versión actual es la del 2000. El método tiene una estructura de punto intermedio-punto final. Fue el primer modelo en incorporar el punto final, en incluir análisis monetario y de incertidumbre mediante el análisis de Monte Carlo. Produce indicadores expresados en unidades monetarias y puede ajustarse para calcular una puntuación única. La filosofía es la disposición a pagar (WTP) para restituir el daño ambiental.

Impact 2002+

Este método propone una aplicación viable de una aproximación combinada de punto intermedio/daño, enlazando todos los resultados del inventario de ciclo de vida a través de 14 categorías de impacto de puntos intermedio y cuatro categorías de impacto de daño. La normalización puede ser realizada a nivel de punto intermedio o de daño. Proporciona factores de caracterización para casi 1500 resultados de ICV.

LIME

Este método ha sido desarrollado en Japón, donde es ampliamente utilizado. La documentación está mayoritariamente en japonés y la validez regional es exclusiva para Japón excepto para impactos globales, como el cambio climático y la disminución de la capa de ozono.

LUCAS

Este método ha sido desarrollado en el 2005 para adaptarse al contexto canadiense. Está basado en métodos como TRACI e IMPACT 2002+, y modificado para evaluar mejor los inventarios de ciclo de vida canadiense. La validez regional es exclusiva para Canadá excepto para impactos globales, como el cambio climático y la disminución de la capa de ozono.

MEEuP

Es un método de punto intermedio que permite evaluar si productos que utilizan energía cumplen con ciertos criterios, y en qué medida, que los hace factibles para implementar medidas de la Directiva 2005/32/EC por la que se insta un *marco para el establecimiento de requisitos de diseño ecológico aplicables a los productos que utilizan energía*. La validez regional es exclusiva para Europa.

ReCiPe

Este método combina las metodologías de punto intermedio y punto final de una manera consecuente. Los factores de caracterización se calculan sobre la base de una cadena causa-efecto ambiental consecuente, excepto para el uso del suelo y recursos. La validez regional es exclusiva para Europa excepto para impactos globales, como el cambio climático y la disminución de la capa de ozono. Proviene de los métodos *Eco-indicator 99* y *CML 2002*

Swiss Critical Volume approach

El volumen crítico para una sustancia es función de su carga y su límite legal. La carga es la cantidad total del flujo por unidad de producto. Los límites legales solo están disponibles para algunos productos químicos y agentes contaminantes, y suelen ser distintos para diferentes países. Efectos a largo plazo, como el calentamiento global no están incluidos ya que no hay límites legales de las sustancias involucradas.

TRACI

Es un método de punto intermedio desarrollado por la agencia de protección ambiental de Estados Unidos y representa las condiciones ambientales de todo el país o por estado. La validez regional para impactos locales comprende a Norteamérica.

Otros

Cumulative Energy Demand, Cumulative Exergy Demand, Environmental Problems (SETAC), IPCC 2001 y Ecosystem Damage Potential.

2.6.5 Bases de datos

Finnveden y col. (2009) mencionan en su análisis de evolución reciente de análisis de ciclo de vida las siguientes bases de datos: SPINE@CPM, PROBÁS, JEMAI, NREL, LCI, Ecoinvent y *European Reference Life Cycle Database (ELCD)*.

En Europa han habido iniciativas de crear bases de datos con calidad, transparencia y revisión, como *CPM LCA Database* (CPM, 2011) y *Netzwerks Lebenszyklusdaten* (Netzwerks Lebenszyklusdaten, 2011), pero contienen pocos datos.

Ecoinvent (Frischknecht y col., 2005, 2007a,b,c) es una base de datos utilizada en muchos estudios de ACV de edificios (Blengini y Di Carlo, 2010; López-Mesa y col., 2009; Monahan y Powell, 2011; Ortiz, Castells y Sonnemann, 2009, 2010; Ortiz y col., 2009; Rosselló-Batle y col., 2010; Uihlein y Eder, 2010; Verbeeck y Hens, 2010).

2.6.6 Herramientas de ACV

El propósito de este apartado es evaluar el estado de las herramientas de ACV adecuadas para su uso en la industria de la construcción. Debido a la cantidad de cálculos necesarios para realizar el análisis del ciclo de vida, es una herramienta necesaria, sobre todo si puede integrar una base de datos.

La información de herramientas se ha elaborado a partir de proyectos establecidos. Las colecciones más importantes se enumeran a continuación:

- *LCA Software Survey* (Jönbrink y col., 2000)
- *Data Needs and Sources* (IEA Annex 31, 2001b) Contiene reseñas de hasta 28 bases de datos que incluyen datos sobre energía, transporte y tratamiento de residuos
- *Directory of Tools* (IEA Annex 31, 2001c)
- *Background Report LCA Tools, Data and Application in the Building and Construction Industry* (Centre For Design at RMIT University, 2001)
- *Literature review of life cycle costing (LCC) and life cycle assessment (LCA)* (DLMC, 2006)
- *Tools for environmental assessment of the built environment* (Forsberg y Malmborg, 2004)
- *Intercomparison and Benchmarking of LCA-based Environmental Assessment and Design Tools for Buildings* (Peuportier y Putzeys, 2005)
- *Consultancy Study on Life Cycle Energy Analysis of Building Construction* (E&MSD, 2005)
- *A critical review of building environmental assessment tools* (Haapio y Viitanieni, 2008)
- *LCA resources directory* (EC, 2009)
- *Life cycle assessment in buildings: State-of-the-art and simplified LCA methodology as a complement for building certification* (Zabalza, Aranda y Scarpellini, 2009)
- *Building energy software tools directory* (USDoe, 2010)
- *Review of Life-Cycle Assessment Applications in Building Construction* (Singh y col., 2011)

Para una correcta aplicación de un ACV en los edificios y campo de la construcción, una herramienta de evaluación del ACV tiene que cumplir las siguientes condiciones:

- Aspectos medioambientales de relevancia relacionados con la edificación (ISO/TS 21931-1:2006, 2006, subsección 5.5.2)
 - Cambio climático
 - Destrucción de la capa de ozono
- Uso de energía primaria, y diferenciando entre renovables y no renovables (ISO/TS 21931-1:2006, 2006, subsección 5.5.3)
- Trazabilidad, transparencia y verificabilidad del proceso de evaluación (ISO/TS 21931-1:2006, 2006, subsección 5.5.6)
- Libertad para definir la unidad funcional
- Libertad de elegir el método de evaluación
- Libertad para elegir la base de datos
- Una forma sencilla de introducir nuevos datos a la base de datos (por ejemplo, la *combinación de fuentes de energía* de generación de electricidad)
- Identificar claramente energía operacional e incorporada
- Fácil de considerar la energía operacional (cálculos de calor, frío y luz) de forma interna o externa

- Visualización de la información: diagrama de barras, tablas...
- Flexibilidad, que permita hacer todo tipo de edificios
- Fácil de utilizar y de hacer cambios

Algunas de estas condiciones son necesarias para cumplir la especificación técnica de ISO, otras son necesarias para adaptarse a las necesidades de la metodología propuesta.

Hay más de 70 herramientas, específicas para la evaluación de ACV, relacionadas a los edificios y la construcción. Como señala Forsberg y Malmberg (2004), muchas de las herramientas están en desarrollo, y solo están disponibles para desarrolladores. O algunas de las herramientas han sido creadas para un propósito específico en un determinado tiempo y lugar.

De acuerdo con Trusty y Horst (2005), las herramientas de ACV se pueden clasificar en tres niveles, en función de su tipología:

- Nivel 1: herramientas de comparación de productos
- Nivel 2: herramientas de soporte de decisiones para edificios enteros
- Nivel 3: evaluación de sistemas de edificios enteros

Se desaconseja el uso las siguientes herramientas, por los siguientes motivos:

- En desarrollo o para un propósito específico:
BEE (propósito específico), *EcoEffect*, *ELP* (solo para desarrolladores)
- No están en inglés:
BeCost, *TAKE-LCA* (solo en finlandés), *GreenCald* (solo en holandés), *HQE Process* (solo en francés), *JEMAI-LCA* (solo en japonés)
- No se encuentra disponible:
Balance (no encontrado), *EcoInstall*, *LCA-HOUSE*, *LCAid*, *MMG* (no disponible); *EcoPro* (desaparecido)
- Tratan otras zonas que no son Europa:
ATHENA (Canada), *BEES*, *CLEAN*, *LEED*, *REPAQ* (USA), *LISA* (Australia)

Para la aplicación de estas herramientas en el sector de la construcción, se puede concluir que la transparencia de una herramienta es una de las características más importantes. Sin ella, el valor de una herramienta disminuye (IEA Annex 31, 2001a).

La comparación de las herramientas y sus resultados es difícil, si no imposible. Por ejemplo, las herramientas están diseñadas para evaluar diferentes tipos de edificios, destacan las diferentes etapas del ciclo de vida, y se basan en diferentes bases de datos, directrices y cuestionarios (Haapio y Viitanie-mi, 2008).

Las diferencias, por ejemplo, en los datos, la asignación de datos, las diferencias en la *combinación de fuentes de energía*, muestran que las diferentes herramientas producen diferentes resultados para los mismas entradas (IEA Annex 31, 2001a).

La necesidad de la integración de las evaluaciones económicas y ambientales se ha discutido en la literatura de ACV y de coste de ciclo de vida (CCV). Sin embargo, se han hecho relativamente pocos intentos de integrar los aspectos sociales. En vista de la idea central actual de la sostenibilidad, el ACV debería ser desarrollado como un modelo de decisión de apoyo integral (Singh y col., 2011).

2.7 AGENTES DE LA EDIFICACIÓN Y TOMA DE DECISIONES

El objetivo de esta sección es triple. Primero trata de identificar los agentes de la edificación implicados en las diferentes aproximaciones al hecho constructivo. Después trata de identificar los momentos críticos de la toma de decisiones con implicaciones medioambientales, económicas o sociales del edificio a lo largo de todo su ciclo de vida. Y finalmente trata de describir las funciones de los agentes y las decisiones.

Las herramientas de ACV pueden ser utilizadas potencialmente por un gran número de responsables en la industria de la construcción de edificios, cada uno de los cuales tiene un determinado ámbito de toma de decisiones, con criterios diferentes y necesidades diversas de información. Las herramientas de ACV deben reflejar esta complejidad y ser flexibles y transparentes (Singh y col., 2011).

2.7.1 Agentes de la edificación

Son agentes de la edificación todas las personas físicas o jurídicas que intervienen en el proceso de la edificación (LEY 38/1999, 1999; Real Decreto 314/2006, 2006).

La LEY 38/1999, de 5 de noviembre, de *Ordenación de la Edificación* (LOE), publicada en el BOE núm. 266, de 6 de noviembre de 1999, define las siguientes figuras que intervienen en el proceso de la edificación:

- Promotor
- Projectista
- Constructor
- Director de obra
- Director de ejecución de obra
- Entidades de control de calidad
- Suministradores de productos
- Propietarios y usuarios

En la especificación técnica ISO/TS 21929-1:2006 sobre sostenibilidad en construcción de edificios se mencionan los siguientes agentes:

- Inversores y propietarios de bienes inmuebles
- Inquilinos y usuarios de los edificios
- Projectistas, promotores y urbanistas
- Fabricantes de productos de construcción
- Contratistas
- Técnicos de instalaciones y agentes inmobiliarios
- Organismos públicos (vivienda, construcción, tráfico, medio ambiente)

Se han añadido otros agentes por considerar que intervienen en el proceso de la edificación y por tener relación o influencia en algunas decisiones a tomar por los demás agentes de la edificación. Estos agentes son: las instituciones financieras, las compañías aseguradoras y el gestor de residuos.

Para simplificar el listado propuesto, se ha creído oportuno realizar algunas agrupaciones por razones de similitud de tareas, o similitud de implicaciones medioambientales entre las acciones de los distintos agentes. Concretamente se ha estimado conveniente agrupar el director de obra, el director de la ejecución de la obra y el coordinador de seguridad y salud bajo el concepto de *dirección facultativa*. De hecho, los tres agentes forman parte de esta dirección facultativa y sus labores se pueden agrupar sin ningún problema.

Por otro lado, se ha considerado que la responsabilidad y las decisiones a tomar con implicaciones medioambientales en la fase de construcción y fin de vida de una empresa constructora y de una empresa instaladora son muy parecidas (cada uno dentro de su especialidad), siendo muy frecuente que ambas figuras liciten de manera conjunta la ejecución de un proyecto. Por ello se consideran de manera conjunta bajo la denominación de *empresa constructora*. Bajo esta denominación también se han incluido las empresas de mantenimiento, pues a la práctica son empresas constructoras o instaladoras que intervienen durante la fase de uso del edificio para realizar su mantenimiento.

Finalmente se ha procedido a agrupar los suministradores de productos con los proveedores, bajo el nombre común de *suministradores*, independientemente de que suministren materiales o servicios.

2.7.2 Relación de los agentes de la edificación y las fases en la toma de decisiones

Los objetivos de la evaluación del comportamiento medioambiental de un edificio son, entre otros: apoyar el proceso de toma de decisiones en el diseño, construcción, entrega, explotación, rehabilitación y demolición; y seleccionar alternativas que ayuden a considerar la necesaria sostenibilidad de los edificios (ISO/TS 21931-1:2006, 2006; UNE-EN 15643-1:2010, 2010). Cuchí, Wadel y Rivas Hesse (2010) defienden que para entender el papel ambiental del sector edificación, y por tanto para poder intervenir sobre él, es clave saber cuáles son las decisiones, qué agente las toma y en qué momento.

En la tabla 2.26 se muestra la relación de los distintos agentes de la edificación que intervienen a lo largo de la vida útil de un proyecto de construcción, así como en qué fase toman decisiones. Las fases de ciclo de vida consideradas son diseño, producto, construcción, uso y fin de vida.

Diseño

La fase de diseño engloba desde la aparición de la idea inicial del promotor hasta que esta idea queda reflejada en un documento listo para su ejecución.

Tabla 2.26: Relación de los agentes de la edificación y las fases en la toma de decisiones

Agentes	Diseño	Producto	Construcción	Uso	Fin de vida
Promotor	■		■		
Proyectista	■	■			■
Constructor			■	■	■
Dirección facultativa			■	■	■
Entidades de control de calidad			■	■	■
Suministradores		■	■	■	■
Propietarios	■		■	■	■
Usuarios	■		■	■	■
Instituciones financieras	■	■	■	■	■
Compañías aseguradoras			■	■	■
Gestor de residuos				■	■
Administración	■	■	■	■	■

Por el camino aparecen aspectos normativos, selección de ubicación de la edificación, tipologías constructivas a usar, selección de materiales a colocar, limitaciones financieras o económicas, sensibilidad del entorno social, licitación, adjudicación y contratación de las obras a empresas constructoras o instaladoras, etc. Las mayores oportunidades de mejora se encuentran en la etapa de diseño, ya que las decisiones tomadas en esta etapa determinan los impactos de un edificio para el resto de su ciclo de vida (Cuéllar-Franca y Azapagic, 2012; Sharma y col., 2011).

Producto

La fase de producto comprende desde la extracción de las materias primas hasta el transporte del producto final al centro de distribución.

Construcción

La fase de construcción comienza en el momento en que se encarga la ejecución de la construcción del proyecto y acaba cuando esta es entregada a su propietario o promotor. En esta fase aparecen conceptos como la obtención de los permisos necesarios, la selección de procesos constructivos, distintos tipos de empresas con distintos niveles de subcontratación, los proveedores de material, los suministradores de servicios, la gestión de los residuos, el cumplimiento de la normativa vigente, controles de calidad, compañías de seguros, etc.

Uso

La fase de uso se considera desde el momento en que se hace entrega de la edificación a su propietario/promotor, hasta el momento en que deja de usarse. Se incluyen las tareas de mantenimiento pertinentes, los controles

periódicos a los que se ve sometido el edificio, los cambios en la legislación, etc.

Fin de vida

Esta última fase, se inicia cuando el edificio pierde su uso, precisando de un proceso de fin de vida, hasta que todos los materiales resultantes de este proceso han sido correctamente gestionados. En este punto influyen las técnicas utilizadas para el fin de vida, la legislación actual al respecto, los gestores de residuos, el grado de sensibilidad de la sociedad respecto a los residuos producidos, etc.

2.7.3 Descripción de los agentes y las decisiones

En este apartado se definen la función de los diferentes agentes, las decisiones que se toman y en qué momento del ciclo de vida se realizan.

Promotor

Será considerado promotor cualquier persona, física o jurídica, pública o privada, que, individual o colectivamente, decide, impulsa, programa y financia, con recursos propios o ajenos, las obras de edificación para sí o para su posterior enajenación, entrega o cesión a terceros bajo cualquier título (LEY 38/1999).

El promotor decide aspectos básicos en la etapa de diseño y facilita la documentación e información necesaria para la redacción del proyecto. Entre estas decisiones se hallan las cualidades y calidades del producto, la tipología edificatoria, las fuentes de energía, las instalaciones (que forman parte del factor rendimiento de la demanda energética) y los elementos constructivos con una influencia en la demanda energética, como cerramientos, carpinterías, protecciones solares y materiales. Estas decisiones son transmitidas al proyectista de la edificación, que debe reflejarlo en el documento proyecto, o aprobando las soluciones técnicas propuestas por el proyectista durante la fase de diseño. Durante la ejecución de la obra, tanto en fase de construcción como de fin de vida, autoriza al director de la obra las posibles modificaciones del proyecto. Al concluir la construcción debe entregar al propietario la documentación de obra ejecutada.

Proyectista

El proyectista es el agente que redacta el proyecto por encargo del promotor y con sujeción a la normativa técnica y urbanística correspondiente (Real Decreto 314/2006).

Decide y diseña aspectos básicos en el proyecto, con lo que casi todas sus decisiones poseen afectaciones económicas, sociales y medioambientales. Aquí se incluiría desde la ubicación del edificio, hasta su distribución en planta,

su orientación, las soluciones constructivas previstas, los materiales proyectados, las instalaciones necesarias, la previsión de gestión de residuos, los procedimientos a seguir para el fin de vida de un edificio, etc. El proyectista debe trasladar las inquietudes y necesidades del promotor hacia un proyecto ejecutivo, basado en soluciones concretas, sin perder de vista el objetivo final de la edificación.

Constructor

El constructor es el agente que asume, contractualmente ante el promotor, el compromiso de ejecutar con medios humanos y materiales, propios o ajenos, las obras o parte de las mismas con sujeción al proyecto y al contrato, y siguiendo las instrucciones del director de obra y del director de la ejecución de la obra (Real Decreto 314/2006). Esta figura también es conocida como instalador o contratista.

Debe aplicar las consideraciones medioambientales previstas en el proyecto. Decide cómo aplicar las instrucciones de la dirección facultativa, a fin de alcanzar la calidad y el respeto versus el entorno exigidos en el proyecto. Para ello es el que decide cómo asignar a la obra los medios humanos y materiales, estableciendo el proceso constructivo concreto a usar en la fase de construcción y de fin de vida. Esta decisión posee una gran importancia medioambiental, pues en función del proceso constructivo seleccionado, la ejecución presenta un grado inferior o superior de agresión respecto al medio que la rodea. Es también el responsable directo de gestionar físicamente, tanto en la fase de construcción como en la de fin de vida, los residuos que aparecen dentro de la obra.

El constructor, además, puede adquirir el rol de empresa de mantenimiento durante la fase de uso del edificio. Se considera que la empresa de mantenimiento debe realizar actividades de instalación, reparación, mantenimiento o control periódico del edificio, equipos o instalaciones. Bajo este rol, debe tomar decisiones teniendo en cuenta criterios de eficiencia energética, así como valorar el estado del edificio, equipos e instalaciones. En caso de sustitución o reparación debe gestionar de manera respetuosa con el medioambiente los residuos generados.

Dirección facultativa

La dirección facultativa está constituida por el *director de obra* y el *director de la ejecución de la obra* (Real Decreto 314/2006).

El *director de obra* es el agente que, formando parte de la dirección facultativa, dirige el desarrollo de la obra en los aspectos técnicos, estéticos, urbanísticos y medio ambientales, de conformidad con el proyecto que la define, la licencia de edificación y demás autorizaciones preceptivas y las condiciones del contrato, con objeto de asegurar su adecuación al fin propuesto (MITyC, 2011a). Verifica el replanteo y la adecuación de la cimentación y de la estructura proyectada a las características geotécnicas del terreno. Resuelve las contingencias que se produzcan en la obra. Elabora eventuales modificaciones del proyecto, que vengan exigidas por la marcha de la obra siempre

que las mismas se adapten a las disposiciones normativas contempladas y observadas en la redacción del proyecto.

El *director de la ejecución de la obra* es el agente que, formando parte de la dirección facultativa, asume la función técnica de dirigir la ejecución material de la obra y de controlar cualitativa y cuantitativamente la construcción y la calidad (MITyC, 2011a). Aparece en las fases de construcción y de fin de vida. Verifica la recepción en obra de los productos de construcción, ordenando la realización de ensayos y pruebas precisas. Dirige la ejecución material de la obra comprobando los replanteos, los materiales, la correcta ejecución y disposición de los elementos constructivos y de las instalaciones, de acuerdo con el proyecto y con las instrucciones del director de obra.

La tarea principal de la dirección facultativa es la de cerciorarse de que el proyecto se ejecuta siguiendo los parámetros estipulados en la fase de diseño del mismo. Se encargan de verificar las condiciones de los materiales a usar, la idoneidad del proceso constructivo propuesto por el constructor, resuelve hipotéticos problemas que aparecen en la obra y realiza posibles modificaciones del proyecto. Desde un punto de vista medioambiental, vela para que se cumplan los requisitos ambientales estipulados en la fase de diseño. Asimismo, puede tomar decisiones sobre acciones concretas de la ejecución de la obra que impliquen una agresión al entorno. De igual manera puede tener en consideración aspectos medioambientales en el momento de valorar la posibilidad de introducir cambios en el proyecto durante la fase ejecución del mismo.

Entidades de control de calidad

Las entidades de control de calidad en la edificación son las encargadas de verificar la calidad del proyecto, de los materiales y de la ejecución de la obra y de sus instalaciones, de acuerdo con la documentación técnica del proyecto y la normativa aplicable (MITyC, 2011a).

Son laboratorios de ensayos para el control de calidad de la edificación los capacitados para prestar asistencia técnica, mediante la realización de ensayos o pruebas de servicio de los materiales, sistemas o instalaciones de una obra de edificación. Prestan asistencia técnica y justifican la capacidad suficiente de medios materiales y humanos necesarios para realizar adecuadamente los trabajos contratados.

Por lo que respecta al control, realizan algunas tareas parecidas a la dirección facultativa. Equivaldría a un control externo de la ejecución de la obra. Este control es independiente y pretende básicamente que el proyecto se adapte a las especificaciones básicas fijadas en la fase de diseño, y que se cumpla la normativa vigente. Entre las especificaciones básicas del proyecto y la normativa vigente se encuentran disposiciones que afectan a aspectos medioambientales de la construcción.

Suministradores

Se consideran suministradores de productos todas las personas físicas o jurídicas que proporcionan productos de construcción a las obras: fabricantes, almacenistas, importadores o vendedores de productos de construcción (Real Decreto 314/2006). Se entiende por producto de construcción aquel que se fabrica para su incorporación permanente en una obra incluyendo materiales, elementos semielaborados, componentes y obras o parte de las mismas, tanto terminadas como en proceso de ejecución.

Los suministradores deben responsabilizarse de la calidad de los productos que ofrecen, ya que el proceso de producción es de su exclusiva competencia. Así como que estos productos cumplen con las especificaciones fijadas en el proyecto de construcción. Dentro de esta categoría también se han incluido los suministradores de servicios; tales como la energía eléctrica, agua y gas, necesarios para desarrollar el proyecto. Estos deben respetar las indicaciones contenidas en la normativa vigente, así como respetar las especificaciones medioambientales del proyecto.

Propietarios

Son obligaciones de los propietarios conservar en buen estado la edificación mediante un adecuado uso y mantenimiento, así como recibir, conservar y transmitir la documentación de la obra ejecutada y los seguros y garantías con que esta cuenta.

Usuarios

El usuario es el agente que goza del derecho de uso del edificio de forma continuada (Real Decreto 314/2006). Son obligaciones de los usuarios, sean o no propietarios, a la utilización adecuada de los edificios o de parte de los mismos de conformidad con las instrucciones de uso y mantenimiento, contenidas en el *Libro del Edificio*. Un mal funcionamiento de las instalaciones, un mal uso de estas, o un mal mantenimiento del edificio a lo largo de su uso, puede comportar una agresión respecto al entorno no contemplada inicialmente en el proyecto.

El usuario a menudo es quien más influye y decide sobre el nivel de equipamiento y la eficiencia de los aparatos consumidores de agua y energía (Cuchí, Wadel y Rivas Hesse, 2010).

Instituciones financieras

Comprende a toda empresa que habitualmente se dedica a prestar fondos o a conceder créditos, tanto con sus propios fondos como con fondos recibidos de terceros.

Lo habitual es que este tipo de instituciones ejerza un control sobre el fruto de los fondos que ha prestado. Dentro de este control también se encuentran aspectos medioambientales del proyecto, tanto en la fase de diseño,

como en la de construcción y de fin de vida. De los resultados de este control depende que las instituciones financieras sigan prestando los fondos o no.

Compañías aseguradoras

Se considera compañía aseguradora a aquella empresa cuya actividad económica consiste en producir el servicio de seguridad cubriendo determinados riesgos económicos.

Este tipo de compañías deben prever los potenciales riesgos y accidentes que implica un proyecto de construcción a lo largo de toda su vida útil. Dentro de estos existen los accidentes considerados mayores, que son básicamente de carácter medioambiental. Ello implica que estas compañías ejercen un control externo periódico para cerciorarse de la seguridad existente tanto en la fase de construcción, como en la de uso, como finalmente en la de fin de vida. De este control se extrae la cuota a abonar para la obtención de un seguro, o incluso la idoneidad o no de la concesión de este.

Gestores de residuos

El gestor de residuos es el agente que realiza cualquiera de las operaciones que componen la gestión de los residuos, como: la recogida, el almacenamiento, el transporte, la valorización y la eliminación de los residuos, incluida la vigilancia de estas actividades, así como la vigilancia de los lugares de depósito o vertido después de su cierre.

Aparece principalmente en la fase de fin de vida, atendiendo al volumen de residuos generado, si bien también actúa en la fase de construcción y, en menor medida, en la fase de uso del edificio a través del mantenimiento.

El gestor de residuos es el responsable de que el tratamiento que se dé a los residuos generados a lo largo de la vida útil de un edificio, sea el correcto desde un punto de vista medioambiental.

Administración

La Administración Pública, en cualquiera de sus variantes (central, autonómica o municipal), ejerce distintos papeles a lo largo de la vida útil de un edificio.

En primera instancia actúa como legislador, fijando el marco normativo a cumplir desde el punto de vista medioambiental. Desde este punto de vista, aparece en todas las fases del proyecto, desde la fase de diseño que debe adaptarse a la normativa vigente, hasta la disposición final de los residuos en la fase de fin de vida.

Por otro lado, la administración ejerce de controlador a partir de otorgar permisos y licencias. Para la fase de construcción es necesario un permiso de obras y para su obtención se evalúa el diseño realizado y se comprueba

que la construcción final se adapte a las especificaciones básicas del mismo. Esta operación se repite en la fase de fin de vida.

Para poder usar el edificio es necesario que la Administración otorgue una licencia ambiental, que debe ser renovada cada cierto periodo de tiempo. Con esta licencia se limitan las agresiones respecto al entorno de la actividad que usa el edificio. Con las renovaciones se comprueba que se actualizan y mantienen las acciones preventivas medioambientales previstas inicialmente en la fase de uso.

2.8 ENERGÍA OPERACIONAL E INCORPORADA

Desde el punto de vista del ACV, el consumo de energía en los edificios tiene dos orígenes principales: la *energía operacional* y *energía incorporada*.

La *energía operacional*, algunas veces mencionada como energía operativa o energía en uso, es la energía consumida durante la etapa de uso del edificio y está directamente relacionada con su habitabilidad. La energía operacional se refiere a la energía para la calefacción, refrigeración, ventilación, iluminación, electrodomésticos y equipos de oficina (Harvey, 2006). Por lo tanto, el consumo de energía operacional comienza cuando el edificio está terminado, continúa durante toda la vida útil del edificio y termina en el momento en que el edificio es demolido. Es un hecho que, cuanto mayor es la vida útil del edificio, más energía operacional se consume. Además, el consumo de energía operacional se multiplica al envejecer el edificio debido a la ineficiencia creciente de los sistemas.

Harvey (2006) define simplemente que la *energía incorporada* de un edificio es la energía utilizada para fabricar y transportar los materiales utilizados en la construcción, así como la energía utilizada durante el proceso de construcción en sí. Monahan y Powell (2011) la definen como: el total de energía primaria necesaria para la extracción de materias primas, transporte, fabricación, montaje, desmontaje y eliminación al final de la vida de un producto. Es importante destacar el uso del término energía primaria ya que las demás definiciones no lo especifican. La energía primaria se refiere a la suma de la energía, incluida la utilizada en la extracción de las materias primas, fabricación y transporte de la energía suministrada. Dixit y col. (2010) señalan que el término de energía incorporada está sujeto a varias interpretaciones, derivadas de diferencias de opinión sobre los límites del sistema al analizar la energía incorporada. Y concluyen que la definición más completa es: “La energía incorporada incluye la energía consumida durante la extracción y transformación de las materias primas, el transporte de estas materias primas, la fabricación de componentes y materiales de construcción y el uso de energía para distintos procesos durante la construcción y la demolición del edificio”. Todas las definiciones distinguen entre la energía utilizada directamente en la construcción y la energía empleada indirectamente en los productos de la construcción, y difieren en el alcance de cada una. Chau y col. (2012) también afirman que no hay consenso sobre el alcance y los límites para el estudio de las emisiones de CO₂. Aye y col. (2012) comentan que también hay energía incorporada en los bienes y servicios, incluido el capital, que se utilicen en los procesos.

De acuerdo con multitud de autores (Blengini, 2009; Dixit y col., 2010; Sartori y Hestnes, 2007; Scheuer, Keoleian y Reppe, 2003; Thormark, 2006) en un edificio se pueden distinguir los siguientes tipos de energía:

- *energía incorporada inicial*, que es la energía utilizada durante la producción de materiales y componentes de un edificio, incluidas las adquisiciones de materias primas, fabricación de material y entrega del producto final a la construcción in situ

- *energía incorporada recurrente*, que es la energía utilizada en los procesos de mantenimiento y rehabilitación, y la energía incorporada en los materiales y componentes utilizados
- *energía incorporada en el fin de vida*, que es la energía relativa a la deconstrucción del edificio y la eliminación o recuperación de los residuos
- *energía operacional*, que es la que se requiere para alcanzar los niveles de ocupación de un edificio a lo largo de su vida útil

Dixit y col. (2010) además distingue el uso directo de la energía en los siguientes aspectos:

- *prefabricación*, es la energía utilizada en los procesos de prefabricación de los componentes de la construcción
- *construcción y montaje*, es la energía utilizada en los procesos de construcción y montaje in situ
- *transporte*, es la energía relacionada con el transporte en la prefabricación y en la construcción y montaje in situ

Aye y col. (2012) destacan que son muchos los factores que pueden dar lugar a una considerable variabilidad en los datos de energía incorporada, como la tecnología, las estructuras de suministro de combustible, la región, las especificaciones del producto y el método de análisis. Rossi, Marique y Reiter (2012) comentan que la evaluación de la energía incorporada en los edificios puede variar sustancialmente debido a una variabilidad muy alta en los datos de materiales y a particularidades regionales. Monahan y Powell (2011) citan factores como el mix energético, los procesos de transformación, la eficiencia del sistema industrial y económico de la región y cómo estos factores varían con el tiempo. Dixit y col. (2010) describen 10 factores que influyen en la calidad de los resultados de la energía incorporada y son: los límites del sistema, el método de análisis, la ubicación geográfica, la energía final y primaria, la antigüedad, la fuente y la exhaustividad de los datos, la tecnología de fabricación, las consideraciones energéticas de la materia prima y la representación temporal. Saghafi y Hosseini Teshnizi (2011) también mencionan como factores las condiciones regionales y nacionales, los procesos de fabricación, el contenido de producto reciclado, las fuentes de energía y los parámetros del estudio. Y que es aceptable usar bases de datos internacionales cuando no se disponen de datos locales.

Según Dixit y col. (2010) los edificios comerciales muestran una mayor variabilidad en términos de energía incorporada que los edificios residenciales.

Una energía incorporada más alta generalmente implica unos mayores niveles de GEI, así como unos mayores impactos medioambientales (Saghafi y Hosseini Teshnizi, 2011).

Es relativamente fácil de calcular la energía operacional de los edificios, sin embargo, la determinación de la energía incorporada es más lenta y compleja. Dixit y col. (2010) observan que en la literatura no existe una metodología estándar para calcular la energía incorporada de los materiales de construcción.

Tabla 2.27: Contribución de la energía incorporada en el transporte

Autor	Contribución	Distancia
Cuéllar-Franca y Azapagic (2012)	insignificante	
Kyoung-Hee (2011)	<1 %	
Bin y Parker (2012)	1 – 4 % *	100–1000 km
Rossi y col. (2012)	2 % *	50 km

* Respecto a la energía incorporada

2.8.1 Energía incorporada en el transporte

Chau y col. (2012) observan que hay pocos estudios que tengan en cuenta el transporte, y que es necesario realizarlos ya que la energía incorporada depende de diferencias en distancias de transporte y el tipo de combustible utilizado.

Aunque hay estudios que afirman que los impactos ambientales asociados con el transporte son insignificantes (Cuéllar-Franca y Azapagic, 2012; Kyoung-Hee, 2011), hay otros en los que se concluye que sí que son significantes y por lo tanto que no se deben despreciar (Chong y Hermreck, 2010) y que además la energía incorporada varía con las distancias entre el emplazamiento, los centros de distribución y las instalaciones donde se gestionan los residuos. Bin y Parker (2012) han realizado un estudio comparativo en el que se relaciona la distancia con la contribución de la energía incorporada en el transporte en el total. Los resultados varían entre el 1 % para una distancia de 100 km y el 4 % para una distancia algo superior a los 1000 km. Rossi y col. (2012) evalúan la contribución del transporte en su estudio en un 2 % para una distancia de 50 km. En la tabla 2.27 se muestra un resumen de la contribución de la energía incorporada en el transporte.

2.8.2 Energía incorporada en los materiales y en la construcción

La industria de materiales de construcción es responsable del 20 % del consumo mundial de combustible (Dixit y col., 2010). Este valor varía de país en país, Yeo y Gabbai (2011) estiman la contribución de la energía incorporada en los materiales en un 10 % del consumo de energía en el Reino Unido e Irlanda. MdV (2008) indica que la construcción del edificio puede suponer entre el 33 % y el 50 % del total de emisiones de GEI para todo el ciclo de vida. Aye y col. (2012) comentan que al utilizar métodos incompletos de análisis de energía incorporada se pueden excluir hasta el 87 % de los requerimientos de energía asociados con la construcción.

Las pautas para la reducción de la energía incorporada son por lo general mediante la selección de materiales de baja energía incorporada, el diseño de estructuras de peso ligero o eficientes para minimizar el consumo de materiales, la utilización de materiales y componentes reciclados o reutilizados, la garantía de que los materiales puedan ser separados para una futura renovación, adaptación en lugar de demolición y la preferencia por los materiales de origen local. La pauta más importante es el diseño de larga vida

Tabla 2.28: Contribución de la energía incorporada en los materiales y en la construcción

Autor	Contribución
Scheuer, Keoleian y Reppe (2003)	1 – 10 % *
Cuéllar-Franca y Azapagic (2012)	9 % *
Ortiz y col. (2010)	8 – 20 %

* Respecto a la energía incorporada

útil utilizando materiales duraderos y de bajo mantenimiento (Dixit y col., 2010; Rossi, Marique y Reiter, 2012).

Gracia y col. (2010) han experimentado con diferentes aislantes basados en materiales de cambio de fase (MCF) y declaran una mejora de entre un 10 % y un 12 % para una vida útil de 100 años. El aislante basado en sales hidratadas tiene un plazo de recuperación de 25 años, y el basado en parafinas de 61 años. Yeo y Gabbai (2011) aduce que una reducción de la energía incorporada del orden del 10 % implica un incremento del 5 % en el coste.

La variabilidad de la proporción de la contribución de la energía incorporada en esta etapa es muy grande. Scheuer, Keoleian y Reppe (2003) la fijan entre el 1 % y el 10 % de la energía incorporada y Cuéllar-Franca y Azapagic (2012) lo hacen en el 9 %. Ortiz y col. (2010) lo hacen entre el 8 % y el 20 % de todo el ciclo de vida. También concluyen que aunque la contribución de esta etapa es baja en comparación con el ciclo de vida, no se debe descuidar, debido al consumo excesivo de materiales de construcción, el consumo de agua y la inadecuada gestión de los residuos. En la tabla 2.28 se muestra un resumen de la contribución de la energía incorporada en los materiales y en la construcción.

2.8.3 Energía incorporada en el mantenimiento y en la rehabilitación

La etapa de mantenimiento y rehabilitación es generalmente considerada en un segundo plano, relegada dentro de la etapa de uso (ISO/TS 21931-1:2006, 2006; Ortiz, Castells y Sonnemann, 2010) o en la etapa de construcción (Blengini y Di Carlo, 2010). Sin embargo, los datos de la construcción sugieren que la importancia es mucho mayor. En el año 2007 el subsector de rehabilitación y mantenimiento constituye un 23,8 % de la producción total del sector de la construcción en España y un 41 % en Europa (SEOPAN, 2009). En Europa la proporción más alta se explica por el progresivo envejecimiento del parque residencial europeo y a una demanda de calidad creciente. Además, MMA-MRM (2007) tiene como objetivo para una edificación más sostenible, promover un uso eficiente del patrimonio inmobiliario construido, apoyando la rehabilitación y reutilización frente a la construcción nueva. Este escenario plantea una mayor importancia de esta etapa en el futuro.

La agencia europea de medioambiente (EEA, 2010) indica que si la rehabilitación de las ventanas y el aislamiento se realizaran con el nivel de eficiencia

Tabla 2.29: Incremento de la energía incorporada en el mantenimiento y en la rehabilitación

Autor	Incremento	Intervención
Rossi y col. (2012)	5 % *	Mantenimiento
Bin y Parker (2012)	51 %	Rehabilitación

* Cada 10 años

Tabla 2.30: Contribución de la energía incorporada en el fin de vida

Autor	Contribución
Ortiz, Castells y Sonnemann (2010)	insignificante
Kyoung-Hee (2011)	insignificante
Bin y Parker (2012)	1 %
Cuéllar-Franca y Azapagic (2012)	1 %
Ortiz y col. (2010)	2 – 5 %
Blengini (2009)	-0.2 – -2.6 %

energética óptimo en coste, las emisiones de gases de efecto invernadero podrían reducirse de un 25 % a un 30 % adicional, con plazos de amortización de 10 a 15 años. Este nivel de eficiencia energética óptimo en coste es el que promueve la vigente Directiva 2010/31/EU relativa a la *eficiencia energética de los edificios* mediante el marco metodológico comparativo que se implantará a partir del año 2011. Este marco metodológico comparativo tiene en cuenta los costes de mantenimiento para determinar los niveles óptimos de rentabilidad. Sin embargo, no tiene en cuenta implicaciones medioambientales.

Rossi y col. (2012) consideran que la energía incorporada aumenta un 5 % cada 10 años debido a la sustitución, renovación y reparación de materiales y productos. El caso que presentan Bin y Parker (2012) muestra que tras la rehabilitación la vivienda ha aumentado la energía incorporada en un 51 % y las emisiones de CO₂ en un 46 %. En la tabla 2.29 se muestra un resumen del incremento de la energía incorporada en el mantenimiento y en la rehabilitación.

2.8.4 Energía incorporada en el fin de vida

En la literatura hay un asentimiento general a considerar que la etapa de fin de vida tiene una importancia mucho menor que la etapa de uso (EC y JRC, 2008; Nemry y col., 2010), y que además no suele ser significativa (Ortiz, Castells y Sonnemann, 2010). Kyoung-Hee (2011) concluye que para su estudio la energía de la etapa de fin de vida y las emisiones de GEI asociadas son insignificantes. Bin y Parker (2012) y Cuéllar-Franca y Azapagic (2012) fijan la contribución de esta etapa en un 1 % y Ortiz y col. (2010) entre el 2 % y el 5 %. Brunklaus, Thormark y Baumann (2010) concluyen que los impactos en esta etapa son relativamente problemáticos al ocurrir en el futu-

ro. En la tabla 2.30 se muestra un resumen de la contribución de la energía incorporada en el fin de vida.

Sin embargo, también se destaca que el impacto ambiental global de los edificios se extiende más allá de la fase de uso, incluyendo el desmontaje y eliminación de residuos de la construcción al final de la vida útil del edificio (Blengini y Di Carlo, 2010), y que se pueden lograr más mejoras si se considera la etapa de fin de vida (Blengini, 2009).

También hay autores que concluyen que los procesos de reciclado requieren una cantidad significativa de energía que no se puede despreciar en el cálculo del contenido de energía de residuos de la construcción (Chong y Hermreck, 2010).

Merece la pena destacar que el fin de vida también puede corresponder con una contribución negativa, es decir, logrando beneficios medioambientales que van desde -0.2 % to -2.6 % (Blengini, 2009). Esta contribución negativa se debe al potencial de reciclaje de algunos materiales de construcción, evitando la producción de nuevos materiales, más intensivos en energía y recursos naturales. Sin embargo, a veces los impactos ambientales de las estrategias de reciclaje superan los beneficios ambientales (Blengini, 2009).

2.8.5 Energía incorporada versus energía operacional

La energía incorporada puede tomar un lugar importante en el consumo total de energía en el ciclo de vida si se consideran edificios pasivos o de energía casi nula (Rossi, Marique y Reiter, 2012; Yeo y Gabbai, 2011). A medida que los edificios se hacen más eficientes energéticamente, la importancia relativa de la energía incorporada en el uso total de energía del ciclo de vida será mayor, así como de las emisiones de CO₂ asociadas (Chau y col., 2012). Debido a la alta demanda de energía en los países del norte y del medio de Europa, comparados con los países del sur de Europa, la importancia de la etapa de uso es más importante, y la proporción respecto al total es mayor cuando se compara con las etapas de construcción y de fin de vida (EC y JRC, 2008). Por tanto en los países del sur de Europa la etapa de fin de vida tiene una importancia relativa mayor.

Para viviendas construidas según los estándares convencionales, la energía incorporada es equivalente a unos pocos años de energía operacional. Monahan y Powell (2011) defienden que, en el caso de edificios de baja energía, la energía incorporada es de particular importancia. Porque a pesar de que se utiliza menos energía durante la ocupación, se necesita más energía para la fabricación de mayores niveles de aislamiento y para el uso de materiales de construcción más pesados y de tecnologías adicionales. Dixit y col. (2010) mencionan un estudio que sostiene que en Australia el contenido de energía incorporada en una vivienda media es equivalente a 15 años de energía operacional. Sin embargo, también mencionan otro estudio que afirma que, en el mismo país, estos valores pueden oscilar entre 20 y 50 años. Menoufi y col. (2012) lo estiman en 25 años en España.

En la tabla 2.31 se muestra un resumen de la contribución de la energía operacional e incorporada respecto al total del ciclo de vida.

Tabla 2.31: Contribución de la energía operacional e incorporada

Autor	Operacional	Incorporada
Ortiz y col. (2010)	80 – 90 %	
Ramesh, Prakash y Shukla (2012)	80 – 90 %	
Cuéllar-Franca y Azapagic (2012)	90 %	
Kyoung-Hee (2011)	87 – 95 %	
Zabalza, Aranda y Scarpellini (2009)		2 – 38 %
Yeo y Gabbai (2011)		5 – 40 %
Menoufi y col. (2012)		9 – 46 %
Aye y col. (2012)		>32 %
Gustavsson, Joelsson y Sathre (2010)		45 – 60 % *
Bin y Parker (2012)		70 % *

* Edificios de alta eficiencia

Varios estudios señalan que la energía operacional de un edificio normal abarca sobre el 80-90 % de todo el ciclo de vida (Ortiz y col., 2010; Ramesh, Prakash y Shukla, 2012). También coinciden Cuéllar-Franca y Azapagic (2012) con un 90 % y Kyoung-Hee (2011), que estima la energía operacional entre el 87 % y el 95 %.

Cuando el objeto del estudio es estudiar la energía incorporada, la proporción de esta resulta algo más elevada. Yeo y Gabbai (2011) estiman la contribución de la energía incorporada entre el 5 % y el 40 %. Menoufi y col. (2012) lo hacen entre el 9 % y el 46 %. Aye y col. (2012) exponen un caso de un edificio plurifamiliar con módulos prefabricados y estima que la energía incorporada representa un mínimo del 32 %.

Para edificios de alta eficiencia y bajo consumo la proporción de la energía incorporada es incluso mayor que la proporción de energía operacional. Bin y Parker (2012) estiman la energía incorporada en un 70 % y Gustavsson y Joelsson (2010) lo hacen entre el 45 % y el 60 %.

Es razonable que en un período de 50 años, reducir la energía operacional es más importante que reducir la energía incorporada (Harvey, 2006). De hecho, si bien es cierto que las mejoras efectivas se deben buscar primero dentro de la fase de uso (Cuéllar-Franca y Azapagic, 2012), sin duda se pueden lograr más beneficios significativos prestando atención a las etapas previas al uso y al fin de vida (Blengini, 2009).

2.9 CONCLUSIONES DEL ESTADO DE LA TÉCNICA

Las conclusiones extraídas del estado de la técnica están estructuradas en el mismo orden en el que aparecen en las anteriores secciones.

2.9.1 Sostenibilidad

Los compromisos de Aalborg (Aalborg Commitment Secretariat, 2011) instan a incrementar el rendimiento final de los edificios y sostienen que a largo plazo las únicas alternativas sostenibles son las fuentes de energía renovables. Mientras tanto, el ritmo de consumo de recursos no renovables no debe superar el ritmo de sustitución de los recursos renovables duraderos. El ritmo de emisiones no debe superar la capacidad de los sistemas naturales de absorberlos y procesarlos. Y el ritmo de consumo de materiales y energía no debe superar la capacidad de los sistemas naturales para reponerlos.

Actualmente en el caso de los edificios la mayor parte de la energía consumida es no renovable. La parte renovable está formada por la fracción renovable de electricidad (hidroeléctrica, eólica y solar), la energía térmica solar para producir ACS y calefacción (generalmente por suelo radiante) y un uso minoritario de biomasa. Por otra parte, los edificios no sólo son unos grandes consumidores de energía y generadores de emisiones en la etapa de uso, sino también unos grandes consumidores de materiales y generadores de residuos en las etapas de construcción y de fin de vida. Para evaluar la sostenibilidad en los edificios es necesario tener en cuenta todas las etapas del ciclo de vida y tener en cuenta no sólo la parte ambiental de la sostenibilidad, sino también la económica y la social.

La dependencia energética de España y el consumo y flujo de materiales son indicadores de la dimensión económica de la sostenibilidad, y se valoran como desfavorables por OSE (2009).

2.9.2 Cambio climático

España pactó mediante el protocolo de Kyoto no incrementar más del 15 % las emisiones contaminantes entre 2008 y 2012, tomando como referencia los niveles de 1990. El Gobierno se planteó como objetivo en el año 2008 limitar el incremento de las emisiones al 37 % (MITyC, 2008). La dificultad de cumplir el pacto se debe en gran parte por las emisiones de los edificios. Las emisiones generadas por el uso de los edificios superó el 15 % en el año 1996, en el año 2005 el incremento fue del 101 % (MdV, 2008), y en el año 2009 el incremento fue del 30.2 % para el sector residencial y del 113.7 % para el sector comercial e institucional (MMA-MRM, 2011). Para el año 2020 se estima el incremento de las emisiones de los edificios en un 114.3 % para un escenario sin medidas y en un 91.9 % en un escenario con medidas (MMA-MRM, 2006). IEA (2010a) argumenta que la reducción de emisiones debe necesariamente comenzar con acciones dirigidas a reducir las emisiones de la quema de combustibles.

IDAE (2007) propone medidas enfocadas a la rehabilitación, a la mejora de las instalaciones y a realizar un certificado energético para edificios existentes. La certificación energética (Real Decreto 47/2007, 2007) debe incluir información sobre el consumo estimado de energía primaria del edificio y de emisiones de CO₂.

Se prevé que a medio y largo plazo haya un incremento progresivo de la temperatura superficial y una tendencia a la disminución de la precipitación (Abanades García y col., 2007). Este aumento será más notable en verano y menos acusado en invierno, por lo que la demanda de calefacción no disminuirá debido al incremento de la temperatura, y en cambio, la demanda de refrigeración probablemente sea mucho más alta.

2.9.3 Datos sobre edificios existentes

En las clasificaciones tipológicas de la construcción, las viviendas unifamiliares pueden dividirse en aisladas, pareadas o adosadas, Los edificios plurifamiliares pueden dividirse bien por el número de viviendas, o incluso por la morfología del edificio (bloque o torre) y las viviendas colectivas tienen disparidad de clasificaciones. Los edificios no residenciales también tienen diversidad de clasificaciones, pero al menos suelen coincidir las categorías industria, oficinas y comercio. En la tabla 2.32 se resumen las clasificaciones tipológicas de la construcción, por el número de categorías para los edificios.

Tabla 2.32: Resumen de clasificaciones tipológicas de la construcción

Fuente	Residencial ¹	No residencial
CPC (United Nations, 2008a)	2: 1*/2*/0	3
EUROSTAT (Eurostat, 1997)	4: 1/2/1	17
ONU (United Nations, 2008b)	8: 2/4/1	
Censos 2001 (INE, 2001)	10: 1/2/7	
EPF (INE, 2011)	5: 2/3/0	
Cuestionario (MdF, 2011b)	6: 3/1/2	11
Licencias (MdF, 2011c)	3: 1*/1*/2	7
Visados (MdF, 2011a)	4: 2/1/1	7
TABULA (TABULA, 2010)	5: 2/3/0	

¹ Total: Unifamiliar / Plurifamiliar / Colectivos y otros

* Solapados entre categorías

Debido a condiciones de saturación de edificios, especialmente residenciales, y al gran número de edificios existentes, existe un gran potencial en la mejora de la eficiencia energética a través de la rehabilitación. Las autoridades identifican al sector de la edificación y equipamiento como el sector más prioritario y proponen varias medidas de rehabilitación, centradas especialmente en la envolvente térmica y en las instalaciones. Históricamente la proporción de rehabilitación respecto a obra nueva ha sido siempre muy pequeña. Sin embargo, en los últimos años ha habido un repunte

en esta proporción y muy probablemente siga creciendo en los próximos años.

El Instituto Nacional de Estadística dispone de poca información de la tipología de edificios, especialmente en el ámbito constructivo. Sólo es posible saber si son viviendas unifamiliares, plurifamiliares y de otra índole con menos peso, por su bajo número o proporción, como vivienda colectiva y locales. Tampoco se dispone de información directa de la superficie. Sin embargo, indirectamente es posible saber este dato con cierta precisión. Los censos se realizan cada década y aunque históricamente el cambio en el sistema edificatorio es lento, en esta última década se han vivido cambios cuantitativos y cualitativos sin precedentes, como un auge en el volumen de construcción y normativas más exigentes y rigurosas. Por esta razón, los datos para una investigación actualizada se tornan antiguos y poco útiles.

Las licencias municipales de obras (MdF, 2011b) proporcionan información más actual del ritmo de crecimiento, rehabilitación y demolición de edificios. Sin embargo, también se dispone de poca información sobre la tipología de edificios, tanto residenciales como no residenciales. Los tipos de edificios en los que conviene centrar la metodología son los edificios destinados a viviendas por su gran proporción en superficie respecto del total. En los edificios no residenciales los candidatos son las oficinas y el sector terciario, no tanto por su superficie total, sino por la habitabilidad de los recintos que requieren energía para mantener sus condiciones térmicas.

La licitación oficial en la construcción sólo da información a grandes rasgos. Y el bajo nivel de clasificación de edificios no permite tomar conclusiones sobre qué tipología de edificio se ha de enfocar la metodología.

Los visados de dirección de obra (MdF, 2011a) proporcionan una información similar a las licencias municipales de obras, pero con una tipología de edificios un poco más detallada. Los tipos de edificios en los que conviene centrar la metodología son los mismos que los mencionados en las licencias municipales de obras.

MITyC (2011b) menciona que, para cumplir con los objetivos propuestos, se han de reformar 58.1 millones de m² anuales. Esta cantidad es 20 veces superior a la media de superficie rehabilitada en la última década. Y la tasa de renovación propuesta, un 1.3 % anual, es del orden de 4 veces la tasa de rehabilitación de la última década.

2.9.4 Consumo y emisiones de edificios

En las viviendas, los aspectos energéticos que tienen más demanda energética son, en este orden: la calefacción, el ACS, los electrodomésticos, la cocina y la iluminación.

El sector residencial en España tiene un consumo de energía final de aproximadamente 15 900 ktep. La mayoría de estudios sobre el consumo energético y las emisiones asociadas de los edificios incluyen únicamente la energía final y no la primaria. Por las fuentes energéticas utilizadas en el sector residencial y por el mix de generación eléctrica español, debido a las pérdidas

de transformación y transporte, la energía primaria es un 55 % más alta que la energía final.

El sector residencial en España tiene unas emisiones directas de 19 300 ktCO₂. Las emisiones producidas por el consumo de electricidad no suelen estar contabilizadas y suman aproximadamente la misma cantidad de las emisiones producidas por el consumo de las otras fuentes energéticas. Por tanto, las emisiones, cuando se tiene en cuenta el consumo de electricidad, doblan las cantidades asignadas al sector residencial. Esto es debido a la gran cuota de la energía eléctrica en la demanda de energía final (39 %) y a que esta es la fuente energética que tiene el factor de emisión más alto.

El gran potencial de ahorro de los edificios existentes junto con el alto consumo actual del sector residencial, sugiere que en paralelo a las nuevas normativas que regulen los edificios de nueva construcción, también deberían incrementarse las políticas de mejora de la eficiencia energética de los edificios.

En un futuro habrá una mejor eficiencia y se emitirá menos CO₂ por unidad de energía consumida. Primero por el cambio de la combinación de energía para producir electricidad. Segundo por la sustitución de equipos obsoletos por otros más eficientes. Y por último por la mejora de la envolvente térmica de los edificios que se resuelve en una menor demanda energética. Esta estimación incluye los edificios ya construidos y con baja eficiencia que serán rehabilitados en los próximos 20 años. La demanda de energía final y las emisiones de CO₂ por vivienda en España en el año 2030 respecto el año 2010 habrán disminuido un 13 % y un 34 % respectivamente. El precio del petróleo aumentará entre el 87 % y el 124 % en el año 2035 respecto al año 2009 (IEA, 2010b). Y el precio de la electricidad en el año 2030 aumentará entre el 28 % y el 31 % (EC y DGET, 2010).

2.9.5 Medidas de mejora de la eficiencia energética

Cada edificio representa un caso único y diferente. La demanda energética está influenciada por multitud de variables que hacen que cada medida de la mejora de la eficiencia energética tenga un impacto diferente para cada caso. Por tanto sólo es posible indicar para cada medida un rango de valores de ahorro potencial. Por el mismo motivo, no es posible recomendar a priori una fórmula universal de medidas para aumentar la eficiencia energética. El mejor resultado se obtendrá seguramente con una combinación de medidas, diferente para cada caso, previo análisis de la relación entre el coste estimado y el ahorro potencial.

Debido al gran número de edificios construidos antes del Código Técnico de la Edificación (Real Decreto 314/2006, 2006) que no tienen la protección térmica adecuada, existe un gran potencial en la aplicación de medidas de eficiencia energética. Pero la aplicación de estas medidas se ven entorpecidas, entre otros muchos factores, por el relativo bajo precio de la energía, por los altos costes iniciales de las medidas y por la falta de financiación, además de por la falta información y sensibilización.

La actuación sobre el aumento del aislamiento de la cubierta está infravalorada, ya que se afirma que en un edificio alto el potencial es más bajo que en un edificio bajo. Tal como indica Rodríguez (2010), una edificación de tres alturas puede obtener un ahorro medio de un 15 % mediante el aislamiento de la cubierta, mientras que el ahorro a partir de las ocho alturas no superará el 5 %. Es por esto que en la literatura esta medida sólo se recomienda para edificios unifamiliares, ya que este ahorro se pone en función de la superficie total del edificio. Por ejemplo, al aplicar esta medida en dos edificios de las mismas características pero con diferente número de plantas, se obtiene el mismo ahorro absoluto y el mismo coste asociado, pero el edificio con pocas plantas tiene un potencial total más bajo que el edificio con más plantas. Por tanto el aumento del aislamiento de la cubierta debería tener la misma recomendación que el aumento del aislamiento de la fachada y no debería ser discriminado por el número de plantas.

2.9.6 ACV

La vida útil en la literatura oscila entre los 30 años y los 100 años, siendo el valor de 50 años el más común. Se ha de tener en cuenta que un valor alto de vida útil minimiza los impactos relativos de las etapas de producto, construcción y fin de vida respecto a la de uso, de una forma inversamente proporcional.

La unidad funcional en la literatura tiene mucha variabilidad y resulta difícil encontrar dos autores que utilicen la misma unidad funcional. Hay que considerar que los resultados de las publicaciones dependen de cuál es esta unidad funcional. Además, la elección de la unidad funcional es siempre subjetiva.

La mayoría de autores utilizan la categoría de impacto de cambio climático y bien la energía final o bien la energía primaria. Es remarcable que muchos autores utilizan las tres categorías de impacto. Para poder comparar estudios entre sí son necesarias las tres, puesto que la relación entre energía primaria y final depende de multitud de factores, raramente documentados.

Los métodos de evaluación de impacto son muy variados y ofrecen unos resultados muy diferentes entre sí. Unos métodos no utilizan internamente categorías de impacto y utilizan diversos aspectos ambientales. Otros métodos poseen indicadores de daño o categorías de impacto de daño, que ponderan y agregan categorías de impacto, para obtener valores intermedios. Y otros métodos utilizan indicadores de punto final, en los que se ponderan y agregan categorías de impacto para obtener un único valor. Debido a la diversidad dimensional de cada método, se hace imposible comparar resultados de diferentes métodos. Por lo que sólo se pueden comparar estudios que utilicen el mismo método de evaluación de impacto. Por tanto, sólo se pueden comparar categorías de impacto.

Las herramientas de ACV adecuadas para el uso en el sector de la construcción son muchas y muy variadas. Muchas de ellas están en desarrollo o sólo sirven para un propósito específico. Otras no se encuentran disponibles o nunca lo han estado, a pesar de haberse utilizado para publicar

resultados en revistas científicas. Y otras muchas herramientas no están en inglés o están diseñadas exclusivamente para otras zonas que no son Europa.

Utilizar diferentes herramientas o diferentes bases de datos puede ofrecer resultados con importantes diferencias para las mismas entradas.

2.9.7 Agentes de la edificación y toma de decisiones

Para poder intervenir sobre el papel ambiental del sector edificación, es clave saber cuáles son las decisiones, qué agente las toma y en qué momento (Cuchí, Wadel y Rivas Hesse, 2010).

Las mayores oportunidades de mejora se encuentran en la etapa de diseño, ya que las decisiones tomadas en esta etapa determinan los impactos de un edificio para el resto de su ciclo de vida (Cuéllar-Franca y Azapagic, 2012). Los agentes de la edificación que tienen relación con la etapa de diseño son: el promotor, el proyectista, los propietarios y usuarios, las instituciones financieras y la administración.

2.9.8 Energía operacional e incorporada

La energía operacional es la energía consumida durante la etapa de uso del edificio y es relativamente fácil de calcular.

La energía incorporada está sujeta a varias interpretaciones, derivadas de diferencias de opinión sobre el alcance y los límites del sistema. En la mayoría de definiciones de energía incorporada no se menciona el término energía primaria. Además la determinación de la energía incorporada es más lenta, compleja y no existe una metodología estándar. Se suelen distinguir diferentes tipos de energía incorporada (inicial, recurrente y de fin de vida) dependiendo de la fase del ciclo de vida en el que se consume. Por su baja contribución no se suele tener en cuenta la energía incorporada en el transporte, en los procesos de construcción, en el mantenimiento y rehabilitación, en el fin de vida, ni en los bienes y servicios utilizados. Los métodos incompletos pueden excluir una gran parte de la energía consumida e impactos generados en la construcción.

Los límites del sistema y la unidad funcional circunscriben el marco de actuación del análisis y en base a qué unidad se refieren los resultados. Estos dos apartados son claves para la comparación entre diferentes análisis.

Para edificios normales la contribución de la energía incorporada en el total suele estar entre el 10 % y el 20 %, pero para edificios de alta eficiencia puede aumentar hasta el 70 %. A medida que los edificios se hacen más eficientes energéticamente, la importancia relativa de la energía incorporada en el uso total de energía del ciclo de vida será mayor. Especialmente en los países del sur de Europa, en los que la demanda de energía no es tan intensiva y la etapa de uso tiene una menor proporción en el total. En cambio, cuanto

mayor es la vida útil del edificio menor es la importancia relativa de la energía incorporada.

2.10 HIPÓTESIS

Esta tesis se sostendrá en la siguiente hipótesis:

La aplicación de la metodología permite obtener información medioambiental, económica y social para todo el ciclo de vida de un edificio y de cada una de sus etapas, de un modo más directo que el marco de trabajo establecido por la metodología estándar de ACV y mostrando resultados que permiten la comparación con otros estudios, especialmente si han usado esta misma metodología.

2.10.1 Hipótesis específicas

A continuación se presentan las hipótesis específicas de la tesis:

- Es posible aplicar la metodología a los edificios más usuales: edificios residenciales, oficinas, almacenes y fábricas
- La aplicación de la presente metodología es compatible con el uso paralelo de otras metodologías de análisis de ciclo de vida ambiental, económico y social
- La metodología es flexible para la elección de unidad funcional
- La metodología es flexible para la elección de categorías de impacto y métodos de evaluación de impactos
- La metodología es flexible para la elección de aplicaciones de cálculos y de análisis
- Es posible comparar dos estudios aunque no tengan la misma unidad funcional o límites del sistema, si estos disponen de suficiente información
- La metodología puede adaptarse para realizar análisis de alternativas, rehabilitación y evaluación de parque de edificios

3 | METODOLOGÍA PROPUESTA

Todos los edificios son diferentes, pero también presentan características comunes, como materiales, procesos de construcción, instalaciones, elementos constructivos, uso del edificio y muchos más. Estas similitudes deberían permitir una fácil comparación entre edificios, especialmente los que son del mismo tipo constructivo. Sin embargo, la interpretación, el objetivo, el alcance y los límites del sistema de un análisis del ciclo de vida hacen que los resultados sean difícilmente comparables entre sí, aunque los edificios a comparar sean semejantes.

El objetivo de la metodología propuesta es realizar un análisis de costes e impactos ambientales y sociales en el ámbito de la construcción de edificios (edificios completos, conjuntos de edificios, sistemas de construcción y materiales de construcción) teniendo en cuenta todo el ciclo de vida, y de una manera sistematizada, flexible, simple, holística y enfocado a la comparación de los resultados.

Un análisis del ciclo de vida adaptado al dominio de los edificios resulta más simple y directo que uno general, llegando incluso a los mismos resultados. La utilización de esta metodología evita una dispersión en la manera de procesar los datos, y junto con la difusión de los datos relevantes de los edificios, permite una mayor facilidad en la comparación de los resultados entre diferentes estudios que apliquen esta metodología.

La metodología utiliza como base la estructura de la ISO 14040:2006 referente a la gestión ambiental y el análisis del ciclo de vida. Esta metodología se ha adaptado para acoger y normalizar las diferentes maneras de trabajar con la que los investigadores se afrontan al análisis del ciclo de vida en el ámbito de la construcción de edificios. La metodología está planteada para que pueda ser aplicada fácilmente por el proyectista desde el diseño. Y, especialmente, para reducir los impactos ambientales y sociales en la toma de decisiones teniendo en cuenta todo el ciclo de vida y con el menor coste posible. La flexibilidad de la metodología permite que el usuario de esta tenga la libertad para realizar el estudio a su voluntad, sin disminuir el potencial de comparación con otros estudios.

Como muestra de la flexibilidad de la metodología, esta se puede adaptar para otros casos diferentes a la construcción de un nuevo edificio, como por ejemplo realizar una rehabilitación, estudiar cuál es la mejor manera de deconstruir un edificio, cuál es la mejor solución constructiva para un elemento o sistema constructivo, e incluso, estudiar el ciclo de vida de un parque de edificios.

Tanto la normativa anterior, *Norma Básica de la Edificación* (NBE-CT-79, 1979), como el actual *Código Técnico de la Edificación* (MdV, 2009a) solo tienen en cuenta la etapa de uso de un edificio. Indudablemente esta etapa es la que

tiene los impactos ambientales y uso de energía primaria más altos comparados con las otras etapas del ciclo de vida (Ortiz, Castells y Sonnemann, 2009; Thormark, 2006).

La anterior legislación europea tenía el objetivo de incrementar la eficiencia energética en la etapa de uso de los edificios a través de la aplicación de unos requisitos mínimos y una metodología de cálculo (Directive 2006/32/EC, 2006). La legislación europea actual tiene el objetivo de que todos los edificios nuevos sean de consumo de energía casi nulo, en su etapa de uso, a partir de finales del 2020 (Directive 2010/31/EU, 2010).

Si los edificios son más sostenibles en la etapa de uso, los impactos relacionados con esta decrecen y las etapas de producción, construcción y fin de vida adquieren más importancia. Debido al gran número de edificios construidos, incluso las etapas con menos relevancia dentro del ciclo de vida, implican el uso de grandes cantidades de materias primas y energía. Y por supuesto, también generan grandes cantidades de residuos, emisiones y otros impactos ambientales.

Los resultados obtenidos deben poder ser comparados fácilmente, por lo que se hace indispensable divulgar en detalle la unidad funcional, los límites del sistema, las categorías de impacto y los datos relevantes del proyecto. Existen muchos tipos de incertidumbre en muchas de las variables que afectan al estudio, como la vida útil del edificio, el uso que se ha planificado, el mantenimiento, y la deconstrucción, entre otras.

Si se dispone de la suficiente información, se puede ajustar el estudio para adaptar los resultados a futuras contingencias, como una vida útil diferente a la planteada, un uso diferente al proyectado, o una deconstrucción con una elevada proporción de reciclaje. Por ejemplo, la vida útil de un edificio no suele tener un valor común en todos los estudios. En este caso, sería posible normalizar la variable para poder comparar los resultados de varios estudios con valores distintos.

3.1 ESQUEMA DE LA METODOLOGÍA

La aplicación prevista de la metodología general está concebida para un edificio de nueva construcción o partes de este. Para otros casos distintos, la metodología se ha transformado para adaptarse a las necesidades específicas de cada caso, manteniendo, sin embargo, una estructura metodológica similar.

La metodología general se compone de cinco fases (figura 3.1). En la primera fase se define el sistema y las características generales del estudio. En la segunda fase se reúne la documentación necesaria que se usará en el resto de la metodología. En la tercera fase se procesa la información contenida en la documentación y se realiza el inventario de datos. En la cuarta fase, utilizando los datos del inventario, se realizan por una parte los cálculos necesarios y por otra el análisis del ciclo de vida. Finalmente en la quinta y última fase se exponen los resultados.

El análisis del ciclo de vida puede ser:

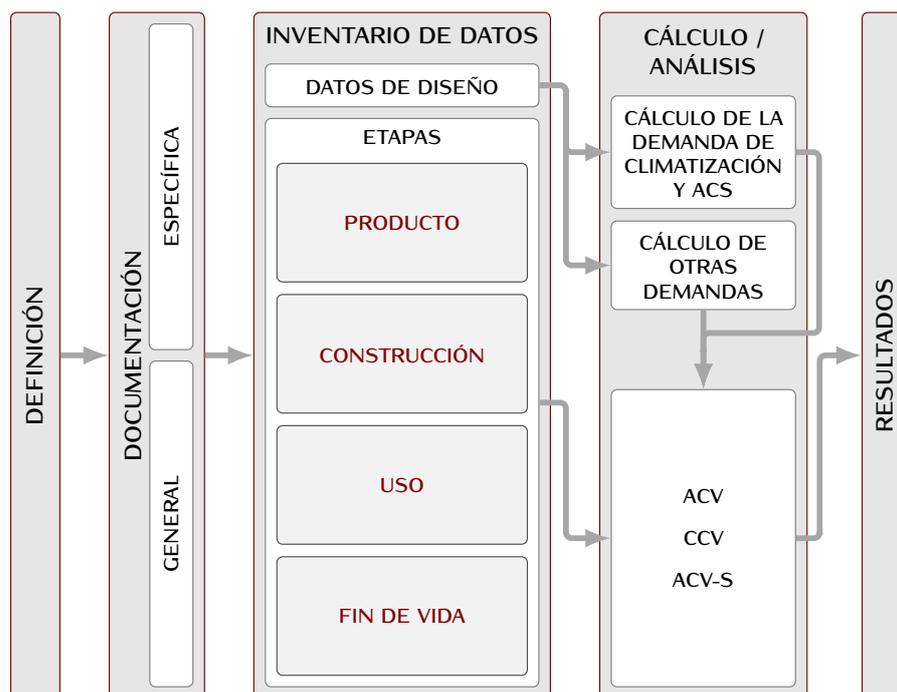


Fig. 3.1: Metodología. Esquema general

- *Ambiental*: Análisis de Ciclo de Vida (ACV)
- *Económico*: Coste de Ciclo de Vida (CCV)
- *Social*: Análisis de Ciclo de Vida Social (ACV-S)
- Una combinación de los anteriores

Fase de definición

El objetivo de la *fase de definición* es resolver todas las decisiones que se pueden dar en una evaluación de sostenibilidad en un edificio. Algunas de estas decisiones determinarán el proceso a realizar en la metodología en las siguientes fases.

Para poder ejecutar el resto de la metodología de una manera mecánica es necesario primero aislar y luego resolver todas las decisiones que se puedan dar en la evaluación del edificio. Al agrupar todas estas decisiones, muchas iteraciones y cambios que se pueden dar en un análisis de ciclo de vida se agrupan en esta fase.

Por tanto, en esta fase, se definen la aplicación prevista del estudio, los supuestos y limitaciones del estudio, los límites del sistema, la unidad funcional y las decisiones relacionadas con el análisis. Entre los supuestos está el alcance del estudio, la vida útil estimada del edificio, las etapas del ciclo de vida, las condiciones de contorno, el transporte, el escenario de fin de vida y, finalmente, las prospecciones.

Fase de documentación

En la *fase de documentación* se recoge toda la documentación que contenga información asociada directa o indirectamente con el edificio, como información técnica, económica, social y medioambiental. Esta fase ayuda a segregar funcionalmente las diferentes partes de la metodología, reuniendo todas las operaciones relacionadas con la recopilación de documentación en una fase inicial de la metodología. Se reúnen los documentos del proyecto, información general, e información específica que no está documentada en el proyecto.

Fase de inventario de datos

El objetivo de la *fase de inventario de datos* es extraer los datos necesarios de la documentación y organizarlos según el uso que se le dará en la siguiente *fase de cálculo y análisis*. Es un proceso exhaustivo que maneja los datos disponibles en la documentación y los transforma en información convenientemente asimilada para realizar los cálculos y análisis pertinentes.

Esta fase se encuentra dividida en dos partes diferenciadas. La primera parte es la de *datos de diseño*, que son aquellos datos que solo se utilizarán en los cálculos, ya que no se corresponden directamente a entradas ni salidas del sistema, pero que una vez transformados, se convertirán en una entrada del análisis. La segunda parte es la de *etapas*, formada por aquellos datos que se utilizarán en el análisis, ya separados en las correspondientes etapas del ciclo de vida.

En los *datos de diseño* se encuentran datos generales, la definición geométrica del edificio, la definición constructiva de los materiales, las especificaciones de climatización e iluminación, la definición técnica de las instalaciones y datos referentes a la climatología del emplazamiento. En la etapa de producto y construcción se extraerán datos del estado de mediciones. En la etapa de uso se extraerán datos sobre los aspectos energéticos del edificio, de su mantenimiento, rehabilitación y del transporte de usuarios. Finalmente en la etapa de fin de vida se extraerán datos relacionados con esta.

Fase de cálculo y análisis

En la *fase de cálculo y análisis* se utilizan los datos dispuestos en la *fase de inventario de datos* para calcular la energía operacional necesaria en la etapa de uso y para realizar el análisis de ciclo de vida.

A partir de los datos de diseño, se dispone de toda la información necesaria para realizar el cálculo de energía operacional. Los datos referentes a las etapas junto con los resultados del cálculo se utilizan para realizar el análisis.

En esta fase se describen el procedimiento general para realizar el cálculo y el procedimiento general para realizar el análisis.

Fase de resultados

El objetivo de la *fase de resultados* es establecer cómo mostrar los resultados obtenidos en las etapas anteriores.

Para poder comparar los resultados de este estudio con otros es necesario que exista cierto grado de transparencia y de trazabilidad. Es imprescindible exponer los datos relevantes y los resultados lo más desagregados posible.

En esta fase se muestran los contenidos de la definición y los resultados del análisis, desagregados por etapas. En la etapa de uso también se desagregan los resultados por aspectos ambientales y se separan las sub-etapas de mantenimiento y rehabilitación.

3.2 FASE DE DEFINICIÓN

El conjunto de documentos del proyecto y el resto de documentación con información relevante relacionada con el edificio, los materiales o la localización no serán suficientes para proporcionar toda la información necesaria para realizar los cálculos y los análisis. También es necesario realizar una serie de elecciones para completar esta falta de información, en especial aquellas sobre cómo se deben realizar los cálculos y los análisis. Para un mismo edificio, y para una misma documentación, se pueden realizar de distintas maneras tanto los cálculos de energía operacional como el análisis de ciclo de vida, económico y social. Cada manera producirá un resultado diferente, dependiendo especialmente de lo que se incluya o excluya dentro del sistema *edificio* y de los resultados que se quieran mostrar. En esta fase de la metodología se resolverán todas aquellas decisiones necesarias y que no se hallen en la documentación para realizar la evaluación de sostenibilidad del edificio, con el objetivo de resolver el resto de la metodología de una manera mecánica.

Las normativas ISO 14040:2006 e ISO/TS 21931-1:2006 requieren que se describan claramente en la documentación del método: el uso previsto, los resultados de la evaluación, el tipo y formato del informe, la declaración de supuestos y limitaciones, la definición de los límites del sistema, la unidad funcional, las fuentes de información y requisitos relativos a los datos, las categorías de impacto seleccionadas y el método de evaluación de impacto ambiental. La cantidad de decisiones que se han de efectuar son enormes, y se han agrupado en varias categorías.

La primera categoría está compuesta por definir la aplicación prevista, exponiendo las razones para realizarla y qué amplitud, profundidad y nivel de detalle debe tener. También se han de detallar los resultados que finalmente se mostrarán, a qué público y cómo se ha de presentar.

La segunda categoría está relacionada con la vida útil estimada del edificio, y el mantenimiento y rehabilitación previstos.

En la tercera categoría se definen las etapas del ciclo de vida, y qué procesos y operaciones de cada etapa se tendrán en cuenta.

En la siguiente categoría se define el transporte para materiales, instalaciones, residuos, trabajadores, maquinaria y usuarios, y si se hace de forma global, integrada o simplemente no se tiene en cuenta. También se definen los medios de transporte y las distancias medias.

La categoría de prospecciones define varios posibles escenarios futuros, basados en suposiciones como la eficiencia de equipos futuros y la generación más limpia de electricidad.

Las limitaciones pueden ser muchas y muy variadas, incidir en el estudio en general, en los cálculos o en los análisis ambientales, económicos o sociales. Es la categoría más abierta.

Los límites del sistema es la categoría más importante. Está determinada por muchos de los supuestos anteriores, como la vida útil, las etapas del ciclo de vida, el transporte y las limitaciones. También se define si se analiza todo el

edificio o parte de este, cuál es el criterio de corte para determinar las entradas y salidas relevantes, y qué procesos de construcción y otras actividades relacionadas con la construcción se tienen en cuenta.

También es muy importante definir la unidad funcional, que asegura la comparación de los resultados al normalizar los datos de entrada y salida. La unidad funcional generalmente depende de pocos parámetros, pero para la comparación rigurosa es necesario concretar muchos de ellos.

Las últimas categorías son las del análisis ambiental, económico y social. En ellas se definen qué datos se utilizan, qué categorías de impacto se van a tener en cuenta y con qué metodología se van a tratar.

3.2.1 Objetivo, alcance y resultados

Tanto la normativa ISO 14040:2006 como la ISO/TS 21931-1:2006 requieren que se defina la aplicación o uso previsto. Este define la naturaleza de la acción a realizar, como puede ser el diseño de una edificación nueva, o bien la rehabilitación, la deconstrucción, o simplemente la evaluación de un edificio existente.

Dentro del objetivo se deben exponer también cuáles son las razones para realizar el estudio.

Tal como sugiere la normativa ISO 14040:2006, se ha de definir bien el alcance para que la amplitud, profundidad y el nivel de detalle del estudio sean suficientes para alcanzar el objetivo establecido.

También se ha de definir a qué público está previsto divulgar los resultados.

Respecto a los resultados se ha de definir, cuáles son los resultados que se han de mostrar, y el tipo y formato del informe.

Para la definición del objetivo, del alcance y de los resultados, será necesario especificar los siguientes datos:

- Aplicación o uso previsto
- Justificación del estudio
- Alcance:
 - Amplitud del estudio
 - Nivel de detalle
- Público al que se mostrarán los resultados
- Resultados que se han de mostrar
- Tipo y formato del informe

Método

3.2.2 Vida útil estimada

A menudo se utiliza 50 años como valor por defecto para definir la vida útil estimada, debido a la imposibilidad de prever la duración de la vida real de un edificio. Se ha de tener en cuenta que la relación entre los impactos

de la etapa de uso y las etapas de producto y construcción depende de esta elección. Cuanto más corto sea el tiempo estimado elegido, más importante es el impacto de la etapa del producto. Probar diferentes valores de vida útil cuando se lleva a cabo el análisis a menudo proporciona información interesante (Malmqvist y col., 2011).

La normativa de sostenibilidad en construcción de edificios ISO/TS 21931-1:2006 no solo contempla la vida de servicio prevista del edificio, sino que también solicita la previsión de mantenimiento y reformas, enfocado especialmente al comportamiento medioambiental.

Para la definición de la vida útil y la previsión de mantenimiento y rehabilitación, será necesario especificar los siguientes datos:

- Vida útil estimada
- Estimación de mantenimiento
- Estimación de rehabilitación

Método

3.2.3 Etapas del ciclo de vida

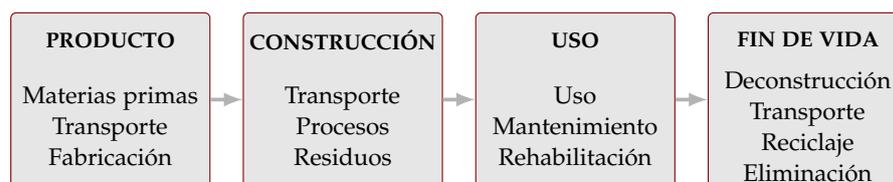


Fig. 3.2: Etapas del ciclo de vida de los edificios

El estándar en desarrollo preparado por el comité técnico CEN/TC 350 “Sostenibilidad de Obras de Construcción” recomienda la consideración de cuatro etapas en el ciclo de vida: etapa de producto (materias primas, suministro, transporte y fabricación), etapa de construcción (transporte y la instalación de la construcción en los procesos in situ), etapa de uso (mantenimiento, reparación, reposición, renovación y uso de energía: calefacción, refrigeración, ventilación, agua caliente, iluminación y uso de agua) y etapa fin de vida (deconstrucción, transporte, reciclaje, re-uso y eliminación) (Blengini y Di Carlo, 2010). En la figura 3.2 se muestran las cuatro etapas con los aspectos más importantes de cada etapa. La reciente norma europea (UNE-EN 15643-1:2010), fruto de este estándar en desarrollo, también se basa en estas cuatro etapas, si bien la etapa de producto y construcción están englobadas dentro de la etapa pre-uso, y la etapa de fin de vida es opcional.

En la *etapa de producto* se evalúa el consumo de materia y de energía asociados a la extracción de materias primas, la producción y la fabricación de los materiales y el transporte del producto final hasta el centro de distribución. Por tanto es equivalente a considerar que los productos que se utilizan en la construcción del edificio se les hace un análisis de la *cuna a la puerta*.

La *etapa de construcción* comprende la evaluación de los impactos durante la construcción del edificio. Los aspectos más importantes son los procesos de construcción, el transporte y la gestión de residuos de construcción. En transporte se incluye el transporte de los productos del centro de distribución hasta la obra y el transporte de los residuos de la obra hasta el centro de gestión de residuos.

La *etapa de uso* contiene todas las operaciones relacionadas que ofrecen un servicio a los usuarios del edificio. Es necesario definir qué aspectos energéticos se tienen en cuenta. Esta etapa también incluye las actividades de operación y mantenimiento, como: pintura, revestimiento de policloruro de vinilo (PVC), cambios de cocina, baño, techos y ventanas. Y además la posible futura rehabilitación del edificio.

A ser posible los aspectos energéticos deberían diferenciarse funcionalmente:

- Climatización: calefacción, ventilación y refrigeración
- Agua Caliente Sanitaria (ACS)
- Iluminación
- Otros: electrodomésticos, cocina, ascensores, regulación, bombeo...

La *etapa de fin de vida* comprende la energía consumida por la maquinaria utilizada durante la demolición. También considera la cantidad de residuos generados durante el desmantelamiento de los materiales de construcción originales, incluyendo su transporte al centro de tratamiento final. La descripción de esta etapa forma el escenario de fin de vida previsto.

La reciente directiva sobre los residuos (Directive 2008/98/EC) especifica que para antes del año 2020 debe reutilizarse, reciclarse o valorizar un mínimo del 70% de los materiales procedentes de la construcción y de las demoliciones.

Para la definición de las etapas del ciclo de vida, será necesario desarrollar y especificar:

- Etapas del ciclo de vida
- Procesos y operaciones para cada etapa del ciclo de vida

Ejemplo:

- Etapa de producto
 - Extracción de materias primas
 - Transporte
 - Fabricación
- Etapa de construcción
 - Transporte
 - Procesos de construcción
 - Gestión de residuos
- Etapa de uso
 - Uso
 - * Climatización: calefacción, refrigeración, ventilación
 - * ACS
 - * Iluminación
 - * Otros: electrodomésticos, cocina, etc.
 - Mantenimiento
 - Rehabilitación
- Etapa de fin de vida
 - Deconstrucción
 - Transporte a gestor de residuos de la construcción
 - Reciclado / Eliminación

Método

3.2.4 Materiales y procesos

En el análisis ambiental y en el análisis económico los materiales y los procesos pueden ser tratados de dos maneras: integrados en las partidas de obra o agregados de forma global. Si se integran en las partidas de obra habrá una mayor trazabilidad de los impactos especialmente si se integra de la misma manera el transporte. Si se añaden globalmente los datos permanecerán agregados y no se podrán relacionar con las partidas de obra.

Para la definición de materiales y procesos, será necesario especificar si los datos serán tratados de forma integrada o global:

- Materiales [*integrado* | *global*]
- Procesos [*integrado* | *global*]

Método

3.2.5 Transporte

El transporte es un aspecto que no se suele tener en cuenta en los estudios de construcción por su baja contribución a los impactos ambientales globales. Ortiz y col. (2009) estiman en un 1.1 % la proporción de este aspecto respecto al total para la categoría de impacto de cambio climático. Pero bien suma una parte no despreciable en el caso que se pretendan pormenorizar todos los impactos.

Chong y Hermreck (2010) concluyen en su estudio que el transporte de residuos de la construcción genera huellas significativas de energía asociadas con los impactos regionales. Y que la energía de transporte es importante en el cálculo de la energía incorporada.

En las etapas de construcción, mantenimiento, rehabilitación y fin de vida, el transporte se puede agrupar funcionalmente en:

- transporte de materiales
- transporte de instalaciones
- transporte de residuos
- transporte de trabajadores
- transporte de maquinaria e infraestructura de obra

El transporte de materiales e instalaciones, residuos y trabajadores se puede concebir de dos maneras: integrado en las partidas de obra, o calculado globalmente. Si el transporte se integra en las partidas de obra resulta en una mayor trazabilidad de los impactos, pudiendo saber en qué conceptos tienen más repercusión el transporte. Si se añade globalmente permite hacer una estimación más sencilla pero más somera.

El transporte de maquinaria, infraestructura y usuarios del edificio no suele formar parte de ninguna partida de obra, por tanto debe calcularse globalmente.

En la etapa de uso se debería incluir el transporte de usuarios del edificio y la influencia que tiene la localización (ISO/TS 21931-1:2006). Esta última, al tener en cuenta el transporte de los usuarios del edificio, puede suponer un cambio significativo en los impactos ambientales, sociales y económicos. Por ejemplo, en un estudio comparativo del emplazamiento del edificio en una ciudad con un buen transporte público o en una ubicación más aislada con una distancia de desplazamiento más grande y con la necesidad de utilizar transporte privado, debe haber sin duda una diferencia notable.

Las bases de datos de ACV suelen tener predefinidos una serie de transportes genéricos, como transporte en tren, camión en diferentes tonelajes (3.5 t, 7.5 t, 16 t, 28 t y 32 t), furgoneta y coche de pasajeros. Cada transporte genérico puede presentar variaciones según el tipo de combustible, el nivel de carga (lleno o vacío) y otras variables específicas de cada transporte.

Si no se dispone del medio de transporte en la base de datos, ya sea por utilizar un combustible o mezcla no procedente de energías fósiles, o de querer utilizar datos propios, se deberían calcular por una parte el total de

combustible necesario y por otro la amortización ambiental del vehículo. Para la estimación del combustible necesario es necesario definir el tipo de combustible y el consumo de combustible por 100km de desplazamiento. Y para una estimación básica de la amortización ambiental se necesita saber el peso del vehículo y la vida útil estimada en kilómetros.

Deberían crearse grupos que coincidan en distancia y medio de transporte. Por ejemplo, algunos materiales se transportan desde largas distancias en transporte pesado, y otros desde la misma localidad en transporte ligero. Estos materiales se deberían separar en dos grupos.

Para la definición del transporte, será necesario especificar los siguientes datos:

- Cálculo de transporte, cómo serán tratados los datos:
 - Materiales [*ninguno* | *integrado* | *global*]
 - Instalaciones [*ninguno* | *integrado* | *global*]
 - Residuos [*ninguno* | *integrado* | *global*]
 - Trabajadores [*ninguno* | *integrado* | *global*]
 - Maquinaria e infraestructura [*ninguno* | *global*]
 - Usuarios del edificio [*ninguno* | *global*]
- Definición de medio de transporte:
 - Tipo de combustible
 - Consumo específico de combustible [l/100km]
 - Peso del vehículo [kg]
 - Vida útil en kilómetros [km]
- Distancias y medio de transporte:
 - Materiales
 - Instalaciones
 - Residuos
 - Trabajadores
 - Maquinaria e infraestructura
 - Usuarios del edificio

Método

3.2.6 Prospecciones de energía e infraestructuras

Debido a la elevada vida útil estimada de un edificio, hacer suposiciones para algunas variables que duran 50 años puede llevar a resultados desacertados. No es baladí realizar algunas suposiciones sobre el futuro de varios aspectos del edificio, ya sea en su etapa de uso y, como no, en la de fin de vida.

Las fuentes no renovables se agotan y cada vez a un ritmo más acelerado. En medio siglo es de prever que tanto los precios de la energía como la combinación de fuentes de energía consumida sean muy diferentes a los actuales.

También existe el propósito de hacer los equipos y edificios cada vez más eficientes, por lo que la sustitución de los equipos en el futuro mejorará la eficiencia global del edificio, así como las rehabilitaciones que se hagan.

Asimismo el fin de vida del edificio puede verse afectado por nuevas tecnologías, nuevas reglamentaciones o nuevas necesidades que propicien más el reciclado o una gestión de la deconstrucción del edificio más correcta.

Lamentablemente existe una gran incertidumbre en todos los aspectos mencionados. La etapa con más incertidumbre es sin duda la etapa de fin de vida, por encontrarse más distante en el tiempo.

Se han de tener en cuenta previsiones para realizar estudios económicos que contemplen todas las etapas del ciclo de vida del edificio, ya que no son despreciables y juegan a favor de mejorar la eficiencia energética del edificio.

Para la definición de prospecciones de energía e infraestructuras, será necesario especificar:

- Escenario de cambio a tecnologías de mayor eficiencia energética y menores emisiones de dióxido de carbono (CO₂), por mantenimiento o rehabilitación
- Escenario de mejora de la combinación de energía para la producción de electricidad
- Escenario de fin de vida

Método

3.2.7 Limitaciones

Se deben documentar las limitaciones existentes tanto en el cálculo como en el análisis, así como su justificación. Cualquier carencia relevante en la fase de definición constituirá una limitación, como por ejemplo, no tener en cuenta algún tipo de transporte.

Será necesario especificar las limitaciones y su justificación

Método

3.2.8 Límites del sistema

Los límites del sistema determinan la separación entre el edificio y el medioambiente u otros sistemas de producto. También definen qué se incluye (cuáles son los procesos unitarios a ser incluidos en el sistema) y qué no se incluye en el análisis.

La normativa indica que las etapas del ciclo de vida deben incluirse dentro de los límites del sistema, así como las entradas y salidas y procesos unitarios que tengan importancia para los resultados del estudio (ISO 14044:2006), y que la evaluación debería incluir el edificio completo y su localización (ISO/TS 21931-1:2006).

El objeto del análisis debe ser el edificio, sus cimientos y obras externas dentro del área del emplazamiento del edificio, y los trabajos temporales relacionados con la construcción del edificio. Deberá incluir los impactos y los aspectos relacionados con el edificio, las instalaciones y los accesorios integrados en el edificio (UNE-EN 15643-1:2010).

Si la evaluación se limita a una parte del edificio o de una parte del ciclo de vida, o si los impactos relevantes no se abordan, deberá ser documentado, comunicado y justificado. Un caso concreto puede ser el de un análisis comparativo de varias alternativas de una solución constructiva del edificio, como puede ser la fachada. En este caso se ha de justificar la condición del análisis y cómo influye esta parte con el edificio. Se ha de tener en cuenta que es necesario realizar el cálculo energético para todo el edificio, ya que en este caso se comporta como un sistema. Sin embargo, se puede realizar el resto del análisis ambiental y el análisis económico e incluso social únicamente de las partes analizadas, siempre y cuando no tengan ninguna influencia sobre el resto.

Si se opta por hacer un estudio exhaustivo es esencial que el nivel de detalle sea máximo y contemple todas las partidas de obra. Sin embargo, se dan dos condicionantes que exhortan a aplicar un criterio de corte, siempre que se haga de una manera justificada y debidamente descrita (ISO 14040:2006). El primer condicionante es que aplicar la metodología sobre todas las partidas de obra puede ser una tarea ardua y consumidora de tiempo, especialmente si el grado de automatización de la tarea es bajo. El segundo condicionante es el hecho que no todas las partidas de obra tendrán una elevada significación en los impactos ambientales, por lo que es recomendable excluir las entradas y salidas que carecen de importancia para los resultados del estudio, como manifiestan las normativas ISO 14040:2006 e ISO 14044:2006.

En relación a las obras externas dentro del emplazamiento se debería definir qué se tendrá en cuenta. Por ejemplo, la grúa y las hormigoneras. Han de ser cuantificables y estimables, se ha de poder saber la cantidad de energía necesaria y para ello es necesario que se pueda medir.

Se deberían definir también las obras temporales, relacionadas con la construcción del edificio. Se califican como aquellas obras auxiliares que son necesarias solo para la construcción o deconstrucción del edificio y no para su uso. Como por ejemplo el montaje y desmontaje de andamios y plataformas no definitivas, el vallado provisional o la construcción de un almacén temporal.

La figura 3.3 muestra un ejemplo de esquema de las etapas del ciclo de vida y las actividades.

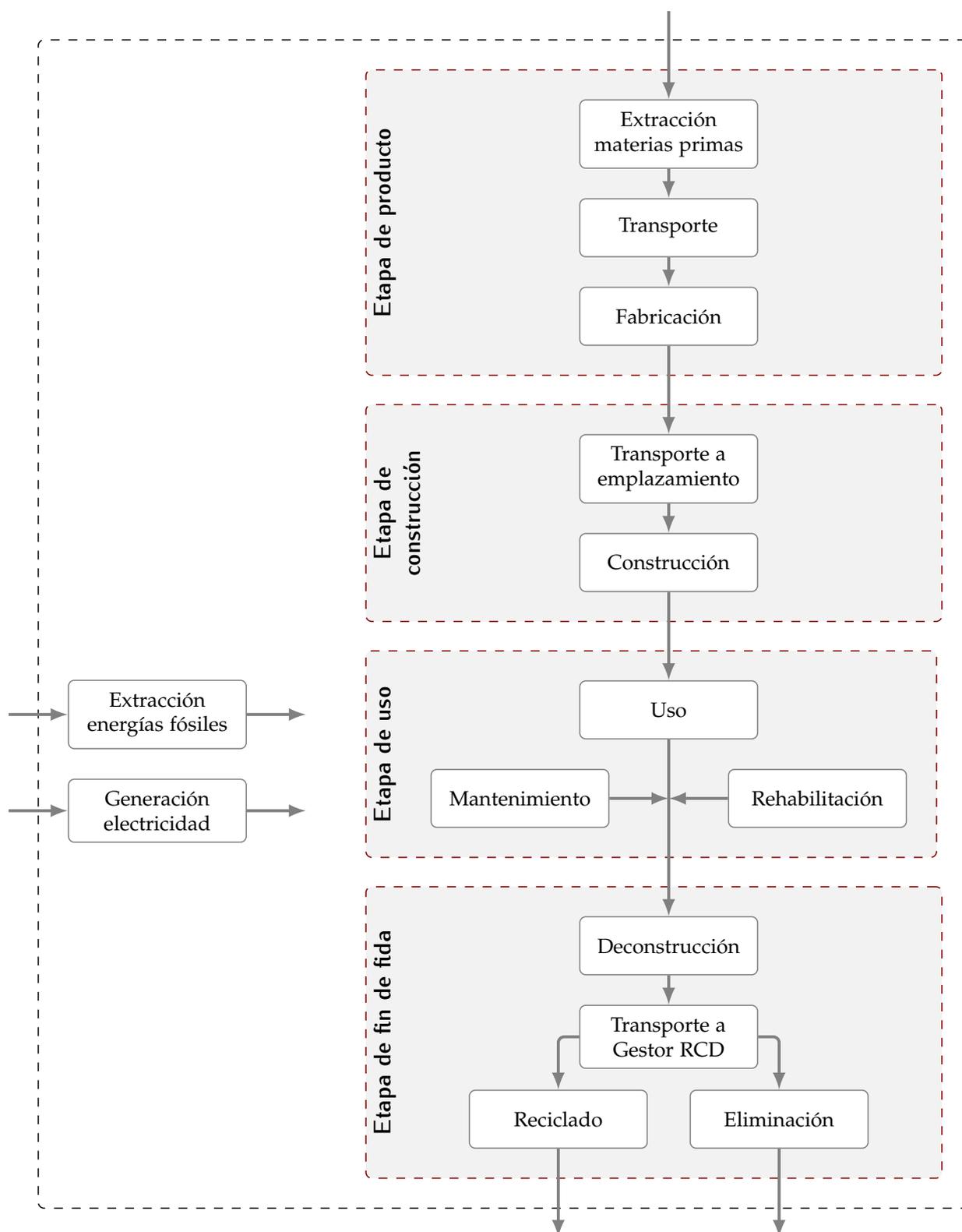


Fig. 3.3: Límites del sistema

Los límites del sistema se especifican mediante los siguientes factores, que se han definido previamente en la fase de definición:

- Vida útil estimada
- Etapas del ciclo de vida
- Transporte de materiales
- Transporte de usuarios del edificio
- Gestión de residuos
- Limitaciones de los atributos del edificio

Y los siguientes que deben definirse:

- Edificio completo y cimientos / Parte del edificio
- Criterio de corte
- Entradas y salidas relevantes según el criterio de corte
- Procesos de construcción dentro del emplazamiento
- Trabajos temporales relacionados con la construcción
- Otras actividades no incluidas

Método

3.2.9 Unidad funcional

La unidad funcional proporciona una referencia que asegura la comparación de los resultados del análisis, a partir de la cual se normalizan los datos de entrada y salida. Esta comparación es particularmente crítica cuando los edificios que se evalúan son diferentes (ISO 14040:2006; ISO/TS 21931-1:2006).

Según Hastings y Wall (2007), la unidad funcional de un edificio puede ser *residentes*, *apartamentos*, *superficie útil* o *superficie calefactada*. Para una escala de estructura urbana, es más apropiado utilizar residentes o apartamentos, pero se hace difícil la comparación entre edificios. Si se utiliza la superficie útil se da prioridad a las diferencias en el uso de material, y si se utiliza la superficie calefactada se da prioridad a las diferencias en el uso de energía operacional.

Si la unidad funcional está contemplada para el período de un año, debería proporcionarse la estimación de la vida útil del edificio. Pese a que no se indique, la unidad funcional depende de este valor. Por otra parte, sea cual fuere la unidad funcional escogida, aparte de los datos básicos de esta, deberían proporcionarse datos adicionales como la superficie total, útil y calefactada, volúmenes o alturas, el número de plantas, viviendas y residentes, e incluso la situación, la tipología y el uso del edificio. De esta manera se permite la conversión de los resultados para comparar con otras unidades funcionales diferentes.

Para la definición de la unidad funcional, será necesario especificar los siguientes datos:

- Datos generales:
 - Situación
 - Descripción del edificio
 - Tipología del edificio
 - Vida útil estimada
- Dimensiones generales:
 - Número de plantas, de viviendas y de residentes
 - Distribución y altura de cada planta
 - Superficie y volumen construidos, útiles y calefactados
- Especificaciones de climatización:
 - Espacios

Método

3.2.10 Cálculos

Los datos recabados tanto en la fase de definición como en la fase de documentación no serán suficientes para realizar directamente los análisis. Algunos datos tendrán que ser procesados, tanto sea de forma sencilla como compleja, para que sean utilizables posteriormente por los análisis.

Los cálculos más corrientes son aquellos relacionados con la demanda de energía, y esta demanda depende de una forma muy compleja de multitud de variables. Esto hace que generalmente sea necesario utilizar una aplicación para procesar todos los datos.

Para la definición de los cálculos, será necesario especificar:

- Cálculos a realizar
- Aplicaciones que se utilizarán

Método

3.2.11 Análisis ambiental

El análisis de ciclo de vida ambiental (ACV-A), normalmente denominado análisis de ciclo de vida (ACV), es una técnica que tiene como objetivo abordar los aspectos ambientales de un producto y los posibles impactos ambientales durante todo el ciclo de vida.

Para realizar un análisis ambiental es necesario determinar de qué datos se disponen, y qué categorías de impacto y método de evaluación de impacto ambiental se van a utilizar. También hace falta definir qué aplicación se utilizará.

Datos

Con el fin de cuantificar las entradas y salidas de la evaluación, es necesario disponer datos sobre como mínimo los materiales más cuantiosos, y es deseable también tener datos de los procesos, del transporte y de cómo se gestionarán los residuos. Preferiblemente, se deberían usar datos, si están disponibles, del edificio evaluado (ISO/TS 21931-1:2006). Si no es posible, podrán usarse datos apropiados para la localización del edificio, por ejemplo, buscando los datos necesarios en la literatura o utilizando una o más bases de datos. Las bases de datos varían de acuerdo con los usuarios, la aplicación, los datos, la localización geográfica y el alcance (Ortiz, Castells y Sonnemann, 2009).

Una razón para utilizar una base de datos es que reunir todos los datos necesarios puede llevar mucho tiempo y es un trabajo intensivo, en comparación con otras etapas de un ACV (Roy y col., 2009). Existen bases de datos que se han desarrollado con el objetivo de ayudar en la selección de materiales de construcción (López-Mesa y col., 2009).

Los requisitos de una base de datos para la construcción de edificios son:

- Deben contener datos referentes a la construcción
- Los conjuntos de datos de ACV deben ser transparentes, coherentes y de calidad controlada. Como sugieren Frischknecht y col. (2007a), estas características ayudan a aumentar la credibilidad y la aceptación de los resultados del análisis del ciclo de vida
- Datos de ámbito territorial idóneo para la localización del edificio. La *combinación de fuentes de energía* de la generación de electricidad suele estar definida para cada país. En cambio, los materiales y procesos suelen estar definidos para regiones muy concretas

A nivel internacional faltan bases de datos consistentes y revisadas por expertos de inventarios del ciclo de vida de productos relacionados con la construcción (Hastings y Wall, 2007).

Es favorable para la interpretación de los resultados la divulgación de cómo se ha realizado el ACV. En especial debe hacerse mención a la definición técnica de las instalaciones, el nivel de detalle en el que se han desarrollado las etapas de producto, construcción, mantenimiento y fin de vida, y finalmente, las consideraciones sobre el transporte.

Categorías de impacto

Una categoría de impacto es un grupo que representa los aspectos medioambientales de preocupación donde pueden ser asignados los resultados del inventario de ciclo de vida. Un ejemplo de categoría de impacto es el cambio climático, que es un aspecto medioambiental donde cada flujo elemental del inventario de ciclo de vida puede tener un cierto impacto.

El indicador de categoría es la representación cuantificable de una categoría de impacto. En el caso del cambio climático, este indicador es el forzamiento radiativo que se cuantifica como la tasa de cambio de energía por

área medida en la parte superior de la troposfera y se expresa en $[W/m^2]$ (IPCC, 2007b). Un forzamiento radiativo positivo contribuye a calentar la superficie de la Tierra, mientras que uno negativo favorece su enfriamiento.

El modelo de caracterización es un modelo matemático del impacto de flujos elementales respecto a un indicador de categoría. En el caso del cambio climático es el modelo propuesto por el grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático (IPCC).

El factor de caracterización es un factor derivado del modelo de caracterización que se aplica para convertir los resultados del inventario de ciclo de vida a la unidad común del indicador de categoría. Para el cambio climático se utiliza el potencial de calentamiento global (GWP).

Se distinguen categorías de impacto a dos niveles, las de punto intermedio y las de daño. Las categorías de punto intermedio representan aspectos ambientales de interés a los que se pueden asignar los resultados del Inventario de Ciclo de Vida (ICV). Las categorías de daño representan daños en áreas de protección a las que las categorías de punto medio pueden ser asignadas (UNEP, 2005).

Las categorías de punto intermedio pueden agruparse en tres áreas: recursos naturales y uso del suelo, impactos tóxicos e impactos transfronterizos. El primer grupo incluye recursos acuíferos, terrestres, minerales y bióticos, también incluye erosión, uso del suelo, salinización y desecación. El grupo de impactos tóxicos contiene las categorías de ecotoxicidad, toxicidad humana y categorías relacionadas con la salud humana. El último grupo incluye el cambio climático, la disminución de la capa de ozono, acidificación, y eutrofización acuática y terrestre.

Las categorías de daño representan cambios en la calidad del medio ambiente o en la salud humana. Como pasa en las categorías de punto intermedio, cada método de evaluación de impacto define varias categorías de daño a las que las categorías de punto intermedio son asignadas. Un ejemplo de categorías de daño es el siguiente: salud humana, recursos abióticos naturales, medio ambiente biótico natural, medio ambiente abiótico natural, medio ambiente biótico y abiótico artificial (UNEP, 2005).

La normativa ISO/TS 21931-1:2006 indica qué aspectos medioambientales de relevancia están relacionados con los impactos medioambientales en la edificación, cuáles deben ser incluidos siempre: cambio climático y destrucción de la capa de ozono; y cuáles deben ser incluidos si tienen relevancia: destrucción de recursos no renovables, formación de agentes contaminantes, formación de oxidantes fotoquímicos, eutrofización y acidificación de la tierra y las fuentes de agua.

Metodología de evaluación de impacto ambiental

Una metodología de evaluación de impacto ambiental se refiere a un conjunto de modelos o métodos de caracterización, que en su conjunto abordan las diferentes categorías de impacto cubiertas por la metodología.

Hay numerosas metodologías de evaluación de impacto ambiental: CML 2002, Eco-indicador 99, Eco-Indicator 99, Ecological Footprint, Ecological Scarcity, EDIP 2003, EPS 2000, Impact 2002+, LIME, LUCAS, MEEuP, ReCiPe, Swiss Critical Volume approach y TRACI, entre otros. Estas metodologías se pueden clasificar según dos líneas metodológicas conforme el tipo de análisis de los impactos. Por análisis de impacto clásico, donde las cargas ambientales se clasifican en categorías de impacto y se caracterizan mediante una sustancia de referencia. Y por análisis de daño o efecto, donde se clasifican los resultados obtenidos en la caracterización en daños o efectos como por ejemplo, las afecciones a la salud humana, al ecosistema y al agotamiento de recursos. Hay metodologías, como IMPACT 2002+ y Lime que reúnen las ventajas de las dos líneas.

Para la definición del análisis ambiental, será necesario especificar los siguientes datos:

- Aplicación que se utilizará para el análisis
- Datos propios, si existen
- Fuente de los datos que se utilizan
- Categorías de impacto
- Metodología de evaluación de impacto ambiental

Método

3.2.12 Análisis económico

El coste de ciclo de vida (CCV) es un análisis de todos los costes relacionados con un producto o servicio a lo largo de todo su ciclo de vida. El motivo es que, para muchos productos y servicios, el coste inicial refleja solo una parte de los costes totales, y además, el coste de uso depende de muchas decisiones que se toman en el diseño. Es decisiva la definición de las categorías de costes, los procedimientos de medida de los costes, el establecimiento de los límites del sistema y decisiones como la tasa de descuento.

La combinación del CCV y el ACV-A es atractiva, ya que comparten materiales y procesos. Y no solo eso, en un proyecto de construcción los costes están perfectamente detallados, y la metodología propuesta permite realizar el análisis económico a la vez y de una forma análoga que el análisis ambiental.

Los límites del sistema del CCV deben ser equivalentes a los del ACV-A. A menudo no son idénticos, ya que la etapa de diseño, la planificación y la gestión tienen costes relevantes y deberán ser tenidos en cuenta aunque no haya una parte significativa de impactos ambientales.

Para la definición del análisis económico, será necesario especificar:

- Descripción de cómo se realizará el análisis
- Aplicación que se utilizará para el análisis
- Tasa de descuento

Método

3.2.13 Análisis social

Un análisis de ciclo de vida social (ACV-S) es una técnica de análisis de impacto social que tiene como objetivo analizar los aspectos sociales y socio-económicos de productos y servicios y sus posibles efectos, positivos y negativos, a lo largo de todo su ciclo de vida. El ACV-S se complementa con el CCV en los aspectos socio-económicos. Se puede aplicar independientemente o en combinación con el CCV.

El ACV-S ofrece información sobre aspectos sociales y socio-económicos para la toma de decisiones, estimulando el diálogo sobre los aspectos sociales y socio-económicos de producción y consumo, en la perspectiva de mejorar el rendimiento de las organizaciones y en última instancia, el bienestar de los interesados (UNEP, 2009)

Para la definición del análisis social, será necesario especificar:

- Descripción de cómo se realizará el análisis
- Aplicación que se utilizará para el análisis

Método

3.3 FASE DE DOCUMENTACIÓN

En el diseño de un edificio se genera documentación, que es necesaria para hacer posible la realización del proyecto de edificación. Los documentos directamente relacionados con el proyecto son la memoria del proyecto, los planos, los anejos y la memoria medioambiental y el estado de mediciones. En estos documentos se halla gran parte de la información necesaria para hacer la recopilación de datos. Sin embargo, también se deberá consultar otros documentos, como normativa, prontuarios, manuales técnicos de equipos, atlas solares, información meteorológica, entre otros.

El proyecto de construcción es el conjunto de documentos mediante los cuales se definen y determinan las exigencias técnicas de las obras contempladas, y en el que se justifican técnicamente las soluciones propuestas de acuerdo con las especificaciones requeridas por la normativa técnica aplicable.

En construcción existen dos tipos de proyecto, según el grado de amplitud. El proyecto básico que es suficiente para solicitar la licencia municipal de obras, las concesiones u otras autorizaciones administrativas, pero que es insuficiente para iniciar la construcción del edificio. En este se definen de modo preciso las características generales de la obra, mediante la adopción y justificación de soluciones concretas. El proyecto de ejecución complementa al proyecto básico y contiene todo lo necesario para realizar las obras, como la determinación completa de detalles y especificaciones de todos los materiales, elementos, sistemas constructivos y equipos, definiendo la obra en su totalidad.

La documentación se puede diferenciar en dos categorías. Una categoría contiene la documentación del proyecto, con los documentos que están hechos expresamente para el edificio en estudio. Y otra categoría con información general, en cuyos documentos la información está relacionada con los materiales, el entorno del edificio y la legislación vigente.

La memoria y sus anejos, como el estudio de impacto ambiental y el estudio de seguridad y salud, forman parte de la documentación del proyecto. También lo son los planos, el pliego de condiciones, el estado de mediciones, el presupuesto, el manual de uso y mantenimiento y otros documentos relacionados directamente con el edificio.

En la documentación general se encuentran las normativas, manuales técnicos, datos de materiales, prontuarios, atlas solares, registros climatológicos y datos estadísticos, entre otros.

En este apartado se describe cada uno de estos documentos, qué funciones tienen y qué datos se pueden encontrar en estos.

3.3.1 Memoria

La memoria es el documento que describe el proyecto. Debe tratar todos los puntos importantes del proyecto de una forma clara, concisa y estructurada.

Se deben mostrar los resultados, pero sin entrar en detalles ni cálculos técnicos, que se dispondrán en los anejos. Se divide en memoria descriptiva y en memoria constructiva. El código técnico de la edificación (MdV, 2009a) especifica en detalle el contenido de la memoria.

La memoria descriptiva es la parte que sintetiza el proyecto y describe los datos más importantes de la obra. Contiene la siguiente información: agentes de la edificación, información previa, descripción del proyecto y prestaciones del edificio. Todos estos apartados son obligatorios en un proyecto básico.

En referencia a los agentes, se debe proporcionar información sobre el promotor, arquitecto o proyectista, director de obra, director de la ejecución de la obra y otros técnicos que intervienen en la obra.

La información previa comprende antecedentes y condicionantes de partida, datos del emplazamiento, entorno físico, normativa urbanística, otras normativas y en caso de rehabilitación, reforma o ampliación, datos del edificio e informes realizados. En los antecedentes se justifican las causas y motivos para realizar la obra, y también se citan estudios y trabajos previos ya existentes.

En la descripción del proyecto se realiza la descripción general del edificio, la descripción de usos y necesidades y la relación con el entorno. También se incluye el cumplimiento del código técnico de la edificación y otras normativas específicas, como normas urbanísticas y ordenanzas municipales. Se encuentra una descripción de la geometría del edificio, volúmenes, superficies útiles y construidas, accesos y evacuación, una descripción general de la cimentación, estructura portante y estructura horizontal, el sistema de compartimentación, el sistema envolvente, el sistema de acabados, el sistema de acondicionamiento ambiental y el de servicios.

Sobre las prestaciones del edificio, se indicarán los requisitos básicos en relación con las exigencias básicas del código técnico de la edificación. También se establecerán las limitaciones de uso del edificio en su conjunto y de cada una de sus dependencias e instalaciones.

La memoria constructiva es la parte que describe las posibles soluciones alternativas y justifica las razones de porqué se ha elegido una solución determinada. También define los materiales que se van a emplear para ejecutar el proyecto. Contiene los siguientes capítulos: sustentación del edificio, sistema estructural, sistema envolvente, sistema de compartimentación, sistemas de acabados, sistemas de acondicionamiento e instalaciones y equipamiento.

En cualquier proyecto de construcción es necesario tener en cuenta las distintas alternativas existentes. Este aspecto requiere especial importancia en los proyectos que buscan minimizar el impacto ambiental, ya que hay múltiples variables a analizar. Las alternativas más comunes son la ubicación del edificio, los materiales a utilizar, las instalaciones y los procesos constructivos. Aunque también se puede considerar el escenario de fin de vida.

Datos que se utilizarán en el inventario de datos (General):

- Descripción general del edificio (geometría, volúmenes, superficies)
- Descripción del entorno del edificio
- Descripción de los usos y necesidades
- Nombre del proyecto.
- Datos que definan la situación y orientación del edificio, como la dirección, su longitud y latitud, y la altura sobre el nivel del mar.
- Descripción del edificio. Tipología del edificio. Y una pequeña descripción a modo de resumen del edificio y sus características más principales.
- Descripción del entorno. La situación, forma y dimensiones de aquellos obstáculos remotos que puedan arrojar sombra sobre los cerramientos exteriores del edificio.
- Dimensiones generales:
 - Número de plantas, de viviendas y de residentes
 - Distribución y altura de cada planta
 - Superficie y volumen: construidos, útiles y calefactados
- Zona climática

Método

Datos que se utilizarán en el inventario de datos (Usos y espacios):

- Espacios:
 - Áreas y sus respectivos usos
- Descripción de los usos
- Necesidad de ventilación, calefacción, refrigeración, ACS e iluminación
- Intensidad horaria (verano/invierno, día/noche, diario/fin de semana, 8h/12h/16h/24h)
- Temperaturas de consigna de calefacción, de refrigeración y de ACS
- Si son habitables o no habitables En el caso de ser habitables también se debe indicar:
 - Si son de baja o de alta carga interna
 - La clase de higrometría, o en su defecto la temperatura y la humedad relativa media mensual de dicho espacio para todos los meses del año
- Número de renovaciones por hora

Método

Datos que se utilizarán en el inventario de datos (Instalaciones):

- Descripción del tipo de instalación
- Disposición (central, distribuido)
- Gestión y control
- Fuente de energía
- Capacidad nominal
- Rendimiento
- Eficiencia en función de la carga y otros parámetros
- Aislamiento térmico y acústico
- Otras características

Método

3.3.2 Anejos

El objetivo de los anejos es recoger toda la información técnica y los cálculos necesarios para la justificación de las soluciones adoptadas. En general son informaciones que no es necesario consultar con frecuencia para ejecutar el proyecto, pero facilitan la comprensión de la memoria y se acostumbran a escribir en lenguaje técnico. El proyecto contendrá tantos anejos como sean necesarios para la definición y justificación de las obras.

Dentro de los anejos se puede encontrar: estudio geotécnico, cálculo de la estructura, protección contra el incendio, instalaciones del edificio, eficiencia energética, estudio de impacto ambiental, plan de control de calidad y estudio de seguridad y salud.

Datos que se utilizarán en el inventario de datos:

- Información detallada de instalaciones

Método

3.3.3 Manual de uso y mantenimiento

El mantenimiento consiste en un conjunto de actividades llevadas a cabo en los sistemas constructivos, en los materiales que lo componen y en las instalaciones con el fin que cumplan con las exigencias establecidas. Estas tareas o instrucciones de mantenimiento deben ser las adecuadas para cada edificio. Por lo tanto son distintas en cada caso y además se deben realizar de forma periódica. Las tareas, entre otro tipo de actividades pueden ser de limpieza, inspección, revisión, reparación o sustitución.

En el manual de uso y mantenimiento se describen las tareas de mantenimiento, así como el momento de realizarlas.

Datos que se utilizarán en el inventario de datos:

- Tareas de mantenimiento y su cronología

Método

3.3.4 Estudio de seguridad y salud

El estudio de seguridad y salud en el trabajo se dispone como un anejo a la memoria y está regulado por el Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y de salud en obras de la construcción.

En este documento se deben precisar las normas de seguridad y salud aplicables a la obra, indicar los riesgos laborales previsibles durante la realización del proyecto y establecer las medidas correctoras para evitarlos.

Datos que se utilizarán en el inventario de datos:

- Limitaciones de funcionamiento de la obra
- Elementos de seguridad

Método

3.3.5 Estudio de impacto ambiental

Igual que el estudio de seguridad y salud, el estudio de impacto ambiental forma parte de los anejos a la memoria. Es un estudio técnico, que se realiza a fin de predecir los impactos ambientales que pueden ocasionarse de la ejecución de un proyecto. Se justificarán los posibles impactos positivos y negativos, y en caso de que se prevean impactos negativos importantes, se propondrán medidas correctoras.

Datos que se utilizarán en el inventario de datos:

- Información sobre impactos

Método

3.3.6 Pliego de condiciones

El pliego de condiciones es un documento contractual, formado por un conjunto de artículos o cláusulas que regulan los derechos, las obligaciones y las garantías mutuas entre las partes que intervienen en la ejecución de la obra. Se divide en pliego de cláusulas administrativas y en pliego de condiciones técnicas particulares.

En el pliego de cláusulas administrativas, se encuentran: las disposiciones generales, que regulan la forma de hacer el contrato y la rescisión del mismo; las disposiciones facultativas, que regulan las relaciones entre los agentes de la construcción que intervienen en la ejecución de la obra; y las disposiciones económicas, que regulan las condiciones de índole económica, como los abonos de los trabajos, fianzas, liquidaciones, indemnizaciones, revisión de precios, etc.

En el pliego de condiciones técnicas particulares, se encuentran: las prescripciones sobre los materiales, que especifican las características técnicas mínimas que deben reunir los productos, equipos y sistemas que se incorporen a las obras; las prescripciones en cuanto a la ejecución por unidades

de obra, que especifican las características técnicas de cada unidad de obra indicando su proceso de ejecución; y las prescripciones sobre verificaciones en el edificio terminado.

Datos que se utilizarán en el inventario de datos:

- Prescripciones sobre los materiales:
 - Características técnicas mínimas de productos
 - Características técnicas mínimas de equipos
 - Características técnicas mínimas de sistemas
- Prescripciones sobre la ejecución de unidades de obra:
 - Características técnicas de unidades de obra
 - Proceso de ejecución

Método

Datos que se utilizarán en el inventario de datos sobre cerramientos, huecos y puentes térmicos:

- Cerramientos:
 - Absortividad de la superficie exterior frente a la radiación solar (si el cerramiento está en contacto con el exterior)
 - Factor de temperatura de la superficie interior (si el cerramiento no tiene capa aislante)
 - Para cada capa deben especificarse:
 - * Nombre de la capa
 - * Orden de la capa dentro del elemento constructivo
 - * Material
 - * Espesor d [m]
 - * Propiedades térmicas definidas por la resistencia térmica R [$\text{m}^2 \text{K}/\text{W}$], su inversa la transmitancia térmica [$\text{W}/\text{m}^2 \text{K}$] o bien por otras características
- Huecos:
 - Transmitancia térmica del acristalamiento U_a [$\text{W}/\text{m}^2 \text{K}$]
 - Transmitancia térmica del marco U_m [$\text{W}/\text{m}^2 \text{K}$]
 - Factor solar del acristalamiento g
 - Factor corrector de la transmitancia para persianas o cortinas exteriores
 - Permeabilidad al aire de las carpinterías de los huecos (para una sobrepresión de 100 Pa) [$\text{m}^3/\text{h m}^2$]
- Puentes térmicos:
 - Porcentaje del área de hueco ocupado por la parte opaca
 - Transmitancia térmica lineal [$\text{W}/\text{m K}$]
 - Factor de temperatura superficial
 - Tratamiento de los puentes térmicos

Método

3.3.7 Estado de mediciones

El estado de mediciones es el documento que define todas las unidades o partidas de obra que son necesarias para la ejecución del proyecto. Contiene todas las descripciones necesarias y las medidas, que definen con total precisión la cantidad. El estado de mediciones servirá como base para elaborar luego el presupuesto.

Las unidades o partidas de obra son partes de una obra que se miden y valoran de forma independiente en función de una misma unidad de medida. Por ejemplo, una pared divisoria de 14 cm de ladrillo hueco doble, cuya unidad de medida es superficie de pared [m²].

Se ordenan por capítulos, que representan una fase de obra concreta, y se procura que el orden coincida con el desarrollo de la ejecución de la obra. En la tabla 3.1 se muestra un ejemplo de los capítulos de un estado de mediciones.

Tabla 3.1: Capítulos a modo de ejemplo del estado de mediciones (Montajes e instalaciones, 2005)

Capítulo	Descripción
Capítulo I	Movimiento de tierras
Capítulo II	Saneamiento
Capítulo III	Cimentación
Capítulo IV	Estructura
Capítulo V	Albañilería
Capítulo VI	Fachadas
Capítulo VII	Cubiertas
Capítulo VIII	Solados
Capítulo IX	Revestimientos verticales
Capítulo X	Carpintería metálica
Capítulo XI	Carpintería de taller
Capítulo XII	Cerrajería
Capítulo XIII	Vidrio
Capítulo XIV	Pintura
Capítulo XV	Muebles de cocina
Capítulo XVI	Electricidad
Capítulo XVII	Fontanería y aparatos sanitarios
Capítulo XVIII	Calefacción
Capítulo XIX	Aire acondicionado
Capítulo XX	Ascensores
Capítulo XXI	Varios

Las unidades o partidas de obra pueden ser elementos unitarios, elementos complejos, o incluso, elementos funcionales, que son una agrupación de elementos unitarios o complejos. En las mediciones se cuantifican generalmente las unidades o partidas de obra a través de los planos y el pliego de

condiciones. A veces, por la dificultad de determinar ciertas mediciones de algunas unidades de obra, estas se disponen en forma de partida alzada, y se han de justificar en el proyecto.

Datos que se utilizarán en el inventario de datos:

- Materiales
- Procesos
- Transporte
- Residuos
- Mano de obra
- Cerramientos, huecos y puentes térmicos (Ver: Pliego de condiciones)

Método

3.3.8 Presupuesto

El presupuesto es un documento de naturaleza económica en el que se cuantifican y valoran las unidades o partidas de obra para la realización del proyecto.

Un presupuesto contiene las mediciones, el cuadro de precios y el presupuesto de ejecución material. Los cuadros de precios son listas de todas las unidades de obra con el precio fijado. El presupuesto de ejecución material es el resultado obtenido por la suma de los productos de la medición de cada unidad de obra por su precio unitario, más el de las partidas alzadas. También es posible que hayan dos cuadros de precios, el número 1 con el precio total de cada unidad de obra y el número 2 con los precios descompuestos en las partes que lo forman (materiales, mano de obra, combustible, amortización de la maquinaria, etc.).

El cálculo de los precios de las distintas unidades de obra se basa en la determinación de los costes directos e indirectos precisos para su ejecución. Como costes directos se encuentran: los materiales (a pie de obra), la mano de obra que interviene directamente (con pluses, cargas y seguros sociales), la energía o combustible que necesite la maquinaria e instalaciones, así como los gastos de amortización y conservación de estas. Como costes indirectos se encuentran: personal técnico y administrativo adscrito a la obra, estructuras e instalaciones temporales a pie de obra, y todos aquellos elementos necesarios para la obra que no se encuentren valorados en unidades de obra.

Datos que se utilizarán en el inventario de datos:

- Precios de materiales
- Precios de mano de obra
- Precios de energía o combustible
- Gastos de amortización
- Costes indirectos

Método

Tabla 3.2: Tipos de planos (Real Decreto 314/2006)

Plano	Descripción
Situación	Referido al planeamiento vigente, con referencia a puntos localizables y con indicación del norte geográfico
Emplazamiento	Justificación urbanística, alineaciones, retranqueos, etc.
Urbanización	Red viaria, acometidas, etc.
Plantas generales	Acotadas, con indicación de escala y de usos, reflejando los elementos fijos y los de mobiliario cuando sea preciso para la comprobación de la funcionalidad de los espacios
Cubiertas	Pendientes, puntos de recogida de aguas, etc.
Alzados y secciones	Acotados, con indicación de escala y cotas de altura de plantas, gruesos de forjado, alturas totales, para comprobar el cumplimiento de los requisitos urbanísticos y funcionales
Estructura	Descripción gráfica y dimensional de todo del sistema estructural (cimentación, estructura portante y estructura horizontal). En los relativos a la cimentación se incluirá, además, su relación con el entorno inmediato y el conjunto de la obra
Instalaciones	Descripción gráfica y dimensional de las redes de cada instalación, plantas, secciones y detalles
Definición constructiva	Documentación gráfica de detalles constructivos
Memorias gráficas	Indicación de soluciones concretas y elementos singulares: carpintería, cerrajería, etc.

3.3.9 Planos

Los planos son documentos que expresan de una forma gráfica las transformaciones que se pretenden realizar en el proyecto. El proyecto contendrá tantos planos como sean necesarios para la definición en detalle de las obras. En caso de obras de rehabilitación se incluirán planos del edificio antes de la intervención. En el código técnico de la edificación se definen los tipos posibles de planos, como se puede ver en la tabla 3.2. Un proyecto básico debe contener el plano de situación, emplazamiento, urbanización, las plantas generales, los alzados, las secciones y las cubiertas.

Los planos deben servir para definir de manera exacta, completa y sin ambigüedades todas y cada una de las transformaciones, de manera que cualquier técnico sea capaz de interpretar los planos y que los responsables de la ejecución sean capaces de hacer su trabajo sin necesidad de aclaraciones. Se han de poder medir y presupuestar las distintas unidades de obra.

Datos que se utilizarán en el inventario de datos:

- Plantas, cubiertas, alzados, secciones
- Dimensiones generales:
 - Número de plantas, de viviendas y de residentes
 - Distribución y altura de cada planta
 - Superficie y volumen: construidos, útiles y calefactados
- Espacios:
 - Áreas y sus respectivos usos
- Cerramientos. Deben especificarse, tanto para los espacios habitables como los no habitables:
 - La situación
 - La forma
 - Las dimensiones
 - La orientación
 - La inclinación
 - El tipo de contacto: con aire, con el terreno, o con otros edificios
- Huecos y obstáculos de la fachada que afectan a estos:
 - La situación
 - La forma
 - Las dimensiones
- Puentes térmicos:
 - La longitud

Método

3.3.10 Normativa

El *Código Técnico de la Edificación*, aprobado por el Real Decreto 314/2006 y atendiendo a los requisitos básicos de la edificación establecidos en la LEY 38/1999 de ordenación de la edificación, es un instrumento normativo que tiene el objetivo de fijar las exigencias básicas de calidad de los edificios y sus instalaciones para asegurar la seguridad de las personas, el bienestar de la sociedad, la mantenibilidad de la edificación y la protección del medio ambiente. La seguridad y el bienestar de las personas, se refieren tanto a la seguridad estructural y de protección contra incendios, como a la salubridad, la protección contra el ruido, el ahorro energético o la accesibilidad para personas con movilidad reducida.

La *Instrucción de hormigón estructural (EHE-08)*, aprobada por el Real Decreto 1247/2008, es el marco en el que se establecen los requisitos a tener en cuenta en el proyecto y ejecución de estructuras de hormigón, tanto de edificación como de ingeniería civil, con el objeto de lograr los niveles de seguridad adecuados a su finalidad.

El *Procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios de nueva construcción*, aprobado por el Real Decreto 47/2007, consiste en establecer el procedimiento básico que debe cumplir la metodología de cálculo de la calificación de eficiencia energética, considerando aquellos factores

que más incidencia tienen en el consumo de energía de los edificios. También se establecen en el mismo las condiciones técnicas y administrativas para las certificaciones de eficiencia energética de los proyectos y de los edificios terminados. El certificado deberá incluir información objetiva sobre las características energéticas de los edificios de forma que se pueda valorar y comparar su eficiencia energética, con el fin de favorecer la promoción de edificios de alta eficiencia energética y las inversiones en ahorro de energía.

El *Programa informático Calener* es una herramienta promovida por el (MITyC, 2010), a través del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) y por el Ministerio de Vivienda, que permite determinar el nivel de eficiencia energética correspondiente a un edificio. Para poder utilizar otras herramientas es necesario cumplir el *Documento de condiciones de aceptación de Programas Informáticos Alternativos* (MITyC, 2007b).

También es posible utilizar una opción simplificada para certificar un edificio. El documento que describe y justifica las soluciones adoptadas por el procedimiento simplificado para determinar la calificación de eficiencia energética correspondiente a los edificios de vivienda que cumplen estrictamente con la opción simplificada de la Sección HE-1 del Código Técnico de la Edificación es la *Memoria de Cálculo correspondiente a la Opción Simplificada para la Calificación de Eficiencia Energética de Edificios de Viviendas* (MITyC, 2007c). Para poder utilizar otras herramientas es necesario cumplir el *Documento de condiciones de aceptación de opciones simplificadas alternativas* (MITyC, 2007a).

El *Reglamento de instalaciones térmicas en los edificios*, aprobado por el Real Decreto 1027/2007, tiene por objeto establecer las exigencias de eficiencia energética y seguridad que deben cumplir las instalaciones térmicas en los edificios destinadas a atender la demanda de bienestar e higiene de las personas, durante su diseño y dimensionado, ejecución, mantenimiento y uso, así como determinar los procedimientos que permitan acreditar su cumplimiento. Este reglamento se desarrolla con un enfoque basado en prestaciones u objetivos, es decir, expresando los requisitos que deben satisfacer las instalaciones térmicas sin obligar al uso de una determinada técnica o material, ni impidiendo la introducción de nuevas tecnologías y conceptos en cuanto al diseño, frente al enfoque tradicional de reglamentos prescriptivos que consisten en un conjunto de especificaciones técnicas detalladas que presentan el inconveniente de limitar la gama de soluciones aceptables e impiden el uso de nuevos productos y de técnicas innovadoras.

El objeto del documento *Instalaciones de Energía Solar Térmica. Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura* (IDAE, 2009b) es fijar las condiciones técnicas mínimas que deben cumplir las instalaciones solares térmicas para calentamiento de líquido, especificando los requisitos de durabilidad, fiabilidad y seguridad. El ámbito de aplicación de este documento se extiende a todos los sistemas mecánicos, hidráulicos, eléctricos y electrónicos que forman parte de las instalaciones.

Las *Disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción*, establecidas por el Real Decreto 1627/1997, es una norma reglamentaria que fija y concreta los aspectos más técnicos de las medidas preventivas para

garantizar la protección de la salud y la seguridad de los trabajadores del sector de la construcción.

La *Producción y gestión de los residuos de construcción y demolición*, regulada por el Real Decreto 105/2008, tiene por objeto establecer el régimen jurídico de la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición, con el fin de fomentar, por este orden, su prevención, reutilización, reciclado y otras formas de valorización, asegurando que los destinados a operaciones de eliminación reciban un tratamiento adecuado, y contribuir a un desarrollo sostenible de la actividad de construcción.

Datos que se utilizarán en el inventario de datos (I):

- Exigencias básicas de seguridad estructural, de seguridad en caso de incendio, de seguridad de utilización, de salubridad, de protección frente al ruido y de ahorro de energía (Real Decreto 314/2006)
- Requisitos del hormigón sobre seguridad y funcionalidad estructural, seguridad en caso de incendio, higiene, salud y protección del medio ambiente. Exigencias del hormigón sobre resistencia y estabilidad de la estructura, aptitud al servicio, resistencia de la estructura frente al fuego y calidad medioambiental de la ejecución (Real Decreto 1247/2008)

Método

Datos que se utilizarán en el inventario de datos (II):

- Exigencias técnicas. Condiciones para la ejecución de las instalaciones, para la puesta en servicio de la instalación y para el uso y mantenimiento de la instalación. Instrucciones técnicas: exigencia de bienestar e higiene, exigencia de eficiencia energética, exigencia de seguridad, montaje, mantenimiento y uso e inspecciones periódicas de eficiencia energética (Real Decreto 1027/2007)
- Condiciones técnicas mínimas que deben cumplir las instalaciones solares térmicas. Componentes. Condiciones de montaje. Requisitos técnicos del contrato de mantenimiento (IDAE, 2009b)
- Principios generales aplicables al proyecto de obra y a la ejecución de la obra. Relación no exhaustiva de los trabajos que implican riesgos especiales para la seguridad y la salud de los trabajadores. Disposiciones mínimas de seguridad y de salud que deberán aplicarse en las obras (Real Decreto 1627/1997)
- Tratamiento de residuos de construcción y demolición. Actividades de recogida, transporte y almacenamiento de residuos de construcción y demolición. Actividades de valorización de residuos de construcción y demolición. Actividades de eliminación de residuos de construcción y demolición mediante depósito en vertedero. Utilización de residuos inertes en obras de restauración, acondicionamiento o relleno (Real Decreto 105/2008)

Método

3.3.11 Manuales técnicos y prontuarios

Un manual técnico va dirigido a un público con conocimientos técnicos y proporciona un conjunto de recomendaciones y criterios prácticos. Un prontuario es un resumen en forma de compendio de una ciencia o parte de ella. Este proporciona información práctica, como datos, medidas, vocabulario, tablas, fórmulas, gráficos, planos, etc, a fin de tenerlas presentes cuando se necesite.

Es posible que algunas características de materiales y procesos, necesarias para el cálculo energético y para la evaluación de impacto ambiental, no aparezcan en la descripción de las unidades de obra o en el pliego de condiciones. Estos datos pueden entonces buscarse en manuales técnicos y prontuarios. Se pueden encontrar, por ejemplo, guías para el uso de la instrucción de hormigón estructural (ITeC, 2000a,b, 2003) y prontuarios, como *Prontuario de la construcción* (Fernández Ortega, 2006) y *Formulario-prontuario de estructuras* (Serrano López, Castrillo Cabello y López Aenlle, 2009).

En el *Documento de condiciones de aceptación de Programas Informáticos Alternativos* (MITyC, 2007b) se resumen los valores límite del CTE-HE1, tales como transmitancias máximas, permeabilidades máximas y valores límite de la opción simplificada, también se muestran las condiciones operacionales por defecto de la aplicación, valores de los indicadores de comportamiento energético de referencia, coeficientes de paso desde energía final a emisiones de CO₂ y finalmente propiedades de materiales y productos.

Datos que se utilizarán en el inventario de datos:

- Materiales
- Procesos
- Cerramientos, huecos y puentes térmicos (Ver: Pliego de condiciones)

Método

3.3.12 Atlas solares y registros climatológicos

Estos documentos están relacionados con el entorno del edificio. Se refieren a características del entorno que influyen en último término en el consumo de energía del edificio y en la energía incorporada. Ejemplos de atlas climáticos son *Atlas climático digital de la península ibérica* (Ninyerola, Pons y Roure, 2005) y *Atlas climático de irradiación solar a partir de imágenes del satélite NOAA: Aplicación a la península ibérica* (Vera y Baldasano, 2005).

Si bien muchas aplicaciones de cálculo de requerimientos de demanda energética ya tienen incorporados los datos climatológicos y de irradiación solar, también es posible realizarlos de una manera alternativa, o para una localización con atributos especiales que no encajen con la clasificación generalista de la metodología propuesta en las aplicaciones.

Datos que se utilizarán en el inventario de datos:

- Grados día para calefacción y refrigeración para cada mes del año con base a la temperatura deseada
- Datos climatológicos: temperaturas, viento, humedad y radiación solar

Método

3.3.13 Bases de datos y otros datos

Las aplicaciones de ACV necesitan datos de materiales y procesos para poder realizar su función. Algunas de estas aplicaciones incorporan una base de datos propia o permiten utilizar una base de datos externa, así como introducir datos nuevos.

Puede ser necesario utilizar datos para consumos no relacionados con usos térmicos de demanda energética dependientes de la climatología, como por ejemplo uso de energía para cocina, aparatos eléctricos, aparatos de oficina. Estos datos pueden obtenerse de estudios y datos estadísticos.

En relación a los datos medioambientales y debido a la gran cantidad de materiales y procesos de construcción, es necesario disponer de una base de datos para aquellos de los que no se disponga de una fuente primaria de información.

Datos que se utilizarán en el inventario de datos:

- Base de datos a utilizar
- Datos propios de materiales y procesos: criterio de corte, supuestos en caso de falta de información, recursos energéticos, recursos materiales, transporte, infraestructura, medios de producción, tratamiento de residuos, ocupación y transformación de suelo, y contaminantes de aire, suelo y agua.

Método

3.4 FASE DE INVENTARIO DE DATOS

El *sistema edificio* está acotado por los límites del sistema y tiene asociadas entradas y salidas. Cuantificar estas entradas y salidas es indispensable para realizar el análisis del ciclo de vida. Las entradas son recursos como materias primas, productos, energía y suelo. Las salidas pueden ser productos o servicios, emisiones y residuos. Para poder identificar correcta y exhaustivamente estas entradas y salidas es preciso realizar una recopilación de datos del edificio y de su entorno. Los datos provienen de las dos fases anteriores, la fase de definición y la fase de documentación.

La entrada más relevante para evaluar energéticamente un edificio durante todo su ciclo de vida es la energía primaria requerida para la fabricación de los productos de construcción, la ejecución de la construcción, el uso del edificio, el mantenimiento, la rehabilitación y el fin de vida. Parte de esta energía será definida como energía operacional, la que es necesaria para mantener la habitabilidad, y la restante será definida como energía incorporada. La salida más relevante son las emisiones de gases de efecto invernadero, cuya unidad es el kg de CO₂ equivalente. Sin embargo, este no es el único indicador de impactos ambientales.

Cada etapa del ciclo de vida de un edificio se compone de procesos unitarios. Como estos procesos usualmente solo se producen en una etapa, es por tanto factible asignar estos procesos unitarios a la etapa en que se produzcan. Entonces, cada etapa del ciclo de vida puede entenderse como un sistema autónomo, con entradas y salidas propias. En cada *sistema etapa* se convierten los recursos de entrada en productos o servicios, que a su vez también crean emisiones y residuos.

Hay datos que únicamente son necesarios para realizar los cálculos y no se corresponden directamente con ningún proceso unitario. Estos no forman parte de ninguna etapa del ciclo de vida y se asignan al grupo de datos de diseño. El resto de datos están asociados a la etapa del ciclo de vida a la que corresponden.

Los datos de diseño se componen de los datos generales del proyecto, especialmente en referencia a su emplazamiento y entorno. También de la geometría del edificio, de qué materiales se compone y cómo están dispuestos, qué instalaciones se han previsto y cuáles son sus propiedades y características, de parámetros referentes a la climatización e iluminación, de las condiciones de uso de las instalaciones y de las condiciones de confort. Y finalmente de datos relativos a la climatología.

Las etapas de producto y de construcción son las que engloban la mayor parte de datos, que se procesan principalmente a partir del estado de mediciones y del pliego de condiciones. Los datos se pueden agrupar en cuatro grandes categorías: materiales, procesos constructivos, transporte y gestión de residuos. Según se ha determinado en la fase de definición, se puede procesar cada categoría de una manera global o bien integradas en la partida de obra. En este último caso es necesario que en cada partida de obra se asigne cada artículo a la categoría que le corresponda. Finalmente la categoría de materiales formará parte de la etapa de producto y el resto de categorías de la etapa de construcción.

En la etapa de uso se recogen únicamente los datos referentes al transporte de usuarios. Los resultados de la demanda energética en la etapa de uso no están disponibles, ya que se calculan en la siguiente fase de la metodología a partir de los datos de diseño y se incorporarán directamente a los análisis. Las sub-etapas de mantenimiento y rehabilitación son análogas metodológicamente a la etapa de producto y construcción. Para la sub-etapa de mantenimiento se puede crear un estado de mediciones definiendo las actuaciones previstas como partidas de obra. Y para la sub-etapa de rehabilitación es posible definir una obra de rehabilitación, con un estado de mediciones asociado.

La etapa de fin de vida, metodológicamente, también es análoga a la etapa de producto y construcción, ya que es posible definir una obra de deconstrucción, con un estado de mediciones asociado.

3.4.1 Datos de diseño

Los datos de diseño recopilados no se corresponden directamente con ninguna entrada ni salida, sino a características y propiedades del edificio o de sus partes. Estos datos serán utilizados posteriormente en la metodología para calcular el consumo de energía en la etapa de uso y este resultado será necesario para realizar los análisis ambientales, económicos e incluso sociales.

Los datos están clasificados en seis bloques:

- Datos generales, situación y entorno
- Definición geométrica del edificio
- Definición constructiva de materiales
- Especificaciones de climatización e iluminación
- Definición técnica de instalaciones
- Climatología

La función del primer bloque es proporcionar una descripción del edificio, de cuál es su situación y del entorno. El segundo bloque está relacionado con los aspectos exclusivamente geométricos del edificio. En el tercer bloque se definen las propiedades físicas de los materiales, especialmente las que tienen relación con el comportamiento térmico. En el cuarto bloque se definen las especificaciones relativas a la climatización, como el uso de cada espacio, sus características y necesidades. En el quinto bloque se definen detalles técnicos de las instalaciones. Y finalmente, en el último bloque se recopila la información correspondiente a la climatología.

En los siguientes apartados se definen qué datos particulares son necesarios recopilar y cómo se han de tratar los datos para disponer de ellos de una manera más manejable para utilizarlos posteriormente en la metodología.

Datos generales, situación y entorno

En este bloque se especifican los datos básicos del proyecto como el nombre del proyecto, la descripción del edificio, su situación y orientación y la descripción del entorno. Los datos generales del edificio a analizar son necesarios para definir inequívocamente la naturaleza del proyecto, su magnitud y, especialmente, su localización.

Tanto la energía operacional como la incorporada dependen de la localización del edificio y por tanto también lo hacen los impactos ambientales. La influencia de la localización en la energía operacional viene dada por una parte por la composición de la oferta energética local y por otra parte de la influencia de la climatología en la demanda energética. La energía incorporada depende de la localización por las distancias de transporte de material, de residuos y del personal de la obra.

Se debe especificar:

- Nombre del proyecto.
- Datos que definan la situación del edificio, como la dirección, su longitud y latitud, y la altura sobre el nivel del mar.
- La orientación del edificio.
- Descripción del edificio. Tipología del edificio. Y una pequeña descripción a modo de resumen del edificio y sus características más principales.
- Descripción del entorno. La situación, forma y dimensiones de aquellos obstáculos remotos que puedan arrojar sombra sobre los cerramientos exteriores del edificio.

Método

Definición geométrica del edificio

En este bloque se definen las dimensiones generales, los cerramientos, los huecos, los puentes térmicos y los espacios, así como la descripción pormenorizada de superficies y detalles constructivos.

Los datos geométricos del edificio sirven para saber la superficie y disposición de los diferentes elementos constructivos, que servirán tanto para el cálculo del consumo de energía en la etapa de uso, como para el cálculo de la cantidad de material que se precisa en la fase de construcción.

Previamente a la enumeración de los datos necesarios, y para facilitar la interpretación de los diferentes elementos constructivos, se presenta una breve introducción y clasificación de los cerramientos, huecos, obstáculos y puentes térmicos. La figura 3.4 muestra el esquema de la clasificación de elementos constructivos

Los cerramientos y las particiones interiores forman la envolvente exterior que garantiza la debida estanqueidad y aislamiento térmico del edificio. Los cerramientos limitan los espacios habitables con el ambiente exterior y las particiones interiores limitan los espacios habitables con los espacios no

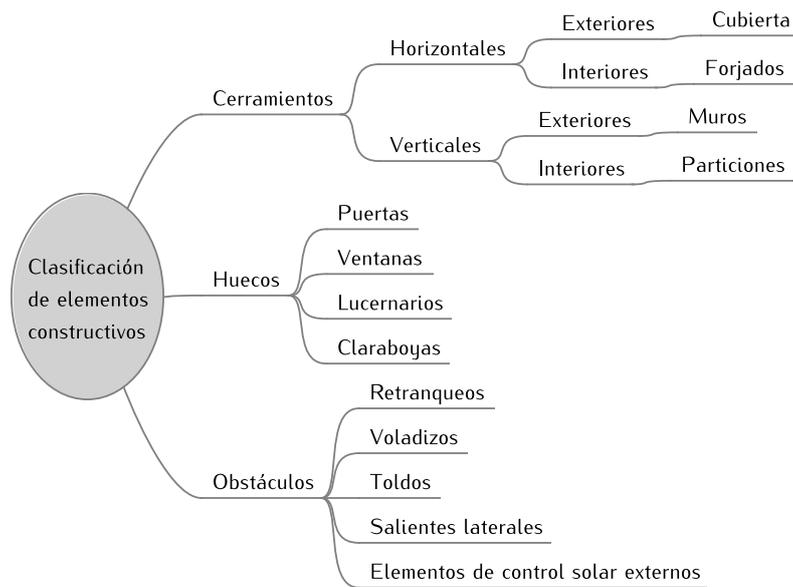


Fig. 3.4: Clasificación de elementos constructivos

habitables que a su vez estén en contacto con el ambiente exterior. Funcionalmente se pueden clasificar como horizontales o verticales, y como interiores o exteriores. Como cerramiento horizontal exterior se encuentra la cubierta, que puede ser plana o inclinada. Como cerramientos horizontales interiores se encuentran los forjados. Las fachadas son cerramientos verticales exteriores y las particiones son cerramientos verticales interiores.

Se consideran como huecos los vacíos en la construcción, tanto en la estructura como en los componentes, para dar entrada a la luz o bien permitir el acceso. Por ejemplo: puertas, ventanas, lucernarios y claraboyas.

Se consideran obstáculos de la fachada a aquellos elementos que afectan a los huecos en relación a la entrada de luz. Por ejemplo: retranqueos, voladizos, toldos, salientes laterales y elementos de control solar externos.

Se consideran puentes térmicos las zonas de la envolvente del edificio donde hay una variación de la uniformidad de la construcción, que comportan una disminución de la resistencia térmica. Asimismo, aumenta la posibilidad de producirse condensaciones superficiales en condiciones de temperatura exterior bajas.

Los puentes térmicos más comunes en la edificación se encuentran en los forjados, en contacto con el terreno y en los cerramientos verticales. En los forjados se pueden dar las siguientes combinaciones comunes: encuentro forjado-fachada, encuentro cubierta-fachada y encuentro suelo exterior-fachada. En contacto con el terreno la más habitual es la unión solera con la pared exterior. Y en los cerramientos verticales se suelen dar en esquinas entrantes y salientes, huecos de ventanas, pilares y cajas de persiana.

Para la definición geométrica será necesario especificar los siguientes datos o parámetros:

- Dimensiones generales:
 - Número de plantas, de viviendas y de residentes
 - Distribución y altura de cada planta
 - Superficie y volumen: construidos, útiles y calefactados
- Espacios:
 - Áreas y sus respectivos usos
- Cerramientos. Deben especificarse, tanto para los espacios habitables como los no habitables:
 - Situación
 - Forma
 - Dimensiones
 - Orientación
 - Inclinación
 - Tipo de contacto: con aire, con terreno o con otros edificios
- Huecos y obstáculos de la fachada que afectan a estos:
 - Situación
 - Forma
 - Dimensiones
- Puentes térmicos:
 - Longitud

Método

Facilitar información de las dimensiones generales es importante, ya que permiten transformar la unidad funcional y poder comparar diferentes estudios. También cabe reseñar que los resultados dependen en gran medida de la morfología del edificio, y que esta puede quedar bien definida mediante estas dimensiones generales.

Si en la unidad funcional se tiene en cuenta la superficie, esta puede darse en superficie total construida, en superficie útil o en superficie calefactada. Es conveniente ofrecer todos los datos de superficie para poder convertir los resultados de una unidad funcional a otra y facilitar la comparación entre estudios. A veces también se especifica el volumen en vez de la superficie por ser más representativo a la hora del consumo.

Si dos edificios con la misma superficie total tienen diferente número de plantas, esta variable influye en el resultado por ser la compacidad del edificio diferente, y por tanto, el comportamiento térmico. De la misma manera, el número de viviendas y de residentes puede ser esencial para poder cambiar de unidad funcional.

Los cerramientos, huecos, obstáculos y puentes térmicos pueden provenir únicamente de forma gráfica. Si el cálculo posterior no requiere de la descripción de estos elementos en forma escrita y la forma gráfica es suficiente, entonces no es necesario transformar esta información. En cambio, si el cálculo necesita parámetros de estos elementos, se deberá transformar la

información gráfica en la forma más adecuada para la aplicación de cálculo.

Definición constructiva de materiales

En este bloque se describen tanto las propiedades físicas de los materiales como la estructura de los elementos constructivos. Estos datos son necesarios para el cálculo de la demanda energética en la etapa de uso.

Será necesario especificar los siguientes datos:

- Cerramientos:
 - Absortividad de la superficie exterior frente a la radiación solar (si el cerramiento está en contacto con el exterior)
 - Factor de temperatura de la superficie interior (si el cerramiento no tiene capa aislante)
 - Para cada capa deben especificarse:
 - * Nombre de la capa
 - * Orden de la capa dentro del elemento constructivo
 - * Material
 - * Espesor d [m]
 - * Propiedades térmicas definidas por la resistencia térmica R [$\text{m}^2 \text{K}/\text{W}$], su inversa la transmitancia térmica [$\text{W}/\text{m}^2 \text{K}$] o bien por otras características

Método

Otro conjunto de características que define las propiedades térmicas de la capa, y que permite encontrar su resistencia o transmitancia térmica, son:

- Conductividad térmica λ [$\text{W}/\text{m K}$]
- Densidad ρ [kg/m^3]
- Calor específico c_p [$\text{J}/\text{kg K}$]
- Factor de resistencia a la difusión del vapor de agua μ

Como las propiedades térmicas son propias de cada material y estos materiales son comunes a los diferentes tipos de cerramientos, también es posible hacer una lista de materiales y otra lista de cerramientos como elementos complejos. En la lista de materiales se definen las propiedades térmicas de cada material. Y en la lista de cerramientos solo la resistencia o transmitancia térmica global del cerramiento.

Será necesario especificar los siguientes datos:

- Puentes térmicos:
 - Porcentaje del área de hueco ocupado por la parte opaca
 - Transmitancia térmica lineal [$\text{W}/\text{m K}$]
 - Factor de temperatura superficial
 - Tratamiento de los puentes térmicos

Método

Tabla 3.3: Ejemplo de materiales constructivos y de sus valores característicos. Resistencia térmica (R), Conductividad (λ), Densidad (ρ), Calor específico (c_p), Factor de resistencia a la difusión del vapor de agua (μ). Fuente: MITyC (2007a, 2010)

Material	R [m ² K/W]	λ [W/m K]	ρ [kg/m ³]	c_p [J/kg K]	μ
Mortero de cemento	0.012	1.30	1900	1000	10
Ladrillo perforado	0.230	0.50	900	1000	10
Aislante	0.832				
Ladrillo hueco	0.100	0.40	920	1000	10
Enlucido de yeso	0.026	0.57	1100	1000	6
Baldosa cerámica	0.015	1.00	2000	800	∞
Hormigón con áridos ligeros	0.061	1.15	1600	1000	60
Forjado cerámico	0.150	1.67	1660	1000	10
Solera de hormigón	0.080	2.5	2500	1000	80
Tabicón de ladrillo hueco doble	0.159	0.44	930	1000	10

Será necesario especificar los siguientes datos:

- Huecos:
 - Transmitancia térmica del acristalamiento U_a [W/m² K]
 - Transmitancia térmica del marco U_m [W/m² K]
 - Factor solar del acristalamiento g
 - Absortividad del marco α
 - Factor corrector del factor solar
 - Factor corrector de la transmitancia para persianas o cortinas exteriores
 - Permeabilidad al aire de las carpinterías de los huecos (para una sobrepresión de 100 Pa) [m³/h m²]

Método

Las tablas 3.3, 3.4 y 3.5 son muestras que sirven de ejemplo del tratamiento de los datos en tablas más accesibles. La tabla 3.3 muestra materiales constructivos y sus valores característicos. En la tabla 3.4 se reúnen las transmitancias térmicas lineales de varios puentes térmicos. Finalmente la tabla 3.5 expone cerramientos formados por elementos compuestos en capas, donde se nombra el material de cada capa y su espesor.

Especificaciones de climatización e iluminación

En este bloque se definen las necesidades energéticas de climatización e iluminación de los espacios anteriormente descritos. En la climatización se incluye la calefacción, la refrigeración, la ventilación y también el ACS. La demanda energética depende directamente del uso que tenga cada espacio.

Tabla 3.4: Ejemplo de transmitancia de puentes térmicos

Descripción	Transmitancia térmica lineal ψ [W/m K]
Frente de forjado	0.70
Forjado de cubierta	0.45
Forjado de suelo al exterior	0.45
Esquina saliente	0.15
Esquina entrante	-0.15
Hueco de ventana	0.40
Pilar	0.80
Unión entre solera en contacto con el terreno y pared exterior	0.15

Tabla 3.5: Ejemplo de elementos compuestos (cerramientos)

Descripción	Material	Espesor [mm]
Cubierta: plana transitable, no ventilada, solado fijo	Baldosa cerámica	15
	Mortero de cemento	15
	Aislante	20
	Hormigón	70
	Forjado	250
Suelo: plana transitable, no ventilada, solado fijo	Baldosa cerámica	15
	Mortero de cemento	15
	Aislante	20
	Solera de hormigón armado	200
Forjado interior: cerámico sin aislamiento	Baldosa cerámica	15
	Mortero de cemento	15
	Forjado	200
Muro exterior: fábrica con revestimiento continuo	Mortero de cemento	15
	Ladrillo perforado	115
	Aislante	20
	Ladrillo hueco	115
Medianera: fábrica con revestimiento continuo, no ventilada, aislamiento por el interior	Enlucido de yeso	15
	Tabicón de ladrillo hueco doble	70
	Aislante	20
	Tabicón de ladrillo hueco doble	70
	Enlucido de yeso	15
Partición interior: fábrica con revestimiento continuo	Enlucido de yeso	15
	Ladrillo hueco	45
	Enlucido de yeso	15

Para cada espacio debe especificarse:

- Descripción de los usos
- Necesidad de ventilación, calefacción, refrigeración, ACS e iluminación
- Intensidad horaria (verano/invierno, día/noche, diario/fin de semana, 8h/12h/16h/24h)
- Temperaturas de consigna de calefacción, de refrigeración y de ACS
- Si son habitables o no habitables En el caso de ser habitables también se debe indicar:
 - Si son de baja o de alta carga interna
 - Clase de higrometría, o en su defecto la temperatura y la humedad relativa media mensual de dicho espacio para todos los meses del año
- Número de renovaciones por hora

Método

Definición técnica de instalaciones

En este bloque se describen las instalaciones que van a incluirse en el cálculo de consumo de energía en la etapa de uso y qué características técnicas tienen. Estos datos son necesarios para saber la demanda energética del edificio.

La siguiente lista muestra tipos de instalaciones que se pueden incluir en el cálculo:

- Calefacción
- Refrigeración
- ACS
- Iluminación
- Ventilación
- Recuperación de calor
- Otras instalaciones

Para cada tipo de instalación debe especificarse:

- Descripción del tipo de instalación. Disposición (central, distribuido). Gestión y control
- Fuente de energía
- Capacidad nominal
- Rendimiento
- Eficiencia en función de la carga y otros parámetros
- Aislamiento térmico y acústico
- Otras características

Método

La tabla 3.6 es una muestra de ejemplo de valores característicos de varios equipos.

Tabla 3.6: Ejemplo de instalaciones y de sus características técnicas

Equipos	Característica	Valor
Bomba de calor reversible aire-agua	Potencia nominal	14.4 kW
	Caudal aire	3500 m ³ /h
	Peso en vacío	140 kg
Fancoil de techo	Potencia nominal	2.5 kW
Conductos de aire acondicionado	Diámetro	1"
	Material	Cobre
	Longitud total	200 m
Caldera de gas natural	Potencia	24 kW
	Tipo de combustible	Gas natural
Tubería de distribución de agua caliente de calefacción	Diámetro	1/2"
	Material	Acero negro
	Longitud total	157 m
Radiador de aluminio inyectado	Emisión calorífica	75 kcal/h
	n° total de elementos	88
Captador solar térmico	Superficie total	4.220 m
Acumulador	Capacidad	300 L
Circuito primario del sistema solar térmico	Diámetro	1/2"
	Material	Cobre
	Longitud total	15 m

Climatología

En este bloque se definen las características climatológicas representativas de la ubicación del edificio. Estas servirán como entradas para realizar el cálculo en régimen transitorio. Dependiendo del método que se utilice para realizar el cálculo, es posible que no se necesiten todos los datos, ya que algunas aplicaciones de cálculo ya disponen internamente de estos datos, y solo es necesario establecer la ubicación.

Debe especificarse si es relevante:

- Zona climática
- Grados día para calefacción y refrigeración para cada mes del año con base a la temperatura deseada
- Datos climatológicos: temperaturas, viento, humedad y radiación solar

Método

3.4.2 Etapas de producto y de construcción

Estas dos etapas se encuentran juntas en esta fase de la metodología porque comparten las mismas fuentes de datos, solo que una vez tratados, unos se utilizarán exclusivamente en la etapa de producto y el resto en la de construcción.

La etapa de fin de vida y las sub-etapas de mantenimiento y rehabilitación, comparten la misma metodología que las etapas de producto y de construcción, ya que los procesos que se realizan son perfectamente cuantificables y, previa adaptación, se pueden procesar de la misma manera que se hace con el estado de mediciones.

Un gran número de datos relacionados con la etapa de construcción se pueden encontrar en los documentos del pliego de condiciones, presupuesto y estado de mediciones, así como también en planos. Sin embargo, también hay datos que no se suelen encontrar por escrito, por lo que deberían generarse a través de encuestas y/o formularios a la persona responsable de dirigir la ejecución. Por ejemplo: la utilización de técnicas constructivas de la zona donde se construye; la maquinaria necesaria durante la construcción del edificio y que no está directamente relacionada con procesos constructivos de las partidas de obra; la distancia y las condiciones en la que se transportan los materiales hasta la obra y los residuos hasta el centro de tratamiento; el transporte de operarios... etc.

La fuente de datos indispensable para hacer el inventario de las etapas de producto y construcción es el estado de mediciones, y es de aquí donde salen la mayor parte de los datos. Para cada partida de obra del estado de mediciones se realiza un análisis de materiales, procesos, transporte y residuos. Si se tienen en cuenta las etapas de producto y de construcción por separado, los materiales se asignarán a la etapa de producto y el resto se asignarán a la etapa de construcción. Si por el contrario no se tiene en cuenta la etapa de producto, se asignará todo a la etapa de construcción.

Tabla 3.7: Estado de mediciones. Ejemplo de 1 m² pared divisoria de 14 cm de ladrillo hueco doble. Distancias: 50 km. Jornada laboral: 8 h/día. Capacidad vehículo: 5 personas/vehículo. Consumo de combustible: 10 l gasolina/100 km. Fuente: elaboración propia a partir de datos del ITeC (2010)

Parte	Concepto	Valor
Materiales	Agua	10.5 l
	Mortero	36.2 kg
	Ladrillo	97.9 kg
Proceso	Mezclador	8.33 kWh eléctricos
Transporte	Mortero	1810 kgkm (camión pequeño)
	Ladrillo	4895 kgkm (camión pequeño)
	Residuos	226.5 kgkm (camión pequeño)
	Operarios	0.22 l gasolina
Residuos de obra	Hormigón	2.21 kg
	Ladrillos	1.92 kg
Residuos de embalaje	Plástico	0.02 kg
	Madera	0.38 kg

También se consideran en la metodología, si previamente se han especificado en los límites del sistema, otros materiales, procesos y transportes que no están contemplados en el estado de mediciones. Es decir, aquellos que se utilizan y se realizan en la obra, pero no están contenidos en ninguna partida de obra. Análogamente al estado de mediciones, también se considerará si se tienen en cuenta las etapas de producto y de construcción por separado.

Estado de mediciones

En el estado de mediciones se halla una lista exhaustiva de todos los materiales y procesos presupuestados. Esto permite que, mediante un recorrido secuencial de cada partida de obra contemplada según el nivel de detalle establecido anteriormente, se pueda realizar un inventario de las entradas y salidas pormenorizado de toda la obra.

En el documento del estado de mediciones se describe detalladamente cada partida de obra y se establece la cantidad necesaria. El propósito es crear una lista detallada de materiales, procesos, transporte y residuos para cada partida de obra, tal como se puede observar en la tabla 3.7. Se puede realizar bien con la misma descripción de la partida de obra, con datos propios, y en caso necesario, con la asistencia de una base de datos conteniendo el detalle de materiales, procesos y residuos de las partidas de obra, como el catálogo de elementos constructivos del Código Técnico de la Edificación (CTE) (MdF, 2010) o el banco estructurado de datos de elementos constructivos del *Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya* (ITeC) (ITeC, 2010).

Se puede considerar cada partida de obra como un proceso independiente de cuna a la puerta con carácter unitario, cuyos valores serán multiplicados

posteriormente por la medición correspondiente. El límite del sistema de cada partida de obra será el emplazamiento de la obra, considerando como entradas los materiales básicos que la conforman y los procesos que se realizan, teniendo en cuenta el transporte, y considerando como salidas los residuos tanto de obra como de embalaje.

Como generadores de impactos ambientales se encuentran:

- **Materiales:**
Incluye la adquisición de materias primas, los procesos de fabricación y el transporte hasta el centro de distribución
- **Procesos:**
Los procesos que se hacen dentro de la obra. Se tiene en cuenta el tipo de energía y la cantidad consumida
- **Transporte:**
El transporte del material del centro de distribución a la obra, de los residuos al centro de tratamiento y los desplazamientos de los trabajadores a la obra
- **Residuos:**
La cantidad y tipo de residuos, tanto de las mermas de la propia obra, como del embalaje del material y consumibles utilizados

Los valores se multiplicarán por la cantidad establecida en la medición de la partida de obra.

Materiales

Si en la partida de obra se utilizan materiales, se debe hacer una descomposición de esta partida de obra en componentes o flujos elementales de los que se disponga datos medioambientales, cuantificando su medida para una unidad de partida de obra.

Estos componentes deben ser tenidos en cuenta desde la cuna hasta la puerta, por lo que han de incluir información medioambiental de su extracción, transformación, residuos y transporte hasta el centro de distribución.

En caso de no disponer de datos medioambientales de un producto, se puede estimar su composición en flujos elementales y utilizar estos. Por ejemplo, un equipo de climatización puede ser equivalente a su peso en hierro.

Si se tienen en cuenta las etapas de producto y de construcción por separado, los materiales se asignarán a la etapa de producto.

Procesos

Para la ejecución de la partida de obra puede ser necesario realizar ciertos procesos dentro de la obra que transformen las materias primas o el entorno. Estos procesos requieren de una fuente de energía, que bien puede ser eléctrica o provenir del uso de combustibles.

Se debe determinar el tipo de combustible y/o energía, y la cantidad necesaria para realizar una unidad de partida de obra. Se asignará a la etapa de construcción.

Transporte

Si se ha decidido incluir el transporte integrado en las partidas de obra se aplicará el procedimiento desarrollado en este apartado, en caso contrario se utilizará el procedimiento de otros transportes no gestionados por el estado de mediciones.

En la etapa de construcción se pueden dar tres tipos de transporte: de materiales, de residuos y de trabajadores. El transporte de materiales y de residuos se calcula de la misma forma y se puede efectuar de manera conjunta. En este caso se debe definir primero el tipo de transporte: furgoneta, camión, tren, barco, etc. La unidad de medida que se utilizará es el [kg km (tipo de transporte)]. Puede resultar que haya una combinación de transportes para un mismo producto, y también que cada producto de la partida de obra tenga un transporte o combinación diferente. Es posible sumar los valores para el mismo tipo de transporte, aunque sean de diferentes productos, pero no se debe mezclar los tipos de transporte, por la gran diferencia de impactos ambientales entre los tipos de transporte.

Como se puede observar en la fórmula 2, se realiza el cálculo diferenciando por el tipo de transporte. Para cada material (variable i para n materiales) se multiplica su peso por la distancia desde el centro de distribución a la obra. Para cada residuo (variable j para m residuos) se multiplica su peso por la distancia desde la obra hasta el centro de tratamiento. Finalmente se realiza el sumatorio de todas las multiplicaciones.

$$pd \text{ (tipo de transporte)} = \sum_{i=1}^n p_i d_i + \sum_{j=1}^m p_j d_j \quad (2)$$

Para el transporte de trabajadores, como se puede observar en la fórmula 3, se calcula la cantidad de combustible necesaria para el desplazamiento de estos. Para ello se contabiliza el número de horas de operario totales (horas-hombre), se divide por la duración de una jornada laboral (horas-día), por el número de personas por unidad de transporte (personas-transporte), se multiplica por la distancia de la obra al lugar de recogida y la vuelta (distancia total), y por el consumo de combustible cada 100 km de la unidad de transporte (consumo combustible).

$$c = \frac{\text{horas-hombre} \times \text{distancia total} \times \text{consumo combustible}}{\text{horas-día} \times \text{personas-transporte}} \quad (3)$$

Ejemplo: para la realización de una unidad de partida de obra se necesitan un total de 16 horas de operarios. Esto equivale a dos jornadas laborales de un operario, por lo que tendrá que hacer 2 desplazamientos de ida y de vuelta para realizar su trabajo. Si esta distancia es de 25 km, realizará un total de 100 km. Si el vehículo de transporte realiza los desplazamientos con 5 personas, y gasta 10 l/100km, el total de combustible necesario asociado al transporte de trabajadores para realizar una unidad de partida de obra es de 2 l.

Todos los transportes se asignarán a la etapa de construcción.

Residuos y emisiones

Para evitar hacer una doble contabilización de residuos y emisiones, se ha de tener en cuenta que en este apartado solo se han de incluir los que han sido generados en la obra y que además no estén contabilizados en otras partes de la metodología. Por tanto, no se tendrán en cuenta los residuos y emisiones generados en la fabricación de los materiales, que ya están contemplados en la información medioambiental de estos. Y tampoco los residuos y emisiones del consumo de energía y combustible, que ya se tienen en cuenta en el apartado de procesos.

Hay dos tipos de residuos, los que se generan en la obra y el embalaje de materiales y equipamiento. Los residuos generados en la obra pueden ser de diferentes tipos, como restos de producto, restos de consumibles y material dañado, entre otros. El embalaje suele estar compuesto por plástico, cartón y madera, y suele ser de fácil reciclaje.

Se debe especificar la cantidad y tipo de residuos generados, tanto en la obra como el resultante del embalaje. Y se asignarán a la etapa de construcción.

Otros

En el estado de mediciones se encuentran la gran mayoría de materiales y procesos que producen impactos ambientales, pero no están registrados todos. Aquellos materiales y procesos que no están registrados en el estado de mediciones se pueden catalogar en dos grandes grupos:

- *Maquinaria e infraestructuras*, de propiedad o alquilados, que se utilizan en más de una obra
- *Consumibles, procesos y transportes* que no están directamente relacionados con ninguna partida de obra

La lista de maquinaria e infraestructuras no es despreciable, ya que incluye: maquinaria especializada, andamios, casetas de obra, vallas, etc. Como procesos se ha de tener en cuenta: iluminación del complejo, grúa, elevadores, etc. Y transportes no asociados a ninguna partida de obra: transporte de supervisores y personal que gestiona la obra.

Siendo rigurosamente estrictos, para la maquinaria e infraestructura, debería además tenerse en cuenta la parte proporcional del tiempo destinado en

la obra respecto al total de vida útil, de los impactos medioambientales de todas las etapas excepto la de uso.

Ejemplo: si un vehículo de transporte tiene una vida estimada de 15 años, y va a estar sirviendo exclusivamente en la obra durante el período de 1 año, debería incorporarse a la obra el 6.7% de los impactos ambientales de este vehículo (fabricación, mantenimiento y fin de vida).

Si el transporte no se incluye en las partidas de obra, debe estimarse por separado para todo el conjunto de obra. Por ejemplo, estimando el consumo de combustible, que viene dado por el número de viajes por la distancia y el consumo de combustible por 100 km.

Los materiales y procesos de esta categoría se asignarán a la etapa de construcción.

Debe especificarse:

- Materiales. Si procede, se asignarán a la etapa de producto
- Procesos. Se asignarán a la etapa de construcción
- Transportes de operarios, de materiales y de residuos. Se asignarán a la etapa de construcción
- Residuos. Se asignarán a la etapa de construcción
- Otros. Se asignarán a la etapa de construcción

Método

3.4.3 Etapa de uso

La etapa de uso es la etapa que más contribuye a los impactos ambientales. Por tanto se debe prestar especial atención a los elementos considerados en esta etapa.

Para obtener datos directamente aplicables en los análisis, es necesario realizar previamente cálculos. Ya que se ha de transformar la información existente en un conjunto de valores que se puedan utilizar. Los cálculos pueden ser de diversa índole: ambiental, económica o social. El más utilizado es el de la demanda de energía para la climatización, ACS e iluminación.

Los datos necesarios para realizar los cálculos provienen de la fase de definición, de la fase de documentación, y de la etapa de datos de diseño de la fase de inventario. Las bases de datos de ACV tienen, por lo general, información sobre el tipo de energía consumida por el usuario: combinación de fuentes de energía de generación de electricidad, gas, gas-oil y carbón, dentro del ámbito geográfico pertinente.

El objetivo de estos cálculos en la etapa de uso es obtener la energía, recursos o servicios que el usuario necesitará en el transcurso de esta etapa. Los cálculos se pueden realizar mediante hojas de cálculo o bien con aplicaciones informáticas. Pueden ser procedimientos simplificados o bien cálculos complejos o dinámicos.

Se deben especificar y definir los cálculos a realizar en la fase de cálculo:

- Cálculo energético
- Cálculo económico
- Cálculo de transporte de usuarios
- Cálculo del consumo de agua
- Otros cálculos

Método

Mantenimiento y rehabilitación

La etapa de mantenimiento y rehabilitación es generalmente considerada en un segundo plano, relegada dentro de la etapa de uso o en la etapa de construcción.

Respecto a edificios de bajo consumo, en esta etapa recae una mayor importancia relativa. Thormark (2006) remarca que el mantenimiento en edificios de bajo consumo conlleva grandes cantidades de energía incorporada, y que la importancia del mantenimiento no debe ser descuidada.

Si el estudio considera una vida útil del edificio elevada, debe tenerse en cuenta que un aumento de la vida útil del edificio implica más mantenimiento (Brunklaus, Thormark y Baumann, 2010). Concretamente Uihlein y Eder (2010) estiman que se realiza, para un edificio, una rehabilitación importante cada 40 años.

Esta etapa, igual que la que de construcción, requiere materiales, procesos y transporte. Y también se producen residuos. Por la gran similitud metodológica se realizará el mismo procedimiento que en la etapa de producto y construcción.

Debe especificarse si es relevante:

- Mantenimiento
 - Materiales
 - Procesos
 - Transporte de operarios, materiales y residuos
 - Residuos
 - Otros
- Rehabilitación
 - Materiales
 - Procesos
 - Transporte de operarios, materiales y residuos
 - Residuos
 - Otros

Método

3.4.4 Etapa de fin de vida

Por la similitud metodológica de esta etapa con la etapa de producto y construcción se realizará el mismo procedimiento que para esta. Sin embargo, tiene la particularidad que no hay materiales ni su transporte asociado. Sí que dispone de procesos, residuos, transporte de operarios y residuos, y otros.

Debe especificarse si es relevante:

- Procesos
- Transporte de operarios y residuos
- Residuos
- Otros

Método

3.4.5 Relación entre las fases de la metodología

En este apartado se describe la relación entre todas las fases de la metodología. En la figura 3.5 se muestran gráficamente estas relaciones. La fase de definición proporciona información a las etapas de ciclo de vida de la fase de inventario de datos y especialmente a los análisis en la fase de cálculo y análisis. La fase de documentación proporciona una gran fuente de información a la fase de inventario de datos, especialmente a los datos de diseño y al estado de mediciones dentro de la etapa de construcción.

Los datos de diseño servirán para calcular parte de la energía operacional y dependen en gran parte de la documentación específica del proyecto. Los datos generales, de situación y de entorno, las especificaciones de climatización e iluminación y la definición técnica de instalaciones provienen de la memoria. La definición geométrica está descrita en la memoria, y detallada en los planos. La definición constructiva de materiales está definida en el pliego de condiciones y el estado de mediciones. No obstante, si hacen falta más datos se pueden obtener de manuales técnicos y pronuarios. La climatología se obtiene de atlas solares y registros climatológicos.

La etapa de producto y construcción obtienen los datos del pliego de condiciones y del estado de mediciones. Los datos referentes al transporte provienen de la definición de transporte.

En la etapa de uso, se utilizan datos del transporte de usuarios procedentes de la definición de transporte. En el manual de uso y mantenimiento hay datos referentes al mantenimiento, complementados por la definición de esta etapa en el apartado de vida útil estimada. En este apartado también se define la rehabilitación, que no tiene ningún documento específico que la describa.

La mayor parte de datos los declarados en la fase de definición son necesarios únicamente en los análisis. El contenido y forma del informe de los resultados está declarado en el apartado objetivo, alcance y resultados de la fase de definición.



Fig. 3.5: Relación entre las fases de la metodología

3.5 FASE DE CÁLCULO Y ANÁLISIS

El objetivo de esta fase es describir detalladamente los procedimientos generales para realizar los cálculos y análisis. Para realizar los cálculos se necesitan datos, que han sido recopilados previamente en el inventario de datos a través de la fase de definición y la fase de documentación del proyecto. Estos datos se deben procesar convenientemente para transformarlos en resultados. A su vez los análisis necesitan por una parte los datos recopilados en las anteriores fases y por otra parte los resultados de los cálculos.

Los cálculos se dividen en tres categorías: cálculos complejos de consumo energético, otros cálculos de consumo y cálculos económicos. Todos estos cálculos se refieren a la etapa de uso y son requeridos por los análisis. Para saber el coste del consumo energético es necesario saber primero el consumo energético en la etapa de uso. Por tanto, se debe realizar primero el cálculo de consumo energético de aquellos aspectos energéticos contemplados en los límites del sistema y después el cálculo económico.

Basándose en la sostenibilidad pueden haber tres tipos de análisis: ambiental, económico y social. Todos ellos están enfocados a analizar todo el ciclo de vida del edificio, y están divididos en tres partes: introducción de datos, ejecución del análisis y selección de resultados.

3.5.1 Cálculo de consumo en la etapa de uso

El consumo en la etapa de uso se refiere a cualquier flujo de entrada, producto o servicio. Estos consumos se pueden clasificar según la dependencia a la climatología, al edificio o a las instalaciones de la siguiente manera:

- Depende de la climatología

El consumo de calefacción y de refrigeración están muy relacionados con la climatología del emplazamiento. El consumo energético para producir ACS depende en gran parte de la temperatura del agua fría. La iluminación depende de ciertas características climatológicas como días nublados y horas de luz anuales.

- Depende del edificio

El consumo de calefacción y de refrigeración están muy relacionados con las propiedades térmicas del edificio. La iluminación depende levemente del edificio, en especial la orientación, y de su entorno.

- Depende de las instalaciones

El consumo de calefacción, de ACS y de refrigeración están relacionados con la eficiencia energética de las instalaciones. El consumo de agua depende, por ejemplo, de técnicas de reducción del caudal, como difusores en los grifos.

- No depende de la climatología, del edificio ni de las instalaciones

El tipo de dependencia designa la complejidad del cálculo y la cantidad de datos que se necesitan. Es especialmente complejo el cálculo de aquellos consumos que dependen del edificio, como la calefacción, refrigeración, ACS e iluminación.

Para el cálculo de calefacción, de refrigeración y de ACS existen cálculos simplificados que generalmente están basados en hojas de cálculo, como CE2 (MITyC, 2007a). También hay sencillas aplicaciones como CES (Miyabi, 2011) y CERMA (ATECYR e IVE, 2011). Y finalmente existen otras aplicaciones más generales en las que se suele representar al edificio en tres dimensiones, como *CALENER-VYP* (MITyC, 2010), para la calificación de eficiencia energética de edificios de viviendas y del pequeño y mediano terciario. *CALENER-GT* (MITyC, 2010), para la calificación de eficiencia energética de grandes edificios del sector terciario, además tiene en cuenta la iluminación. Estos ejemplos son aplicaciones aptas para la certificación energética de edificios en España al estar reconocidas por el *Ministerio de Industria, Turismo y Comercio*.

También existen herramientas generales que a pesar de no estar reconocidos para la certificación energética se pueden utilizar para el cálculo de consumo y emisiones: *DOE-2.1E*, *DOE-2.2*, *ESP-r*, *TRNSYS 16* o posteriores, *ENERGY-PLUS 2.1.0.012* y *IDA-ICE*. También se pueden utilizar aquellos programas que son una interfaz de usuario que utilizan uno de los motores de cálculo anteriores, por ejemplo *DesignBuilder*, que utiliza el motor de *ENERGY-PLUS* (USDoE, 2010).

A continuación se muestra un procedimiento general de trabajo para realizar el cálculo energético en el orden en el que se suelen introducir los datos, previamente registrados e inventariados, en la aplicación escogida:

1. Introducción de los datos básicos del edificio

- a) Emplazamiento
- b) Orientación del edificio
- c) Tipo de edificio
- d) Tipo de uso
- e) Datos del edificio

2. Definición de los materiales y elementos constructivos usados en el edificio

- a) Solera
- b) Cubierta
- c) Paredes interiores
- d) Paredes exteriores
- e) Ventanas
- f) Puertas
- g) Puentes térmicos
- h) etc.

Es importante nombrar cada elemento generado para poder identificarlo posteriormente

3. Definición geométrica del edificio

- a) muros
- b) medianeras
- c) huecos
- d) suelo
- e) cubierta
- f) forjados interiores
- g) particiones
- h) etc.

Es aconsejable definir primeros los elementos constructivos por defecto

4. Definición de sombras

Definir el entorno del edificio para ajustarlo más a la realidad

5. Definición de sistemas y equipos

- a) ACS
- b) Unidades terminales
- c) Acumuladores
- d) Generadores
- e) etc.

Opcional: Introducir las curvas de los equipos, si difieren del equipo por defecto

6. Generación de resultados

7. Seleccionar la energía y emisiones resultantes

Para el resto de consumos que no requieran un cálculo complejo se ha de estimar la cantidad anual requerida.

Opcionalmente se puede predecir cómo evolucionará el consumo en el futuro. Por ejemplo, cómo afectará el cambio de instalaciones por otras con mayor eficiencia energética, o una futura rehabilitación, o incluso una previsión de la disminución del consumo por el incremento del precio de las fuentes de energía. Estas predicciones pueden transformar los consumos previamente calculados a lo largo de toda la vida útil del edificio.

3.5.2 Cálculo económico en la etapa de uso

En este apartado se trata de valorizar los flujos de entrada en la etapa de uso y los servicios considerados en los límites del sistema, mediante un factor de conversión que transforme las unidades de entrada en unidades monetarias. Como ya se han calculado los flujos y servicios en el anterior apartado, sólo es necesario multiplicar los resultados por los factores de conversión.

Opcionalmente se puede considerar que los factores de conversión así como otras variables financieras no son constantes en el tiempo. En este caso se debe realizar una proyección a medio o largo plazo de cómo evolucionarán estas.

3.5.3 Análisis ambiental

El procedimiento para realizar el análisis del ciclo de vida consta de tres partes funcionales: la introducción de datos en cada una de las etapas del ciclo de vida, la realización del análisis y la selección de los datos necesarios.

Se ha realizado un procedimiento general de trabajo para realizar el análisis ambiental en el orden en el que se suele trabajar:

1. Introducción de datos

- a) Etapa de producto
 - i. Extracción de materias primas
 - ii. Transporte
 - iii. Fabricación
- b) Etapa de construcción
 - i. Transporte de materiales
 - ii. Procesos de construcción
 - iii. Gestión de residuos
- c) Etapa de uso
 - i. Demanda de energía
 - ii. Transporte de usuarios

Mantenimiento / Rehabilitación:

- i. Materiales
- ii. Transporte de materiales
- iii. Procesos
- iv. Residuos
- v. Transporte de residuos
- d) Etapa de fin de vida
 - i. Procesos de deconstrucción
 - ii. Transporte de residuos
 - iii. Gestión de residuos

2. Ejecución del análisis

3. Selección de resultados

La introducción de datos en la etapa de pre-uso (producto y construcción) se puede realizar de dos maneras distintas, por partidas o de forma global, según se haya definido en la fase de definición (secciones *Transporte* y *Materiales y procesos*).

- **Partidas:**

Cada medición tiene una entrada en la aplicación que se compone de la lista de materiales que la componen, el transporte por separado de cada material, los procesos necesarios para realizar la medición, los residuos generados y su transporte al centro de gestión de residuos.

- **Global:**

En el inventario de datos se generan listas de materiales, transportes de materiales, procesos, residuos y transporte de residuos. Se introduce cada lista de elementos, separando si hace falta en etapa de producto para materiales y transporte de materiales, y en etapa de construcción para procesos, residuos y transporte de residuos.

Los procesos que no son aplicables por mediciones se han de aplicar globalmente.

Los resultados de los cálculos de demanda de energía se pueden aplicar en el análisis de tres maneras diferentes:

- **Demanda de energía primaria**

El cálculo de demanda de energía ofrece resultados en energía primaria, ya que ha tenido en cuenta el rendimiento de las instalaciones y el tipo de energía utilizado. La aplicación puede realizar un cálculo dinámico aplicando curvas de rendimiento según la carga de la instalación, ofreciendo un resultado más próximo a la realidad. Por tanto se introduce en la etapa de uso la cantidad de energía primaria calculada.

- **Demanda de energía final**

El cálculo de demanda de energía ofrece resultados en energía final. Se introduce en la etapa de uso la cantidad de energía final como cantidad del equipo. La unidad/módulo tiene datos promedios de uso de la instalación. Por tanto se introduce en la etapa de uso la cantidad de energía final calculada.

- **Directo**

El cálculo de demanda de energía ofrece resultados en energía primaria y en emisiones de CO₂. En este caso no es necesario introducirlos en la aplicación de ACV, sino que se pondrán directamente en los resultados de la etapa de uso.

3.5.4 Análisis económico

El análisis económico consta de tres partes funcionales, como en el análisis ambiental: la introducción de datos en cada una de las etapas del ciclo de vida, la realización del análisis y la selección de los datos necesarios.

Se presenta a continuación un procedimiento general de trabajo para realizar el análisis económico.

1. Introducción de datos

- a) Etapa de diseño
- b) Etapa de producto
 - i. Materiales
- c) Etapa de construcción
 - i. Procesos

- ii. Mano de obra
- iii. Transporte
- iv. Gestión de residuos
- d) Etapa de uso
 - i. Consumo de energía y agua
 - ii. Transporte de usuarios
 - iii. Mantenimiento
 - iv. Rehabilitación
- e) Etapa de fin de vida
 - i. Procesos
 - ii. Mano de obra
 - iii. Transporte
 - iv. Gestión de residuos

2. Ejecución del análisis

3. Selección de resultados

Como elementos diferenciadores respecto al análisis ambiental, se debería tener en cuenta la etapa de diseño, ya que esta etapa tiene un coste a pesar de no tener impactos medioambientales atribuibles. En la etapa de producto sólo se tiene en cuenta el coste de los materiales, ya que su coste integra todo lo necesario para tener el material listo para usar. En las etapas de construcción y de fin de vida se tiene en cuenta el coste de la mano de obra. Finalmente en la etapa de uso, los conceptos de mantenimiento y rehabilitación ya incluyen todo el coste que puedan tener estas entradas.

3.5.5 Análisis social

En el análisis social se tienen en cuenta las implicaciones sociales del edificio en cada una de las etapas de vida. Hay acciones dentro del proyecto que tienen la intención de beneficiar la sociedad o de promover el bienestar, la comodidad y la productividad de los ocupantes del edificio o los trabajadores de la construcción.

Una acción que tiene un efecto directo en la economía local es el uso de materiales y productos fabricados dentro de un radio determinado del emplazamiento del edificio, en vez de comprarlos en regiones más alejadas, o incluso, en otros países. Aparte se obtienen beneficios medioambientales colaterales, como hacer coincidir los materiales de construcción con los recursos locales y la reducción de los impactos ambientales asociados al transporte de materiales. También incentivan la economía local el uso de energía renovable y la utilización de microgeneración y otras tecnologías que requieran de personal cualificado. La energía renovable, tanto si se produce en el edificio o en localizaciones cercanas, evitan tener que importar combustibles fósiles.

La disponibilidad cercana de transporte público y de servicios básicos es un punto a favor a la accesibilidad de los usuarios. Así se evitan desplazamientos innecesarios, se reduce la contaminación y se aumenta la comodidad de los ocupantes del edificio.

Acciones que mejoran la salud y confort de los usuarios es el fomento del uso de la bicicleta y del desplazamiento a pie, la ventilación natural, el uso de productos no tóxicos, el confort térmico, lumínico y acústico, y minimizar el efecto de isla de calor, entre otros.

El análisis social, de forma análoga al análisis ambiental y económico, consta de tres partes funcionales: la introducción de datos en cada una de las etapas del ciclo de vida, la realización del análisis y la selección de los datos necesarios.

1. Introducción de datos

- a) Etapa de producto
- b) Etapa de construcción
- c) Etapa de uso y mantenimiento/rehabilitación
- d) Etapa de fin de vida

2. Ejecución del análisis

3. Selección de resultados

3.6 FASE DE RESULTADOS

Los resultados se dividen en dos grandes grupos: el primer grupo contiene la descripción del estudio, los límites del sistema, la unidad funcional y cómo se han realizado los cálculos y análisis; y el segundo grupo contiene los resultados de los cálculos y los análisis. Es frecuente que en los estudios en los que se realiza un análisis de ciclo de vida de un edificio se muestren en detalle los resultados del análisis, pero se obvian datos importantes de cómo se han realizado estos. Esta metodología remarca la importancia que tienen tanto los detalles del edificio como de las características y restricciones de los cálculos y los análisis para poder generalizar la comparación entre diferentes estudios, por lo tanto se recomienda encarecidamente que se publiquen.

En el apartado *Objetivo, alcance y resultados* (3.2.1, p. 99) queda determinado a qué público se han de mostrar los resultados, cuál ha de ser el tipo y formato del informe y qué resultados deben mostrarse. A continuación se describirán de una manera exhaustiva todos los resultados aptos para ser mostrados, estructurados en dos grandes grupos: los obtenidos en la fase de definición y los obtenidos en los cálculos y los análisis.

3.6.1 Resultados de la fase de definición

Al realizar la fase de definición se crean unos resultados intermedios que son necesarios para completar el inventario y para desarrollar los cálculos y los análisis. Se pueden emplear estos mismos resultados para mostrarlos en esta fase.

Los primeros resultados a mostrar están relacionados con el objetivo y el alcance del estudio. Los siguientes con los límites del sistema y con la unidad funcional. Los últimos resultados muestran las características de los análisis.

- *Objetivo, alcance y resultados* (3.2.1, p. 99)

Se expondrán la aplicación o uso previsto, la justificación del estudio y el alcance.

- *Límites del sistema* (3.2.8, p. 105)

Se detallarán cuáles son los límites del sistema y en especial también se tratarán los siguientes temas: la vida útil estimada, las etapas del ciclo de vida, el tratamiento de materiales, procesos y transporte, consideraciones sobre cambios pronosticados en el futuro y otras limitaciones.

- *Vida útil estimada* (3.2.2, p. 99)

Se expondrán la vida útil estimada y las estimaciones previstas de mantenimiento y rehabilitación.

- *Etapas del ciclo de vida* (3.2.3, p. 100)

Se describirán las etapas del ciclo de vida y los procesos y operaciones para cada una de ellas.

- *Materiales y procesos* (3.2.4, p. 102)

Se mostrará si el tratamiento de los datos de materiales y procesos en el análisis ambiental o económico ha sido realizado de forma global o integrada en las partidas de obra.

- *Transporte* (3.2.5, p. 103)

Se mostrará si se ha realizado el tratamiento del transporte para los siguientes aspectos: materiales, instalaciones, residuos, trabajadores, maquinaria e infraestructura y usuarios del edificio. Para cada uno de estos aspectos se mencionará si han sido realizados de forma global o integrada en las partidas de obra y además cuáles son las distancias medias y los medios de transporte utilizados.

- *Prospecciones de energía e infraestructuras* (3.2.6, p. 104)

Se describirán los escenarios propuestos para cambios futuros de energía y tecnología, y cómo afectarán al edificio.

- *Limitaciones* (3.2.7, p. 105)

Se detallarán las limitaciones existentes en el estudio, por ejemplo, aquellos existentes en los cálculos y los análisis.

Dentro de los límites del sistema también se describirán, si es necesario, la gestión de residuos, si se realiza el análisis del edificio completo y cimientos o sólo una parte del edificio, el criterio de corte empleado, las entradas y salidas relevantes según el criterio de corte, los procesos de construcción dentro del emplazamiento y los trabajos temporales relacionados con la construcción.

- *Unidad funcional* (3.2.9, p. 108)

Como descripción de la unidad funcional se deben incluir los datos generales del edificio, como su situación, su descripción y la vida útil estimada. También es muy importante mostrar las dimensiones generales, como el número de plantas, de viviendas y de residentes, la distribución y altura de cada planta y la superficie y volumen construidos, útiles y calefactados. Por último también debería realizarse la descripción de las especificaciones de climatización y a qué espacios se refieren.

- *Cálculos* (3.2.10, p. 109)

Se especificarán los cálculos que se deben realizar, así como las aplicaciones que se utilizarán para realizar estos cálculos.

- *Análisis ambiental* (3.2.11, p. 109)

Como descripción del análisis ambiental se especificará cómo se realizará el análisis y qué aplicación se utilizará. También se deben mostrar las cuestiones referentes a los *datos* (3.2.11, p. 110), a las *categorías de impacto* (3.2.11, p. 110) aplicadas y a la *metodología de evaluación de impacto ambiental* (3.2.11, p. 111) utilizada. Por ejemplo se debería decir si los datos usados son propios o mencionar la fuente en caso contrario.

- *Análisis económico* (3.2.12, p. 112)

En la descripción del análisis económico, se debe detallar cómo se debe realizar el análisis, qué aplicación se utilizará y cómo se combina con el análisis ambiental. Detallando si es preciso la diferencia entre los límites del sistema de ambos análisis.

- *Análisis social* (3.2.13, p. 113)

En la descripción del análisis social, se debe detallar cómo se debe realizar el análisis, qué aplicación se utilizará y cómo se combina con el análisis económico para aquellos aspectos socio-económicos. Y también cómo se combina con el análisis ambiental.

3.6.2 Resultados de la fase de cálculo y análisis

Indistintamente si se trata del análisis ambiental, como el económico o social, los resultados deberían ser presentados por etapas, por ejemplo: diseño, producto, construcción, uso y fin de vida. Los resultados de la etapa de uso también deberían diferenciarse en cuanto estén relacionados con la operación del edificio o si, por el contrario, se trata de operaciones de mantenimiento o rehabilitación. Los resultados de la operación del edificio a su vez deberían desagregarse por aspectos ambientales: calefacción, refrigeración, ventilación, ACS, iluminación y otros.

A continuación se muestra un esquema de cómo podrían estar estructurados los resultados:

- Etapa de diseño
- Etapa de producto
- Etapa de construcción
- Etapa de uso
 - Operacional
 - * (Calefacción)
 - * (Refrigeración)
 - * (Ventilación)
 - * (ACS)
 - * (Iluminación)
 - * (Otros)
 - (Mantenimiento)
 - (Rehabilitación)
- Etapa de fin de vida

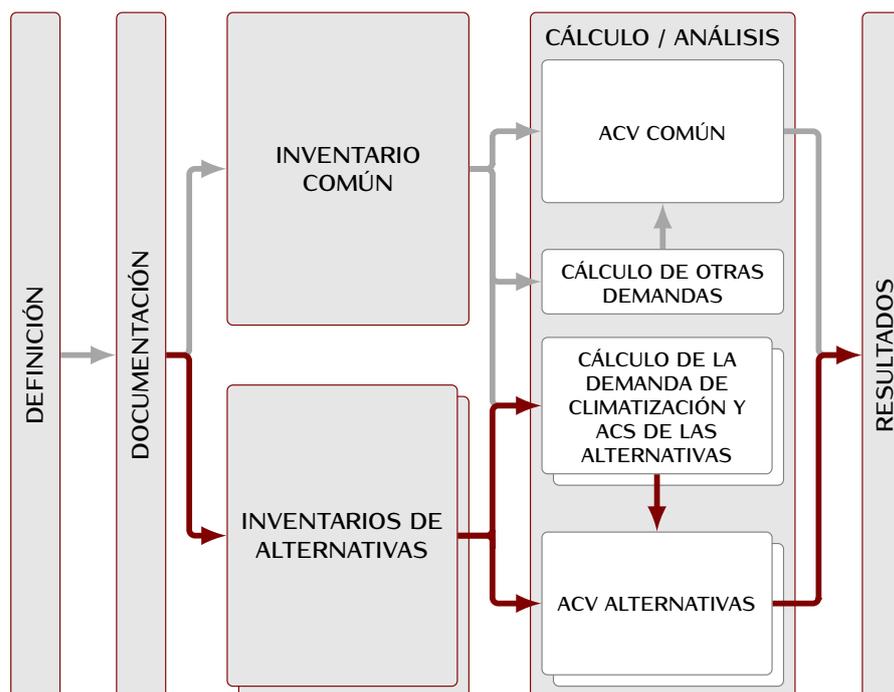


Fig. 3.6: Metodología. Esquema alternativas

3.7 METODOLOGÍA ADAPTADA A ALTERNATIVAS

Uno de los objetivos de estudios de ACV aplicados a edificios es el análisis de alternativas, en el que al variar un parámetro o combinación de parámetros se puede ver qué alternativa es mejor para un cierto propósito. El tipo de variación se puede clasificar en dos grupos, uno en el que se cambian aspectos físicos del edificio, como los materiales, la forma, la orientación o el número de plantas, entre otras posibilidades. Y otro en el que se cambian aspectos dentro de la definición del edificio: unidad funcional, vida útil, límites del sistema y consideraciones a nivel de transporte, residuos o procesos de construcción, entre otros. Para poder comparar dos o más alternativas, una opción es aplicar la metodología completa de principio a fin tantas veces como alternativas haya, y después, comparar los resultados.

Sin embargo, algunas partes de la metodología son comunes a todas las alternativas propuestas y solo es necesario realizarlas una vez. Mediante la modificación de la metodología enfocada al análisis de alternativas se puede evitar que se repitan muchas tareas. Para ello es necesario separar la parte del inventario, de los cálculos y de los análisis que son comunes a todas las alternativas, y haciendo solo la repetición de aquellas partes que son diferentes.

En la figura 3.6 se muestra el esquema de la metodología enfocada al análisis de alternativas, en el que se separan los elementos de la metodología que son comunes a todas las alternativas de aquellos elementos que varían según la alternativa.

En la fase de definición se debe documentar cuáles son las alternativas propuestas, cuál es la alternativa base y detallar en qué consiste la variación de las demás alternativas con la alternativa base. En la fase de documentación se debe proporcionar tanto la información de las partes comunes como la información relativa a cada una de las alternativas.

En la fase de inventario de datos se debe aplicar la metodología para la parte común, y volverla a aplicar para cada una de las alternativas.

En la fase de cálculo y análisis, es muy probable que el cálculo de demanda energética se haya de realizar completo tantas veces como alternativas haya, ya que es un sistema muy complejo y no divisible en partes independientes. Sin embargo, otros cálculos de demanda pueden no depender de las alternativas, como la demanda de ventilación y de agua, entre otras. Respecto al análisis, es sencillo separar aquellas operaciones que solo hace falta realizar una vez de aquellas que hará falta repetir para cada alternativa, ya que en el ACV todos los impactos son independientes y proporcionales a las entradas. Una vez realizado todos los cálculos y análisis, para cada alternativa se unirá la parte común a la parte variable.

En la fase de resultados se debe documentar los resultados de cada alternativa y cómo varían con la alternativa base. Finalmente se puede proceder a valorar la idoneidad de cada alternativa.

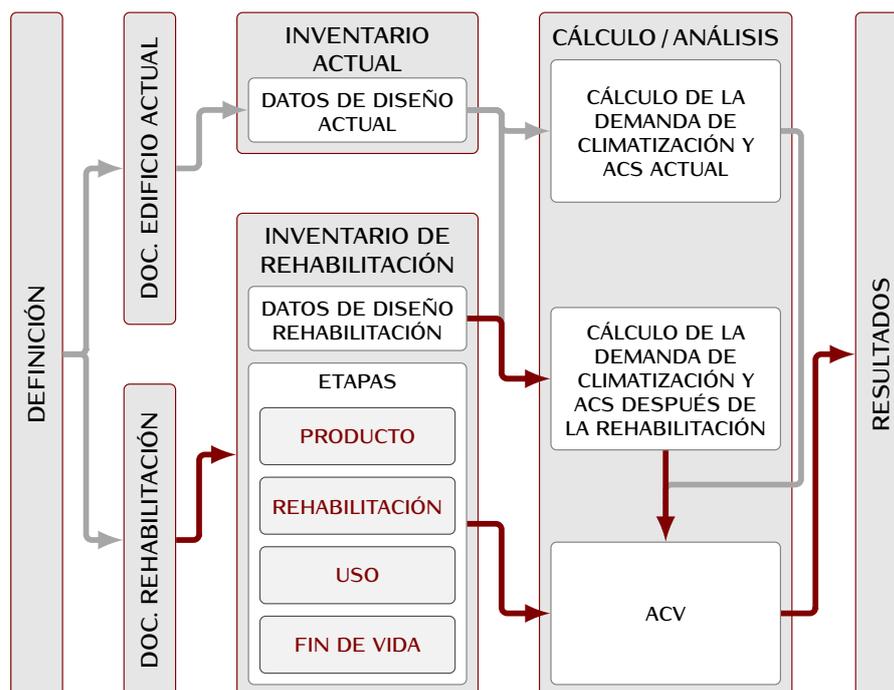


Fig. 3.7: Metodología. Esquema rehabilitación

3.8 METODOLOGÍA ADAPTADA A REHABILITACIÓN

Esta aplicación de la metodología general a la rehabilitación es un caso particular de alternativas, en el que se refiere a la disyuntiva entre seguir utilizando el edificio tal como está, que aún no ha llegado al fin de su vida útil, o rehabilitarlo para disminuir el consumo energético y aumentar el bienestar y comodidad de los ocupantes. Si la rehabilitación parte de un edificio que ya no está habilitado para vivir se puede utilizar la metodología general, ya que no hay que hacer ninguna comparación con el estado anterior.

Evaluar una rehabilitación es un caso diferente a la aplicación de la metodología general, ya que se parte que el edificio está construido. Las etapas de producto, construcción ya se han realizado. La etapa de uso cambiará radicalmente tras la rehabilitación. Y en la etapa de fin de vida queda muy poco margen de maniobra, por haber pocas decisiones a tomar. Sin embargo, a pesar de la diferencia en la aplicación, se pueden utilizar las mismas fases, con algunas variaciones.

La metodología aplicada a la rehabilitación no requiere hacer el análisis del ciclo de vida de todo el edificio, puesto que todas las etapas menos la de fin de vida ya han finalizado. Y esta etapa tampoco hace falta realizarla ya que tendrá presuntamente el mismo impacto realizándola con la rehabilitación que en un futuro más lejano al hacerse la deconstrucción del edificio. En cambio se requiere un cálculo de la demanda de climatización y ACS del edificio antes de la rehabilitación y otro cálculo después.

En la figura 3.7 se muestra el esquema de la metodología enfocada al análisis de la rehabilitación, en el que se separan los elementos de la metodología del estado actual del edificio y del estado del edificio rehabilitado.

En la fase de documentación se requiere tanto la documentación del proceso de rehabilitación como la documentación relativa al edificio antes de la rehabilitación. Pero sólo es necesaria aquella documentación referente a los datos de diseño. Contando que la climatología es igual para las dos documentaciones, sólo es necesaria la memoria, los planos, el pliego de condiciones y el estado de mediciones. A falta de información un experto puede evaluar los datos necesarios. Una variación permite utilizar datos de consumo reales en vez de simular el edificio tal como era.

La aplicación de la fase de inventario de datos tiene dos partes: una donde será necesario evaluar los datos de diseño del edificio actual; y otra donde será idéntica a la general con la salvedad de cambiar la etapa de construcción por la de rehabilitación.

En la fase de cálculo y análisis hace falta hacer un diferencial entre los cálculos de la demanda de climatización y ACS antes y después de la rehabilitación. El ACV solo tendrá en cuenta las actuaciones de la rehabilitación y el diferencial de demanda, que se supone negativo.

La fase de resultados es idéntica a la general.

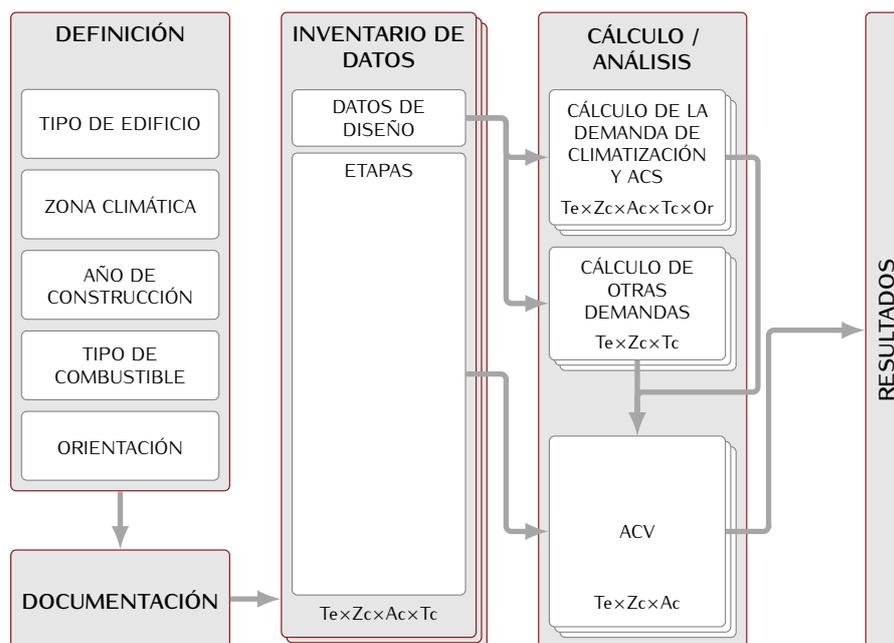


Fig. 3.8: Metodología. Esquema parque edificios

3.9 METODOLOGÍA ADAPTADA A UN PARQUE DE EDIFICIOS

Un parque de edificios es un conjunto de edificios que conforman un barrio, un distrito, una ciudad, una región, un país o un conjunto de países. Un conjunto de edificios pequeño puede estar formado por edificios homogéneos, pero si el conjunto es grande, estos edificios serán heterogéneos. Es posible caracterizar el conjunto mediante variables, y asignar los edificios a estas categorías.

Se puede estimar el consumo de energía y los impactos ambientales asociados de un parque de edificios, siempre y cuando se disponga de información suficiente. Este parque debe estar caracterizado por variables: tipo de edificio, zona climática, año de construcción, orientación, tipo de combustible, nivel de ingresos del hogar, régimen de tenencia, zona residencial, etc.

La aplicación de la metodología al realizarla sobre un parque de edificios es más compleja, y deben conocerse datos estadísticos de las variables a estudiar.

En la figura 3.8 se muestra el esquema de la metodología enfocada a un parque de edificios.

En la fase de definición se han de definir las variables a tener en cuenta, y definir aquellas parte de la definición que cambiará con estas variables. Es muy recomendable que para cualquier combinación queden sin variar el objetivo, alcance y resultados, las etapas del ciclo de vida, la unidad funcional, las proyecciones, los límites del sistema y especialmente cómo se harán los

cálculos y los análisis. Podrán variarse la vida útil estimada, el transporte y las limitaciones.

La fase de documentación se diferencia de la metodología general porque además es necesario tener datos estadísticos. También hacen falta datos específicos para cada uno de los valores de las variables consideradas, como en la metodología adaptada a alternativas, y datos generales, como en la metodología general.

En la fase de inventario se tendrán en cuenta las combinaciones de las variables. Es posible que el inventario sea independiente de alguna o algunas variable, y se podrán hacer las combinaciones sin tener en cuenta aquella o aquellas variable. Cada combinación tendrá un inventario diferente, en los que cambiarán algunos datos de diseño y/o algunos datos en las diferentes etapas del ciclo de vida.

La fase de cálculo y análisis es similar a la la fase de inventario, en el que cada cálculo o cada análisis puede ser independiente de alguna o algunas variables.

4 | CONCLUSIONES

En este capítulo se sintetizan las conclusiones generales de la presente tesis, se contrastan las hipótesis planteadas en el estado de la técnica, se expone la contribución de la tesis al conocimiento y finalmente se presentan futuras líneas de investigación.

4.1 CONCLUSIONES GENERALES

El objetivo final de la investigación es hacer progresos en el estado de la técnica. En el caso de esta tesis es proporcionar nuevas herramientas para mejorar la realización de análisis medioambientales, económicos y sociales de edificios. El papel principal de los análisis es evaluar cuáles son los impactos medioambientales, económicos y sociales de cualquier actuación en un edificio, generalmente en la etapa de diseño. Esta investigación está centrada en la mejora del proceso y de la aplicación de los cálculos y de los análisis y también de la publicación de los resultados. De esta manera se facilita por una parte la realización del estudio y por otra una difusión de los resultados que se traduce en una mejor comparación potencial con otros estudios.

Incrementar el rendimiento final de los edificios es crucial, y además, la mayor parte de la energía consumida por los edificios es no renovable. Las únicas alternativas sostenibles a largo plazo son las fuentes de energía renovables.

La gran cantidad de emisiones generadas directa o indirectamente por los edificios dificultan el cumplimiento del pacto del protocolo de Kyoto, superando con creces los objetivos planteados. Las nuevas normativas y planes energéticos mejoran los precedentes pero no son suficientes para alcanzar los objetivos planteados. A medio y largo plazo se prevé un incremento progresivo de la temperatura superficial, especialmente en verano, y una tendencia a la disminución de la precipitación. Por lo que la demanda de calefacción no disminuirá y la demanda de refrigeración probablemente sea más alta.

La mayor parte de edificios son residenciales, con una proporción más alta de vivienda plurifamiliar que de vivienda unifamiliar. De los edificios no residenciales los más abundantes son, por orden decreciente de superficie: edificios industriales, almacenes, servicios comerciales y servicios burocráticos (oficinas). Sin embargo, sólo los edificios destinados a servicios comerciales y servicios burocráticos tienen la mayor parte de los recintos climatizados.

La mayoría de estudios sobre el consumo energético y las emisiones asociadas de los edificios incluyen únicamente la energía final y no la primaria. Esta pauta complica la comparación entre estudios, especialmente de diferentes regiones, ya que la energía primaria depende de la proporción de fuentes de energía utilizadas y de cómo se genera la electricidad. Debido al gran número de edificios existentes, existe un gran potencial de ahorro si se aumenta la eficiencia energética de estos. Se prevén aumentos del precio de la electricidad, del petróleo y del resto de energías no renovables en las próximas décadas. También se prevé un descenso de la demanda energética y las emisiones de dióxido de carbono (CO₂).

No hay una solución estándar para mejorar la eficiencia energética de un edificio. El ahorro potencial de una medida de mejora de la eficiencia energética es diferente para cada edificio, si bien es posible saber un rango de valores de este ahorro. Al combinar medidas, el ahorro es mayor, pero también la incertidumbre a priori de las actuaciones. La aplicación de estas medidas se ven entorpecidas por multitud de barreras: falta de información, el precio de la energía, la financiación, el proceso de implantación y barreras técnicas.

En la literatura se encuentran características de análisis de ciclo de vida (ACV) totalmente dispares. Tanto en vida útil, unidad funcional, límites del sistema, categorías de impacto, métodos de evaluación de impacto, bases de datos y aplicaciones o herramientas. Los resultados mostrados dependen de las características de los análisis y para poder compararlos es necesario disponer de un marco común.

La etapa de diseño es clave, ya que las decisiones tomadas en esta etapa influyen en todo el ciclo de vida del edificio. Los agentes de la edificación con más relación en la toma de decisiones son: el promotor, que decide aspectos básicos que tienen una gran influencia en la demanda energética; el proyectista, que concreta las decisiones planteadas por el promotor; el usuario, que tiene la capacidad de influir y decidir sobre el equipamiento; las instituciones financieras, que pueden financiar el proyecto según criterios medioambientales; y la administración, que limita y controla las actuaciones en el ámbito de la edificación.

Para edificios normales, la energía incorporada representa una baja proporción en el consumo total de energía. Sin embargo, en edificios de alta eficiencia energética la proporción de la energía incorporada puede ser mayor incluso que la energía operacional. Por tanto, la importancia relativa de la energía incorporada respecto al consumo total será cada vez mayor. En la literatura, la energía incorporada no suele estar en términos de energía primaria y entorpece la comparación con otros estudios.

En la fase de definición de la metodología, se definen todas las decisiones que se pueden dar en una evaluación de sostenibilidad de un edificio. Al agrupar estas decisiones, muchas iteraciones que normalmente se dan en un ACV se reducen o se confinan funcionalmente. Procediendo de esta manera se puede ejecutar el resto de las fases de la metodología de forma mecánica.

En la fase de definición de la metodología, se recoge toda la información directa o indirecta disponible del edificio. Si en vez de un proyecto de detalle,

sólo se dispone de un proyecto básico, debería ser suficiente para realizar un análisis de sostenibilidad con un grado de aproximación admisible. En la construcción de un nuevo edificio, no hay documentos para su rehabilitación, ya que tendría lugar en momento alejado en el futuro. Y por tanto, no se pueden predecir las técnicas ni la legislación para ese momento, tal como se puede hacer con el mantenimiento, o incluso, como se suele hacer con la etapa de fin de vida.

La fase de inventario de datos de la metodología sirve para asimilar los datos recolectados en la fase previa de documentación y organizar la información en un formato que sea directamente aplicable en la siguiente fase de cálculo y análisis.

La fase de cálculo y análisis de la metodología, al tener todos los datos necesarios dispuestos para su introducción en las herramientas de cálculo y de análisis, se puede ejecutar de una forma mecánica.

En la fase de resultados de la metodología se muestran los resultados de una manera transparente e íntegra, y permite en gran medida trazar el origen de los datos. Al exponer los datos relevantes y los resultados lo más desagregados posible ayuda a la comparación de los resultados con otros estudios.

La aplicación de la metodología a un caso práctico confirma que la metodología es apta para ser empleada y se obtienen los resultados esperados para la realización del ACV según el método estándar.

Las políticas actuales no tienen en cuenta la sostenibilidad en los edificios, si bien se acercan bastante, ya que en la etapa de uso se buscan soluciones de eficiencia energética que además sean económicas. En las normativas debería fomentarse que se use la energía primaria en vez de la energía final. Y, sobretodo, tener en cuenta las etapas de construcción y de fin de vida.

También hay metodologías, como LEED y BREEAM, que tienen en cuenta no sólo los aspectos medioambientales, sino también aspectos económicos y sociales. También tienen en cuenta algunos aspectos de la etapa de construcción y de la etapa de fin de vida. Estas metodologías tienen la ventaja que permiten la comparación de edificios entre sí de una manera muy fácil. Por contra, los resultados están cuantificados en puntos, con las limitaciones que comporta. Por ejemplo, si la diferencia entre dos alternativas es pequeña es posible que obtengan los mismos puntos y no interese aplicar la alternativa más cara aunque sea tenga mayores beneficios medioambientales o sociales.

Las aplicaciones que gestionan obras y que operan con estado de mediciones, tienen una base de datos económica y suelen tener información muy básica sobre las emisiones de CO₂. Estas aplicaciones deberían tener una base de datos con más impactos ambientales, de datos fiables y contrastados. De manera que se pudieran obtener datos medioambientales de una manera rápida e integrada con el estado de mediciones. No sería muy difícil incorporar en el estado de mediciones los resultados de los cálculos energéticos y de recursos, así como otras etapas o subetapas del ciclo de vida como el mantenimiento, rehabilitación y fin de vida.

4.2 CONTRASTE DE LAS HIPÓTESIS PLANTEADAS

En el capítulo 2.10 del estado de la técnica, se plantearon una serie de hipótesis que se contrastan en este apartado. Este contraste se realiza recogiendo todo el trabajo realizado en esta tesis doctoral. Las hipótesis realizadas se dividen en *hipótesis particulares* y en la *hipótesis general*.

4.2.1 Hipótesis particulares

Hipótesis 1: Es posible aplicar la metodología a los edificios más usuales: edificios residenciales, oficinas, almacenes y fábricas

Tal como se analiza en el capítulo 2.3 y 2.9.3, los edificios más usuales son: edificios residenciales, oficinas, almacenes y fábricas. Todos estos edificios se construyen de la misma manera, tienen los mismos documentos, comparten materiales y sistemas constructivos, aunque algunos sean particulares para cada tipología.

Las cinco fases de la metodología son aplicables a todos los tipos de edificios (capítulo 3). Todos los edificios tienen límites del sistema, unidad funcional y supuestos como la vida útil estimada y las etapas del ciclo de vida (sección 3.2). Todos los edificios tienen documentación general y específica (sección 3.3). Los datos se pueden clasificar en datos de diseño y por etapas del ciclo de vida (sección 3.4). A todos los edificios se les puede aplicar cálculos y análisis de ciclo de vida (sección 3.5). Y por supuesto, todos los edificios tienen resultados (sección 3.6).

Del contraste de la hipótesis, la tipología del edificio no invalida la aplicación de la metodología general ni tampoco de las metodologías adaptadas. Y además, los edificios más usuales, al ser un subconjunto seleccionado de tipos de edificio, por inferencia no invalidan esta aplicación. Por tanto, se concluye que la hipótesis 1 se puede considerar como *cierta*.

Hipótesis 2: La aplicación de la presente metodología es compatible con el uso paralelo de otras metodologías de análisis de ciclo de vida ambiental, económico y social

La metodología propuesta no sustituye el uso de otras metodologías de análisis de ciclo de vida, sino que las complementa. Primero reúne en la fase de definición todas las decisiones que se pueden dar en los análisis de ciclo de vida, sean de carácter ambiental, económico o social (sección 3.2). Después extrae de la documentación existente todos los datos necesarios para estos análisis (sección 3.3). Y finalmente, procesa estos datos para utilizarlos directamente en los análisis (sección 3.4).

Además, la metodología propuesta permite el uso simultáneo de cualquier combinación de análisis de ciclo de vida. No obstante, cada análisis tendrá sus propios resultados, que serán independientes entre sí.

Del contraste de la hipótesis 2 se concluye que esta se puede considerar como *cierta*.

Hipótesis 3: La metodología es flexible para la elección de unidad funcional

En el estado de la técnica se exponen las diferentes unidades funcionales que se utilizan en la literatura (subsección 2.6.2). A partir de este análisis se demuestra que existe una gran variedad de unidades funcionales. La metodología propuesta deja la libertad de escoger la unidad funcional, como se puede comprobar en la subsección 3.2.9.

Del contraste de la hipótesis 3 se concluye que esta se puede considerar como *cierta*.

Hipótesis 4: La metodología es flexible para la elección de categorías de impacto y métodos de evaluación de impactos

En el estado de la técnica se exponen las categorías de impacto y los métodos de evaluación de impactos que se utilizan en la literatura (subsecciones 2.6.3 y 2.6.4). A partir de este análisis se demuestra que existe una gran variedad de categorías de impacto y de métodos de evaluación de impactos. La metodología propuesta deja la libertad de escoger tanto las categorías de impacto, como el método de evaluación de impactos (subsección 3.2.9).

Del contraste de la hipótesis 4 se concluye que esta se puede considerar como *cierta*.

Hipótesis 5: La metodología es flexible para la elección de aplicaciones de cálculos y de análisis

En el estado de la técnica se exponen diferentes aplicaciones de ACV que se utilizan en la literatura (subsección 2.6.6). En la sección 3.5.1 se enumeran aplicaciones y herramientas de cálculo, simplificadas o generales, que se pueden utilizar para los cálculos. A partir de este análisis se demuestra que existe una gran variedad de aplicaciones y herramientas de cálculo y de ACV. La metodología propuesta deja la libertad de escoger las aplicaciones de cálculos y de análisis de ciclo de vida ambiental, económico y social (subsecciones 3.2.10, 3.2.11, 3.2.12 y 3.2.13).

Del contraste de la hipótesis 5 se concluye que esta se puede considerar como *cierta*.

Hipótesis 6: Es posible comparar dos estudios aunque no tengan la misma unidad funcional o límites del sistema, si estos disponen de suficiente información

La comparación de dos estudios está asegurada cuando la unidad funcional y los límites del sistema son idénticos. Por ejemplo, en el caso de la metodología adaptada a alternativas (sección 3.7) la fase de definición es común. Por tanto, comparten exactamente la misma unidad funcional y los mismos límites del sistema. Y los resultados de las diferentes alternativas son perfectamente comparables entre sí.

Para casos en los que la unidad funcional, los límites del sistema o ambos sean diferentes, se pueden comparar los resultados si se puede realizar una conversión de uno de los dos estudios para que ambos compartan una base común. De manera que las suposiciones y el contexto de cada estudio sean equivalentes. En las secciones 3.2.9 y 3.2.8 se definen factores y propiedades propios de cada estudio, como la vida útil estimada, las etapas del ciclo de vida, el transporte, la gestión de residuos, limitaciones, criterio de corte, procesos incluidos, procesos excluidos y datos concretos del edificio.

La idoneidad de la conversión de las bases de los dos estudios para la confluencia hacia una base común es específica a cada caso, y no se puede garantizar que todos los casos confluyan. Sin embargo, la divulgación de los factores y propiedades que definen la unidad funcional y los límites del sistema, facilita que sea posible la conversión hacia una base común.

Del contraste de la hipótesis 6 se concluye que esta se puede considerar como *cierta con matices*.

Hipótesis 7: La metodología puede adaptarse para realizar análisis de alternativas, rehabilitación y evaluación de parque de edificios

En las secciones 3.7, 3.8 y 3.9, se demuestra que mediante pequeñas modificaciones se pueden utilizar las diferentes fases y partes de fases, para crear metodologías aplicadas a resolver problemas concretos.

En la metodología adaptada a alternativas (sección 3.7) se utiliza la misma estructura que en la metodología general, pero separando parte de la fase de inventario, parte de los cálculos y análisis, y repitiendo sólo las partes que son diferentes.

En la metodología adaptada a rehabilitación (sección 3.8) se utiliza la misma estructura que en la metodología general, pero separando la documentación, el inventario y los cálculos para el edificio una vez antes y una vez después de la rehabilitación. Los análisis, sin embargo, no son del edificio entero y sólo hace falta realizarlos una vez.

En la metodología adaptada a un parque de edificios (sección 3.9) se utiliza la misma estructura que en la metodología general, pero aplicando cada fase tantas veces como combinaciones de variables se den.

Del contraste de la hipótesis 7 se concluye que esta se puede considerar como *cierta*.

4.2.2 Hipótesis general

La aplicación de la metodología permite obtener información medioambiental, económica y social para todo el ciclo de vida de un edificio y de cada una de sus etapas, de un modo más directo que el marco de trabajo establecido por la metodología estándar de ACV y mostrando resultados que permiten la comparación con otros estudios, especialmente si han usado esta misma metodología.

La metodología estándar de ACV (sección 2.6) es una técnica iterativa, y en el transcurso de su aplicación algunos aspectos deben ser modificados. Cada fase individual utiliza los resultados de las otras fases, por tanto, la iteración es un mecanismo idóneo para adaptar el estudio a los objetivos originales. La metodología estándar de ACV sirve para cualquier tipo de producto y servicio, aunque sólo tiene en cuenta cuestiones medioambientales. Sacrificando la universalidad de la aplicación de la metodología estándar a cambio de una reducción en la reiteración, se traduce en la metodología propuesta (capítulo 3). Cada fase de la metodología propuesta sólo necesita datos de la fase precedente (sección 3.1). Sin embargo, cualquier cambio en la definición del estudio requiere que se repita, con más o menos modificaciones, las fases posteriores.

En la fase de resultados (sección 3.6) se exhorta a divulgar todos los factores y propiedades que han influido en la definición del estudio, especialmente en la definición de la unidad funcional y los límites del sistema. Al tener todos estos datos adicionales que generalmente no se suelen divulgar, la conversión de los datos del estudio en cuestión permite que las suposiciones y el contexto de otros estudios sean equivalentes. Si los otros estudios también han utilizado esta metodología el potencial de conversión aumentará. No obstante, una mayor visibilidad de los datos adicionales no garantiza que se pueda llegar a una equivalencia de las suposiciones y el contexto.

Del contraste de la hipótesis general se concluye que esta se puede considerar como *cierta con matices*.

4.3 CONTRIBUCIÓN AL CONOCIMIENTO

El trabajo realizado en esta tesis doctoral ha significado un avance en el conocimiento en los puntos siguientes:

- Estado de la técnica y análisis en el contexto de la sostenibilidad en edificios, específicamente sobre estos temas: sostenibilidad, cambio climático, edificios existentes (tipologías y estado del parque edificatorio), consumo y emisiones asociadas a la vivienda, medidas de mejora de la eficiencia energética, análisis de ciclo de vida, agentes que participan en el ciclo de vida de un edificio y energía operacional e incorporada.
- Se ha realizado una metodología que incluye aspectos medioambientales, económicos y sociales para evaluar los impactos de un edificio en todo su ciclo de vida.
- Se han identificado las decisiones tomadas tanto en el proyecto como en la evaluación medioambiental, económica o social de la ejecución de este proyecto.
- Se han determinado los momentos críticos en la toma de decisiones y los actores que están involucrados en ellas.
- Se han determinado cuáles son los datos necesarios para realizar los cálculos y las evaluaciones y dónde se encuentran.
- Se han desarrollado varias extensiones de la metodología para aplicaciones concretas. La primera aplicación se centra en la evaluación comparativa de dos o más alternativas de materiales, de soluciones constructivas y de otros parámetros. La segunda en la rehabilitación de un edificio. Y la última en la evaluación de un parque de edificios.

Esta tesis ha contribuido a mejorar la realización de análisis medioambientales, económicos y sociales aplicados a un edificio, y especialmente, a una mejora de su posterior comparación con otros análisis. En general, se ha demostrado que la metodología propuesta es apropiada mediante la validación de esta para un caso de estudio.

4.4 FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

En la realización de esta tesis doctoral se han detectado diversas posibilidades de realizar líneas de investigación que continúen y profundicen la contribución al conocimiento:

- Las metodologías de evaluación medioambiental basadas en listas, como LEED y BREEAM, siguen un patrón muy diferente a las metodologías de ciclo de vida. Si bien la metodología general propuesta en esta tesis es capaz de utilizarlas, sería oportuno hacer una adaptación de la metodología y hacerla más simple para estos casos específicos.
- Estudiar si se puede simplificar la metodología para su uso exclusivo a una tipología de edificio en concreto. Una vía de simplificación puede venir por la parametrización de las variables características del edificio, haciendo que el análisis sea sencillo. Otra vía puede venir mediante la creación de un perfil estándar en la fase de definición, evitando así tomar la mayoría de decisiones y estableciendo un marco común que sería beneficioso para la comparación entre casos que utilicen la misma metodología. Una última vía sería forzar el uso de cálculos simplificados.
- Realizar un estudio comparativo de los resultados de casos existentes en la literatura con casos en los que se ha aplicado las metodologías adaptadas a alternativas, rehabilitación y parque de edificios.
- Aplicar la metodología general para combinaciones de varios aspectos de la sostenibilidad: ACV, coste de ciclo de vida (CCV) y análisis de ciclo de vida social (ACV-S).

ANEJOS

A

APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA PARA UN EDIFICIO RESIDENCIAL

Se estudia un edificio plurifamiliar de nueva construcción de 7 viviendas distribuidas en tres niveles, con una superficie total construida de 523 m², situado en Rubí.

A.1 DEFINICIÓN

El uso se considera residencial. La ocupación de los espacios y las temperaturas de consigna se establecen según los valores por defecto de la aplicación de cálculo utilizada: Calener-VyP (MITyC, 2010).

Las necesidades energéticas consideradas son calefacción, Agua Caliente Sanitaria (ACS) y consumo eléctrico. Por la baja demanda de refrigeración necesaria en esta zona y al no haber instalación por defecto en el edificio, se descarta el cálculo de refrigeración. También se descarta la ventilación al no ser necesaria. Dentro del consumo eléctrico quedan el resto de necesidades energéticas, como cocina, electrodomésticos e iluminación.

Los límites del sistema incluyen: extracción y transporte de las materias primas hasta la fábrica, manufactura del producto y su transporte hasta la obra, utilización de energía para calefacción y ACS durante la vida estimada del edificio, utilización de maquinaria para la deconstrucción y transporte de residuos hasta el vertedero.

El nivel de detalle utilizado en la etapa de construcción incluye todos los materiales que suponen un mínimo del 1 % del peso total.

Se contempla el transporte de materiales y de los residuos en la etapa de construcción y deconstrucción, pero no de los trabajadores de la construcción ni de los usuarios.

La gestión de los residuos se realiza mediante la deposición en el vertedero.

La unidad funcional escogida es la energía final por unidad de superficie [kWh/m²] para un edificio con una vida estimada de 50 años, teniendo en cuenta todo el ciclo de vida del edificio.

Se han escogido las categorías de impacto de cambio climático y uso de energía no renovable. Como método de evaluación de impacto ambiental se ha escogido *IMPACT 2002+*. La aplicación que se ha utilizado es *Simapro* (PRé Consultants, 2011) con la base de datos *Ecoinvent v2* (Frischknecht y col., 2007c).



Fig. A.1: Edificio residencial. Fachada

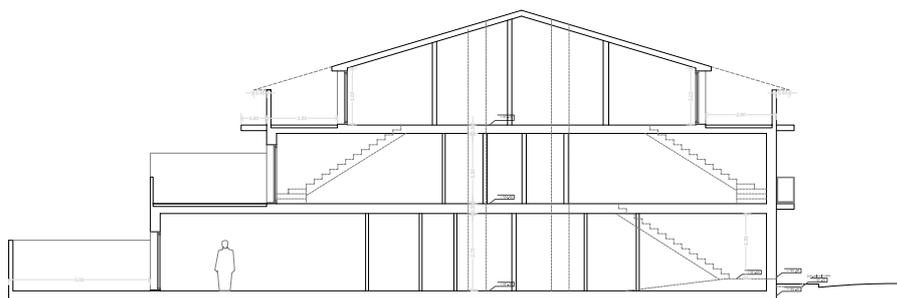


Fig. A.2: Edificio residencial. Sección

A.2 DOCUMENTACIÓN

La documentación consultada proporciona casi toda la información necesaria para realizar el estudio. La memoria del proyecto proporciona datos de la descripción del edificio, de su situación, del equipamiento. El estado de mediciones proporciona información sobre dimensiones y composiciones de los diferentes procesos y elementos constructivos del edificio. Es útil para saber la cantidad de tierra que hay que extraer, el número de metros de un determinado cerramiento, la cantidad de tuberías y cables necesarios.

Los planos proporcionan datos de superficies y alturas, distribución de espacios y la situación de cerramientos y huecos. En la figura A.1 se puede ver la fachada del edificio, en la figura A.2 una sección del interior y en la figura A.3 las tres plantas y la cubierta.

A.3 INVENTARIO DE DATOS

La recopilación de datos se estructura en varios apartados. En un primer apartado se recogen los datos de diseño que sirven para hacer los cálculos complementarios. En los siguientes apartados se recogen los datos referentes a cada etapa del ciclo de vida, y sirven para realizar el análisis del ciclo de vida.

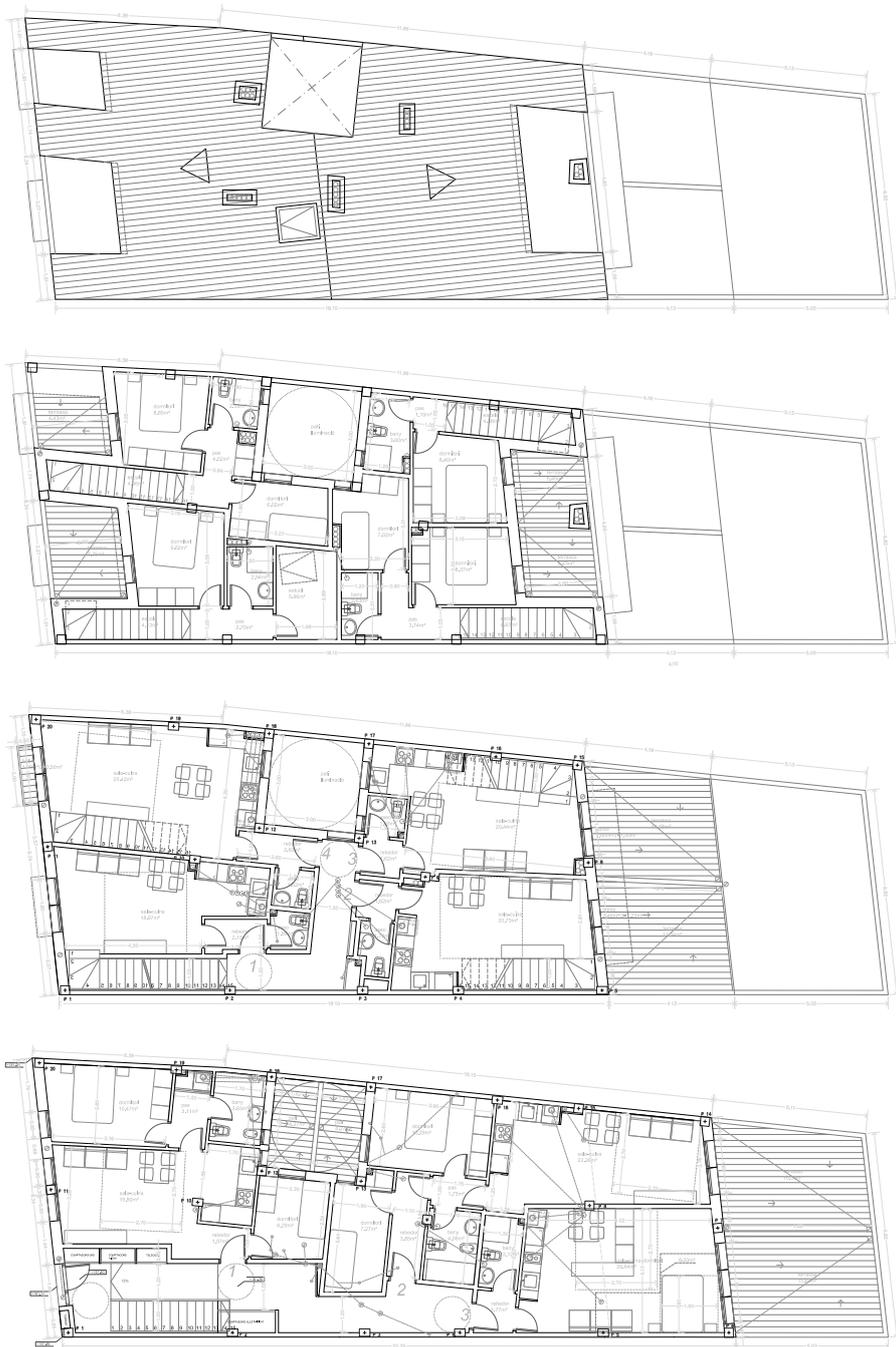


Fig. A.3: Edificio residencial. Plantas (Planta baja, Planta primera, Planta bajo cubierta, Cubierta)

Tabla A.1: Edificio residencial. Datos generales

Nombre del proyecto	Construcción de un edificio plurifamiliar de 7 viviendas en Rubí
Situación	Rubí
Latitud	41.4924 N
Longitud	2.0314 E
Altura	185 m
Descripción del edificio	Edificio plurifamiliar entre medianeras de 7 viviendas distribuidas en tres niveles. Tiene una superficie construida total de 523 m ² . Tres viviendas se sitúan en la planta baja, y las otras cuatro viviendas tienen estructura de dúplex y ocupan la planta primera y la planta bajo cubierta.
Tipología del edificio	Plurifamiliar
Vida útil estimada	50 años
Descripción del entorno	Tiene edificios adyacentes en los lados, y no se producen sombras en ninguna de las dos fachadas.

A.4 DATOS DE DISEÑO

La primera sección de los datos de diseño se refiere a los datos generales del edificio. Los datos provienen de la memoria, de mapas cartográficos y de datos recogidos en el lugar, como la descripción del entorno. La vida útil, es por otra parte, un dato de elección. La tabla A.1 recoge la información recopilada.

Seguidamente en la tabla A.2 se resumen los datos geométricos del edificio. Debido a la complejidad de la información, no es posible en este caso condensarla en tablas, por lo que se vinculan algunos elementos a los planos. Posteriormente, cuando se hagan los cálculos, se consultará la información directamente de los planos.

En la tabla A.3 se hallan resumidos los materiales que tienen alguna influencia en el comportamiento térmico del edificio, y también se muestran sus propiedades térmicas. Esta tabla de materiales junto con la tabla A.4 definen completamente los cerramientos. En esta última se adjunta ya calculado el valor de la transmitancia térmica U.

La tabla A.5 resume los dos tipos de huecos existentes en el edificio: puertas y ventanas. Se adjunta el valor de la transmitancia térmica global para cada hueco.

Como último punto de la definición constructiva de materiales, se definen las propiedades térmicas de los puentes térmicos en la tabla A.6.

Tabla A.2: Edificio residencial. Definición geométrica

Número de plantas	3
Número de viviendas	7
Número de residentes	18
Distribución de cada planta	–Planos–
Altura de planta baja	2.75 m
Altura de planta primera	2.50 m
Altura de planta bajo cubierta	2.03 – 3.90 m
Superficie contruida	523 m ²
Superficie útil	433 m ²
Superficie calefactada	433 m ²
Usos de las áreas	–Planos–
Cerramientos	–Planos–
Huecos	–Planos–
Obstáculos de fachada	–Planos–
Puentes térmicos	–Planos–

Tabla A.3: Edificio residencial. Materiales.

Resistencia térmica (R). Conductividad (λ). Densidad (ρ). Calor específico (c_p). Factor de resistencia a la difusión del vapor de agua (μ). Ladrillo perforado (LP). Ladrillo Hueco (LH).

Material	λ [W/m K]	ρ [kg/m ³]	c_p [J/kg K]	μ	R [m ² K/W]
1/2 pie LP métrico 60–80	0.567	1020	1000	10	–
Mortero de cemento	1.300	1900	1000	10	–
1 pie LP métrico 80–100	0.512	1000	1000	10	–
Espuma de poliuretano	0.050	70	1500	60	–
Tabicón de LH doble	0.212	630	1000	10	–
Yeso, dureza media	0.300	750	1000	4	–
Teja de arcilla cocida	1.000	2000	800	30	–
Hormigón armado	2.300	2400	1000	80	–
MW Lana mineral	0.031	40	1000	1	–
Placa de yeso o escayola	0.250	825	1000	4	–
1/2 pie LP métrico 80–100	0.512	900	1000	10	–
Gres cuarzoso	2.600	2700	1000	30	–
Mortero de áridos ligeros	0.410	900	1000	10	–
Cámara de aire sin ventilar	–	–	–	–	0.17
Cloruro de polivinilo	0.170	1390	900	50000	–
Gres(sílce)	2.300	2395	1000	30	–
Etileno propileno dieno monómero	0.250	1150	1000	6000	–
EPS Poliestireno Expandido	0.029	30	1000	20	–

Tabla A.4: Edificio residencial. Definición de cerramientos.
Ladrillo perforado (LP). Ladrillo Hueco (LH).

Nombre	U [W/m ² K]	Capa	Espesor [m]
Fachada	0.71	1 pie LP métrico 80–100	0.240
		Espuma de poliuretano	0.020
		Tabicón de LH doble	0.070
		Mortero de cemento	0.010
		Yeso, dureza media	0.010
Medianera	1.09	1 pie LP métrico 80–100	0.130
		Cámara de aire sin ventilar	0.002
		1 pie LP métrico 80–100	0.130
		Yeso, dureza media	0.010
Divisorias	2.04	Yeso, dureza media	0.010
		1 pie LP métrico 80–100	0.130
		Yeso, dureza media	0.010
Pavimento	1.33	Gres cuarzoso	0.020
		Mortero de áridos ligeros	0.020
		Hormigón armado	0.450
		Cloruro de polivinilo	0.010
		Mortero de áridos ligeros	0.100
Forjado	1.90	Gres cuarzoso	0.020
		Mortero de áridos ligeros	0.080
		Hormigón armado	0.200
		Yeso, dureza media	0.020
Cubierta	0.45	Teja de arcilla cocida	0.020
		Mortero de cemento	0.030
		Espuma de poliuretano	0.050
		Hormigón armado	0.250
		MW Lana mineral	0.020
		Placa de yeso o escayola	0.070

Tabla A.5: Edificio residencial. Definición de huecos

Nombre	U [W/m ² K]	Concepto	Valor	Unidad
Ventana	3.37	U acristalamiento	3.30	W/m ² K
		U marco	4.00	W/m ² K
		Factor solar	0.80	
		Parte opaca	10	%
		Permeabilidad	20.0	m ³ /h m ²
Puerta	4.00	U marco	4.00	W/m ² K
		Permeabilidad	20.0	m ³ /h m ²

Tabla A.6: Edificio residencial. Definición de puentes térmicos.

Coefficiente de transmisión térmica lineal (ψ), factor de temperatura superficial (FRSI).

Nombre	ψ [W/m K]	FRSI
Encuentro forjado-fachada	0.41	0.75
Encuentro suelo exterior-fachada	0.44	0.72
Encuentro cubierta-fachada	0.44	0.72
Esquina saliente	0.16	0.80
Hueco ventana	0.25	0.63
Esquina entrante	-0.13	0.82
Pilar	0.80	0.62
Unión solera pared exterior	0.13	0.74

Tabla A.7: Edificio residencial. Lista de instalaciones y características técnicas

Equipo	Característica	Valor
Caldera de gas natural	Potencia	23 kW
	Rendimiento	0.9
	Tipo de combustible	Gas natural

Dentro del apartado de especificaciones de climatización e iluminación, se definen los usos de cada espacio. En el caso actual todos los espacios son funcionalmente idénticos, de uso residencial, donde no se prevé una alta producción de humedad, con una renovación de aire por hora y tienen una carga interna baja, ya que se disipa poco calor.

Se considera que hay necesidad de ACS y de calefacción. La demanda de ACS se establece en $0.66 \text{ l/m}^2 \text{ día}$ a 60°C . La calefacción en los meses de octubre a mayo, a 20°C de las 7h hasta las 24h y de 17°C el resto. La refrigeración en los meses de junio a septiembre, a 25°C de las 16h a las 24h, y de 27°C de las 24h hasta las 8h.

La vivienda no dispone de ventilación forzada ni de refrigeración. La demanda de iluminación se estimará junto con el resto de energía operacional diferente a la climatización y ACS.

Dentro del apartado de definición técnica de instalaciones (tabla A.7), se definen las características técnicas de los equipos. Cada vivienda dispone de una caldera de gas natural mixta que proporciona calefacción y ACS, con 23 kW de potencia nominal y 0.9 de rendimiento nominal. El 70 % del ACS será de aportación solar.

Dentro del apartado de climatología, se define la zona climática como C2, correspondiente a la provincia de Barcelona. Al utilizar el programa Calener-VYP, los correspondientes datos climatológicos ya vienen definidos en este programa.

A.5 ETAPA DE PRODUCTO Y CONSTRUCCIÓN

En esta etapa se contempla:

- Los procesos constructivos
- La extracción de las materias primas
- El transporte de las materias primas a la fábrica
- La manufactura de las materias primas para la elaboración del producto necesario en la obra
- El transporte de los productos y otras materias primas hasta la obra

En el apartado de procesos constructivos se contempla el transporte de la maquinaria, la parte proporcional de la construcción y deconstrucción de esta maquinaria y la energía necesaria para realizar los procesos de construcción. En el transporte, se considera una distancia de 160 km que se realizará

dos veces, para transportar la maquinaria del almacén a la obra y viceversa. Se toma el tiempo de uso de la maquinaria en esta obra respecto a la vida útil total para estimar la proporción de la construcción y deconstrucción de la maquinaria asignable a la obra. Finalmente, la energía necesaria se estima en 37 000 kWh en concepto de electricidad y combustible necesario para realizar los procesos constructivos.

No se han incluido los materiales que no han podido ser cuantificados con exactitud, siempre que la cantidad ha sido despreciable (<1 % del peso total).

Respecto a los materiales y el transporte se ha considerado un sistema integrado en las partidas de obra. Donde para cada partida se descomponen y cuantifican los materiales, y se define el tipo de transporte de cada material según la capacidad del transporte y la distancia a recorrer. En cambio los residuos se han estimado a partir de la superficie construida según datos del *Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya* (ITeC, 2010).

Según la tipología de los materiales a transportar se han definido diversos tipos de transporte: furgonetas para pequeño material; camión pequeño para materiales diversos (como tuberías, puertas y ventanas); camión grande para ladrillos, morteros, baldosas; y transporte pesado para hormigón y piezas de hormigón, grava, tierra y residuos de obra.

La distancia considerada es de 20 km de media para los residuos de obra y la mayoría de materiales, excepto para grava y hormigón (40 km), piezas de hormigón (60–160 km), tierra y ladrillos (100 km) y placas de yeso (200 km).

En la tabla A.8 se muestra un ejemplo de partida de obra. El material se encuentra en la base de datos, con la información referente al proceso de extracción de materiales, transporte y proceso de fabricación. Si no fuese así debería fraccionarse en flujos elementales, y estimar el transporte y el proceso de fabricación. Sin embargo, se requiere que las entradas estén expresadas en masa, y como este material está dimensionado mediante una magnitud geométrica, se ha cuantificado la cantidad de hormigón necesario para la partida de obra. También se ha definido el tipo de transporte necesario para el transporte de la fábrica a la obra y cuál es la distancia a recorrer.

A.6 ETAPA DE USO Y MANTENIMIENTO

En la etapa de uso se incluye la estimación de la energía que necesita el edificio para su funcionamiento. Para determinar las necesidades energéticas de calefacción y ACS se ha utilizado el programa Calener-VyP (MITyC, 2010). Para el resto de necesidades: cocina, iluminación y electrodomésticos se ha estimado un consumo eléctrico anual por vivienda de 1320 kWh, por ser el consumo medio por vivienda para estos conceptos (IDAE, 2009a). Por tanto la energía final para este conjunto de necesidades y para todas las viviendas, suma un total de 9240 kWh eléctricos anuales.

Tabla A.8: Edificio residencial. Ejemplo de partida de obra

Partida:	04.01 FORJADO RETICULAR PLANO /PI/LO.25+5 H-250
Descripción:	Forjado reticular plano, canto 25+5=30 cm, hormigón H-250, armado con acero B-500S, incluso parte proporcional de pilares de hormigón y losas de escaleras, según planos de proyecto ejecutivo
Cantidad:	328.02 m ²
Material:	Hormigón armado
Cuantificación:	236.17 t
Tipo de transporte:	Pesado
Distancia:	160 km

En la etapa de definición se ha considerado que quedan fuera de los límites del sistema la etapa de mantenimiento y el transporte de los usuarios en la etapa de uso.

A.7 ETAPA DE FIN DE VIDA

Tal como se ha concretado en la etapa de definición, los residuos se eliminan en el vertedero. Para saber tanto la cantidad de residuos que se generan en la fase de deconstrucción, como la distancia y el tipo de transporte necesarios, se siguen los mismos pasos metodológicos que en la etapa de construcción, mediante el sistema integrado en las partidas de obra. Análogamente a la etapa de construcción, también se tiene en cuenta la maquinaria, incluyendo su amortización y su transporte.

A.8 CÁLCULO DE ENERGÍA FINAL EN LA ETAPA DE USO

Para realizar el cálculo de la energía final referente a la calefacción y al ACS, se sigue el procedimiento marcado por la metodología.

La primera parte del procedimiento consiste en la introducción de los datos básicos del edificio definidos en la tabla A.1 en el programa. Se puede ver una captura en la figura A.4. Se ha utilizado el programa informático *CALENER-VYP* (MITyC, 2010), que es una herramienta promovida por el *Ministerio de Industria, Turismo y Comercio*, a través del *Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía* (IDAE), y por el *Ministerio de Vivienda*, que permite determinar el nivel de eficiencia energética correspondiente a un edificio de viviendas.

Zonificación climática Zona: <input type="text" value="C2"/> Localidad: <input type="text" value="Localidad_ZonaC2"/> Latitud: <input type="text" value="41.30"/> Altitud: <input type="text" value="181.35"/>	Datos del Proyecto Nombre del proyecto: <input type="text"/> Comunidad: <input type="text" value="Cataluña"/> Localidad: <input type="text" value="Barcelona"/> Dirección: <input type="text"/>
Orientación del edificio Ángulo: <input type="text" value="31.06"/> ° 	Datos del Autor Nombre: <input type="text"/> Empresa o Institución: <input type="text"/> E-mail: <input type="text"/> Teléfono: <input type="text"/>
Tipo edificio <input type="radio"/> Vivienda unifamiliar <input checked="" type="radio"/> Vivienda en bloque <input type="radio"/> Edificio sector terciario	
Clase por defecto de los espacios habitables Tipo de Uso: <input type="text" value="Residencial"/> Condiciones higrométrica <input checked="" type="radio"/> Clase 3 o inferior <input type="radio"/> Clase 4 <input type="radio"/> Clase 5	
Número de renovaciones hora requerido: <input type="text" value="1.0"/>	
<input type="button" value="Aceptar"/>	

Fig. A.4: Edificio residencial. Datos básicos del edificio

El siguiente paso es introducir los datos de los materiales y elementos constructivos. Los materiales están definidos en la tabla A.3, los cerramientos en la tabla A.4, los huecos en la tabla A.5, y los puentes térmicos en la tabla A.6. Se puede ver una captura de los puentes térmicos en la figura A.5.

Seguidamente se define geoméricamente el edificio mediante la información de los planos (figura A.6), y todos los elementos constructivos, como espacios (figura A.7), huecos y cerramientos.

La definición de sombras se reduce solo a ajustar los parámetros de las ventanas (figura A.8), ya que no hay obstáculos en el entorno que produzca sombras en el edificio.

El último apartado a definir son los sistemas (figura A.9) y equipos. Se define la demanda de ACS (figura A.10), las calderas de gas natural (figura A.11) y las unidades terminales (figura A.12).

El programa calcula la demanda de energía necesaria para mantener el edificio dentro de los parámetros designados, y también calcula la energía final que depende del rendimiento dinámico de los equipos, así como la energía primaria y emisiones asociadas al consumo de energía final. Se genera un indicador (figura A.13) basado en las emisiones de dióxido de carbono (CO₂) por superficie que da una idea de la eficiencia energética del edificio, y también una tabla con todos los resultados tabulados (figura A.14), que se ha resumido en las tablas A.9 y A.10.

El paso final de la metodología es destacar la energía final resultante, ya que es el dato que se necesita para introducir en el análisis del ciclo de vida. La energía final anual estimada de todas las viviendas, es de 15 866.2 kWh de calefacción y 1 841.4 kWh de ACS, que suman un total de 17 707.6 kWh de gas natural.

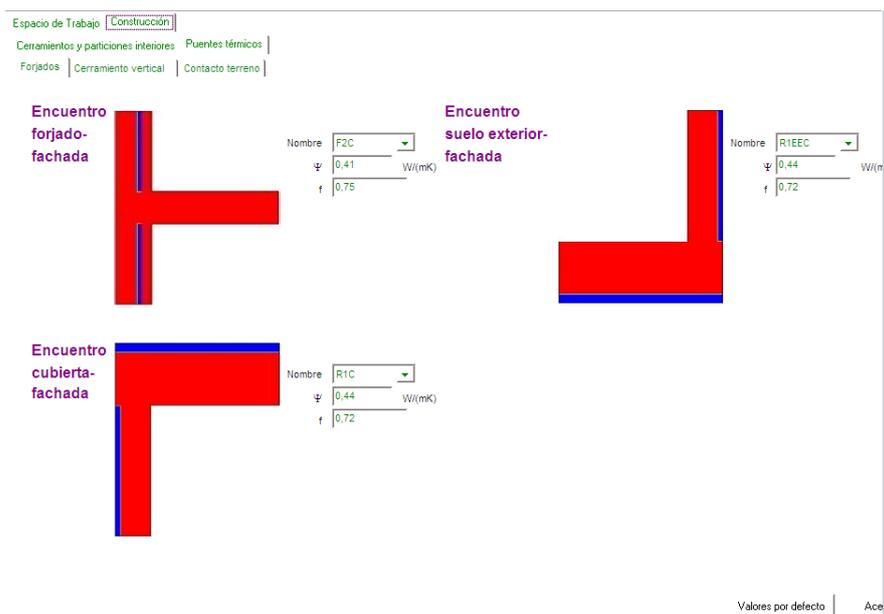


Fig. A.5: Edificio residencial. Definición de puentes térmicos

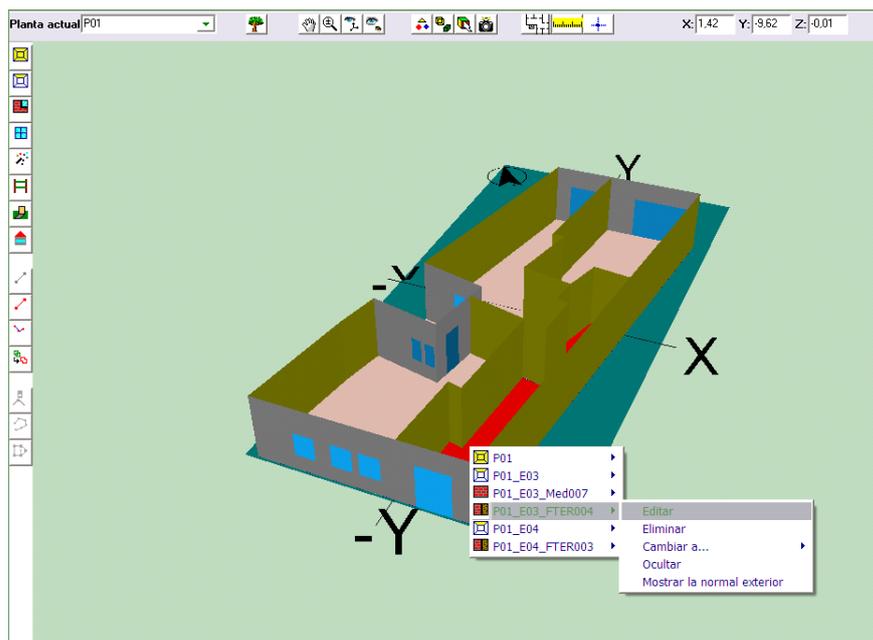


Fig. A.6: Edificio residencial. Definición geométrica

Tabla A.9: Edificio residencial. Resultados del cálculo de energía operacional de calefacción y ACS

	Demanda [kWh]	Energía final [kWh]	E. primaria [kWh]	Emisiones [kgCO ₂]
Calefacción	13 370.2	15 866.2	16 197.7	3 418.3
ACS		1 841.4	1 861.6	389.4

Propiedades

Nombre: P01_E01

Tipo de Espacio: Acondicionado

Tipo de uso: Residencial

Nº de pilares: 0

Multiplicador: 1

Altura: 3,100 m Área: 49,991 m² Volumen: 154,971 m³

Condiciones higrométricas interiores

Clase de higrometría Clase de higrometría

Ritmo de producción de humedad interior Clase 3

Tasa de renovación del aire interior Clase 4

Humedad relativa interior constante Clase 5

Redistribución interior de la radiación

Prefijada (50% al suelo, resto proporcional a las áreas)

Aproximada (a partir de correlaciones)

Calculada (método Backward Ray Tracing)

Número de renovaciones hora requerido: 1,0

Aceptar Cancelar

Fig. A.7: Edificio residencial. Definición de los elementos constructivos: Espacios

Propiedades del Huevo Salientes laterales y voladizos Dispositivos basados en Láminas

Nombre: P01_E04_PE004_V3

Tipo de Huevo

Definición de Huevo: Finestres del tipo 1,2 i 3

Localización y Geometría

X: 4,58 m Y: 0,75 m

Altura: 1,10 m Anchura: 0,90 m Retranqueo: 0,13 m

Coefficiente de corrección por dispositivo de sombra estacional

	Invierno	Verano
Corrector del Factor Solar	1,00	1,00
Corrector de Transmisión Térmica	1,00	1,00

Aceptar Cancelar

Fig. A.8: Edificio residencial. Definición de los elementos constructivos: Ventanas

Base de Datos Proyecto

Sistema mixto de calefacción y ACS

Propiedades Básicas Equipos Demandas de ACS Unidades Terminales

Nombre del sistema: Sistema mixt ACS-Calefaccio Vivienda 1

Equipo Acumulador: ninguno

Fracción cubierta por energía solar: 70,0 % Contribución solar mínima HE-4: 70,0 %

Temperatura de impulsión sanitaria: 50,0 °C

Temperatura de impulsión de calefacción: 90,0 °C

Multiplicador: 1

Aceptar

Fig. A.9: Edificio residencial. Definición de sistemas

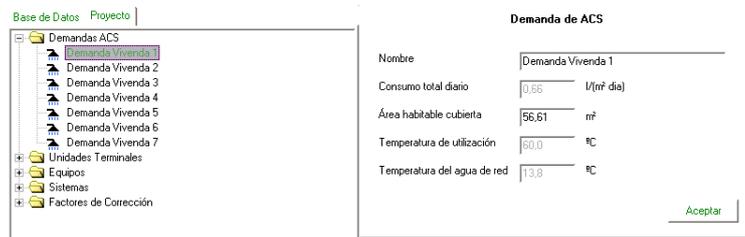


Fig. A.10: Edificio residencial. Definición demanda ACS

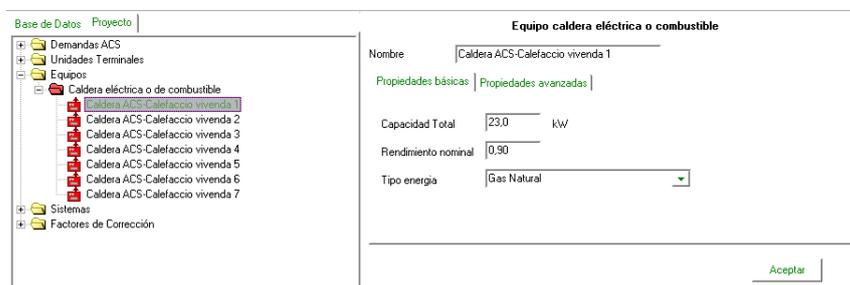


Fig. A.11: Edificio residencial. Definición de los equipos

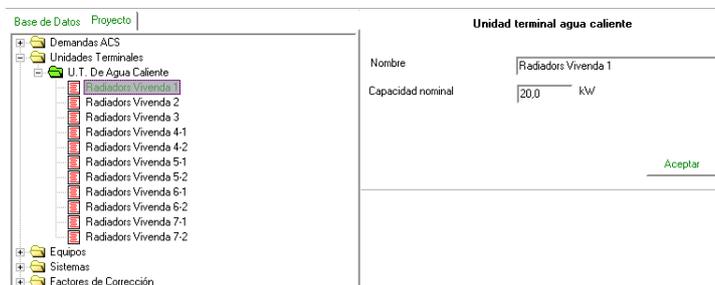


Fig. A.12: Edificio residencial. Definición unidades terminales

Tabla A.10: Edificio residencial. Resultados del cálculo de energía operacional de calefacción y ACS por superficie

	Demanda [kWh/m ²]	Energía final [kWh/m ²]	E. primaria [kWh/m ²]	Emisiones [kgCO ₂ /m ²]
Calefacción	30.9	36.7	37.4	7.9
ACS		4.3	4.3	0.9

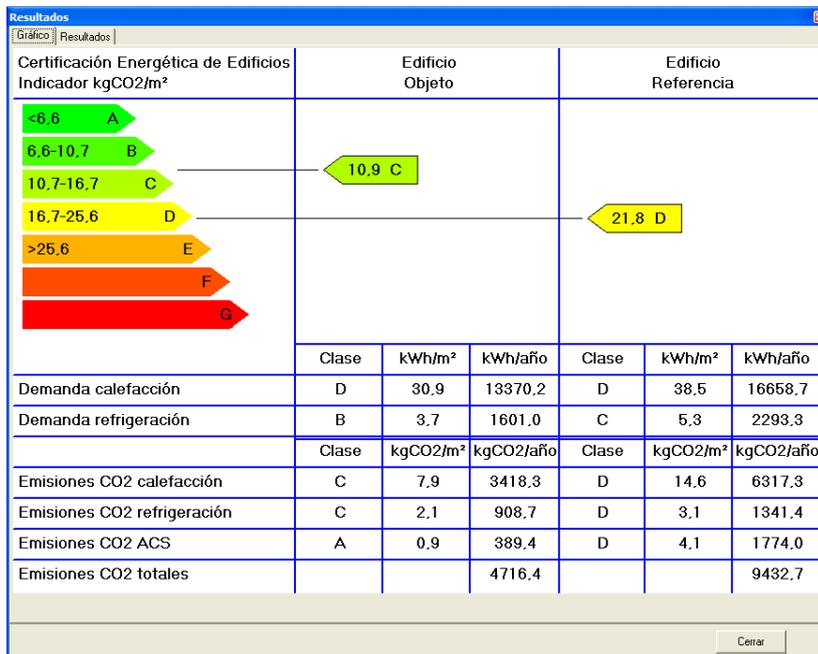


Fig. A.13: Vivienda. Certificación energética y resumen de resultados de demanda y emisiones.

Demandas	Edificio Objeto		Edificio Referencia	
	kWh/m²	kWh/año	kWh/m²	kWh/año
Calefacción	30,9	13370,2	38,5	16658,7
Refrigeración	3,7	1601,0	5,3	2293,3

Consumos Energía Final	Edificio Objeto		Edificio Referencia	
	kWh/m²	kWh/año	kWh/m²	kWh/año
Calefacción	36,7	15866,2	51,4	22250,2
Refrigeración	2,2	941,5	3,1	1351,9
ACS	4,3	1841,4	16,2	7014,1
Total	43,1	18649,1	70,8	30616,2

Consumos Energía Primaria	Edificio Objeto		Edificio Referencia	
	kWh/m²	kWh/año	kWh/m²	kWh/año
Calefacción	37,4	16197,7	59,6	25803,8
Refrigeración	7,3	3151,3	10,6	4573,5
ACS	4,3	1861,6	15,0	6468,3
Total	49,0	21210,6	85,2	36845,6

Emisiones	Edificio Objeto		Edificio Referencia	
	kgCO2/m²	kgCO2/año	kgCO2/m²	kgCO2/año
Calefacción	7,9	3418,3	14,6	6317,3
Refrigeración	2,1	908,7	3,1	1341,4
ACS	0,9	389,4	4,1	1774,0
Total	10,9	4716,4	21,8	9432,7

Fig. A.14: Vivienda. Tabla de resultados: demanda, energía final, energía primaria y emisiones.

Name	Image	
Construcció de l'edifici		
Status	Temporary	
Materials/Assemblies	Amount	Unit
Paint ETH U	0,2199	ton
Poor concrete, at plant/ES U	5,455	m3
Gravel ETH U	45,1182	ton
Concrete (reinforced) I	579,4812	ton
Aluminium alloy, AlMg3, at plant/RER U	0,9075	ton
EPDM rubber ETH U	0,0640	ton
Natural stone plate, cut, at regional storage/ES U	0,6536	ton
Gypsum ETH U	95,2418	ton
Gypsum fibre board, at plant/ES U	8,86	ton
Natural stone plate, cut, at regional storage/ES U	4,569	ton
Sanitary ceramics, at regional storage/ES U	8,858	ton
Door, inner, wood, at plant/RER U	37,403	m2
Door, inner, glass-wood, at plant/RER U	13,1200	m2
Polyurethane, flexible foam, at plant/RER U	0,2501	ton
Polyvinylchloride, at regional storage/RER U	5,1136	ton
Polystyrene, extruded (EPS), at plant/RER U	0,0487	ton
Brick, at plant/RER U	144,5614	ton
Light mortar, at plant/ES U	50,3714	ton
Ceramic tiles, at regional storage/ES U	18,4837	ton
Roof tile, at plant/RER U	2,6526	ton
Mastic asphalt, at plant/ES U	0,1112	ton
Window frame, aluminium, U=1.6 W/m2K, at plant/RER U	6,794	m2
Window frame, wood, U=1.5 W/m2K, at plant/RER U	0,166	m2
Glazing, double (2-IV), U<1.1 W/m2K, at plant/RER U	43,4184	m2
Light mortar, at plant/ES U	0,9715	ton
Residus fase de construcció	1	p
(Insert line here)		
Processes	Amount	Unit
Delivery van <3.5t ETH S	4,3985	tkm
Transport, lorry 16-32t, EUROS/RER U	109151,144	tkm
Transport, lorry 3.5-7.5t, EUROS/RER U	16382,4806	tkm
Transport, lorry 7.5-16t, EUROS/RER U	12152,2609	tkm
Transport, lorry 3.5-7.5t, EUROS/RER U	52,8656	tkm
Transport, lorry 7.5-16t, EUROS/RER U	19,4295	tkm
Transport, lorry 16-32t, EUROS/RER U	696	tkm
Excavation hydraulic digger U	228,21	m3
Building machine/RER/T U	1	p
(Insert line here)		

Fig. A.15: Edificio residencial. ACV. Etapa de construcción

A.9 ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA

En la aplicación de la metodología se sigue el procedimiento de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) propuesto para realizar de una forma lineal y directa el análisis del ciclo de vida y obtener los resultados planteados.

El primer paso en el procedimiento trata de introducir los datos referentes a la etapa de construcción, en especial, los referentes a materiales, transporte, procesos y residuos.

Se ha realizado una lista de materiales especificando su cantidad total en la unidad característica que la base de datos requiere. Para ello se ha seguido el estado de mediciones, y para cada material se ha cuantificado el valor para satisfacer la medición. Una vez finalizado se han agrupado todas las cantidades para un mismo material. Entonces se han introducido en la aplicación todos los materiales junto con su valor (figura A.15).

Seguidamente se ha procedido de la misma manera para cuantificar todos los transportes, teniendo en cuenta la masa y la distancia de cada material o conjunto de materiales. Para ello se utiliza la unidad tkm (tonelada kilómetro). Finalmente se agrupan todos los valores segregando por tipo de transporte (figura A.15).

Name	Image	
Residus fase de construcció		
Status	To be reviewed	
Materials/Assemblies	Amount	Unit
Residu de formigó armat (fase de construcció)	20,29	ton
Residu de fusta (fase de construcció)	6,28	ton
Residu de maons i material ceràmic (fase de construcció)	20,37	ton
Residu de materials barrejats de construcció (fase de construcció)	0,18	ton
Residu de metalls barrejats (fase de construcció)	2,55	ton
Residu de paper i cartró (fase de construcció)	0,46	ton
Residu de plàstics (fase de construcció)	0,7	ton
(Insert line here)		
Processes	Amount	Unit
Transport, lorry 16-32t, EUROS/RER U	1831,11	tkm
(Insert line here)		

Fig. A.16: Edificio residencial. ACV. Residuos de la etapa de construcción

Products		
Known outputs to technosphere. Products and co-products		
Name	Amount	Unit
Vida Útil (50 anys, energia elèctrica i consum de gas primari)	1	p
(Insert line here)		
Known outputs to technosphere. Avoided products		
Name	Amount	
(Insert line here)		
Inputs		
Known inputs from nature (resources)		
Name	Sub-compartment	Amount
(Insert line here)		
Known inputs from technosphere (materials/fuels)		
Name	Amount	
(Insert line here)		
Known inputs from technosphere (electricity/heat)		
Name	Amount	Unit
Electricity, production mix: ES/ES U	462000	kWh
Natural gas, burned in boiler atmospheric burner non-modulating <100kW/RER U	2,855916	TJ
Natural gas, burned in boiler atmospheric burner non-modulating <100kW/RER U	0,331452	TJ
(Insert line here)		

Fig. A.17: Edificio residencial. ACV. Etapa de uso

Para el proceso de construcción se ha realizado una estimación del consumo eléctrico y de combustible de la maquinaria y vehículos que se utilizan en la construcción del edificio (figura A.15).

Respecto a la gestión de residuos, se ha estimado la cantidad de residuos por categorías, por su proporción según la tipología de construcción y multiplicando por la superficie del edificio. El destino de los residuos es su eliminación en el vertedero (figura A.16).

El siguiente paso en el procedimiento es introducir la demanda de energía. En este caso simplemente se introduce la energía final de gas natural para calefacción, la energía final de gas natural para ACS y la energía final de electricidad para los otros usos energéticos de la vivienda (figura A.17).

En este caso no se evalúa la etapa de mantenimiento, por lo que este punto queda desierto.

Para la etapa de fin de vida se considera que hay un uso de maquinaria, incluyendo el transporte, y se cuantifican los materiales para eliminar en el vertedero según su categoría. Primero se ha asignado el uso de maquinaria como proceso y después se ha estimado el porcentaje de residuos por tipo (figura A.18).

Según especificaciones se selecciona el método de cálculo *IMPACT2002+* como el método de cálculo necesario para obtener los resultados según la

Name	Residus deconstrucció edifici	
Image		
Status	To be reviewed	
Referring to assembly	Amount	Unit
Construcció de l'edifici	0,9252	p
Processes	Amount	Unit
Building machine/PER/I U	1	p
(Insert line here)		
Waste scenarios	Percentage	
Abocador formigó (fase deconstrucció)	63,98 %	
Abocador fusta (fase deconstrucció)	0,15 %	
Abocador Maons i material ceràmic (fase deconstrucció)	29,91 %	
Abocador material amb guix (fase deconstrucció)	4,51 %	
Abocador materials barrejats construcció (fase deconstrucció)	0,8 %	
Abocador materials bituminosos (fase deconstrucció)	0,0844 %	
Abocador metalls barrejats (fase deconstrucció)	0,3540 %	
Abocador vidre (fase deconstrucció)	0,1416 %	
Reciclatge plàstic (fase deconstrucció)	0,07 %	
(Insert line here)		
Disassemblies	Percentage	
(Insert line here)		
Reuses	Percentage	
(Insert line here)		

Fig. A.18: Edificio residencial. ACV. Etapa de fin de vida

Tabla A.11: Edificio residencial. Resultados ACV

Etapa	Energía primaria		Emisiones	
	[TJ]	[MWh]	[tep]	[tCO ₂ -eq]
Construcción	4.004	1 112	95.6	261.31
Uso	8.137	2 260	194.3	434.26
Deconstrucción	0.839	233	20.0	48.21
Total	12.980	3 701	318.3	743.78

caracterización de las categorías de impacto cambio climático y uso de energía no renovable. Al estar las dos categorías deseadas en el mismo método no hará falta especificar más métodos.

En este caso, el cálculo resulta sencillo ya que la aplicación lo realiza automáticamente.

Se seleccionan los datos referentes a las categorías de impacto seleccionadas cambio climático cuyas unidades son tCO₂-eq y uso de energía no renovable con unidades en TJ. Para favorecer la divulgación de los datos los datos se muestran por cada etapa del ciclo de vida y en el caso de la energía primaria se exhiben los resultados también en otras unidades: MWh y tep.

Para poder disponer de más información se presentan los resultados de la etapa de uso separados por aspectos energéticos: calefacción, ACS y otros.

También se muestran los resultados del ACV en la etapa de uso referidos a un intervalo anual para facilitar la comparación (tabla A.13). Estos resultados se dividen entre el número de viviendas para saber cuál es la energía operacional y emisiones asociadas de una vivienda (tabla A.14), entre la superficie útil (tabla A.15) y entre la superficie construida (tabla A.16)

Tabla A.12: Edificio residencial. Resultados ACV en la etapa de uso para 50 años

Aspecto energético (50 años)	Energía primaria			Emisiones
	[TJ]	[MWh]	[tep]	[tCO ₂ -eq]
Calefacción	3.418	949	81.6	186.91
ACS	0.397	110	9.5	21.69
Cal. + ACS	3.815	1 060	91.1	208.6
Otros	4.322	1 201	103.2	225.66
Total	8.137	2 260	194.3	434.26

Tabla A.13: Edificio residencial. Resultados ACV en la etapa de uso anual

Aspecto energético (anual)	Energía primaria			Emisiones
	[GJ]	[kWh]	[kep]	[kgCO ₂ -eq]
Calefacción	68.36	18 989	1 632.8	3 738
ACS	7.94	2 206	189.6	434
Cal. + ACS	76.30	21 194	1 822.4	4 172
Otros	86.44	24 011	2 064.6	4 513
Total	162.74	45 206	3 887.0	8 685

para saber cuál la energía operacional específica y las emisiones específicas.

A.10 VALIDACIÓN DEL CASO PRÁCTICO

El edificio es de tipología plurifamiliar entre medianas situado en la ciudad de Rubí (Barcelona). Consta de 3 plantas, 7 viviendas y está diseñada para 18 residentes. Tiene una superficie construida de 523 m², y una superficie útil, que coincide con la superficie calefactada, de 433 m². La vida útil estimada es de 50 años. La fuente de energía para la calefacción y el ACS es gas natural.

En la etapa de construcción se contempla el transporte de materiales y los residuos generados en la construcción.

En la etapa de uso se incluye el uso térmico de calefacción y ACS, así como también otros usos energéticos del edificio: iluminación, cocina, electrodomésticos y otros.

En la etapa de fin de vida los residuos son eliminados en el vertedero.

La información adicional queda resumida en las siguientes tablas:

- Datos generales (tabla A.1)
- Definición geométrica (tabla A.2)
- Materiales (tabla A.3)

Tabla A.14: Edificio residencial. Resultados ACV en la etapa de uso anual por vivienda

Aspecto energético (por vivienda)	Energía primaria			Emisiones [kgCO ₂ -eq]
	[GJ]	[kWh]	[kep]	
Calefacción	9.77	2 713	233.3	534
ACS	1.13	315	27.1	62
Cal. + ACS	10.90	3 028	260.3	596
Otros	12.35	3 430	294.9	645
Total	23.25	6 458	555.3	1 241

Tabla A.15: Edificio residencial. Resultados ACV en la etapa de uso anual por superficie útil

Aspecto energético (por m ² útil)	Energía primaria			Emisiones [gCO ₂ -eq/m ²]
	[MJ/m ²]	[kWh/m ²]	[kep/m ²]	
Calefacción	157.88	43.9	3.77	8 633
ACS	18.34	5.1	0.44	1 002
Cal. + ACS	176.21	48.9	4.21	9 635
Otros	199.63	55.5	4.77	10 423
Total	375.84	104.4	8.98	20 058

Tabla A.16: Edificio residencial. Resultados ACV en la etapa de uso anual por superficie construida

Aspecto energético (por m ² construido)	Energía primaria			Emisiones [gCO ₂ -eq/m ²]
	[MJ/m ²]	[kWh/m ²]	[kep/m ²]	
Calefacción	130.71	36.3	3.12	7 148
ACS	15.18	4.2	0.36	829
Cal. + ACS	145.89	40.5	3.48	7 977
Otros	165.28	45.9	3.95	8 629
Total	311.17	86.4	7.43	16 607

- Definición de cerramientos (tabla A.4)
- Definición de huecos (tabla A.5)
- Definición de puentes térmicos (tabla A.6)
- Lista de instalaciones (tabla A.7)
- Resultados ACV (tabla A.11)
- Resultados ACV en la etapa de uso para 50 años (tabla A.12)
- Resultados ACV en la etapa de uso anual (tabla A.13)
- Resultados ACV en la etapa de uso anual por vivienda (tabla A.14)
- Resultados ACV en la etapa de uso anual por superficie útil (tabla A.15)
- Resultados ACV en la etapa de uso anual por superficie construida (tabla A.16)

NOMENCLATURA

ACS	Agua Caliente Sanitaria
ACV-A	Análisis de Ciclo de Vida Ambiental
ACV-S	Análisis de Ciclo de Vida Social
ACV	Análisis de Ciclo de Vida
ADP	<i>Abiotic Depletion Potential</i> , potencial de disminución de recursos abióticos
AETP	<i>Aquatic EcoToxicity Potential</i> , potencial de ecotoxicidad acuática y terrestre
AP	<i>Acification Potential</i> , potencial de acidificación
CARMEN	<i>Cause Effect Relation Model to Support Environmental Negotiations</i> , modelo de relación causa/efecto para el apoyo a las negociaciones medioambientales
CCV	Coste de Ciclo de Vida
CC	Clasificación de la tipología de la Construcción
CEPE	Comisión Económica para Europa de las Naciones Unidas
CERMA	Calificación Energética Residencial Método Abreviado
CFC	Cloro-Fluoro-Carbonos
CH ₄	Metano
CO ₂	Dióxido de carbono
CPC	Clasificación Central de Productos
CTE	Código Técnico de la Edificación
EDIP	<i>Environmental Design of Industrial Products</i> , diseño ambiental de productos industriales
EPF	Encuesta de Presupuestos Familiares
EPS	<i>Environmental Priorities Strategies</i> , estrategias de las prioridades medioambientales
EP	<i>Eutrophication Potential</i> , potencial de eutrofización
EUSES	<i>European Union System for the Evaluation of Substances</i> , sistema de la Unión Europea para la evaluación de sustancias
GEI	Gases de Efecto Invernadero
GWP	<i>Global Warming Potential</i> , potencial de calentamiento global
HTP	<i>Human-Toxicity Potential</i> , potencial de toxicidad humana

ICV	Inventario de Ciclo de Vida
IDAE	Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía
IEEE	Informe Especial sobre Escenarios de Emisiones
INE	Instituto Nacional de Estadística
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> , grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático
ISO	<i>International Organization for Standardization</i> , Organización Internacional de Normalización
ITeC	<i>Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya</i>
LCA	<i>Life-Cycle Assessment</i> , Análisis de Ciclo de Vida
MCF	Materiales de Cambio de Fase
N ₂ O	Óxido nítrico
ODP	<i>Ozone Depleting Potential</i> , potencial de disminución de ozono
ONU	Organización de las Naciones Unidas
PDI/ADI	<i>Predicted Daily Intake/Acceptable Daily Intake</i> , ingestión diaria predicha y admisible
PEC/PNEC	<i>Predicted Environmental Concentrations/Predicted No-Effects Concentrations</i> , concentración ambiental predicha y la concentración sin efecto predicha
PIB	Producto Interior Bruto
POCP	<i>Photochemical Ozone Creation Potential</i> , potencial de creación de ozono fotoquímico
PVC	<i>PolyVinyl Chloride</i> , policloruro de vinilo
RAINS	<i>Regional Acidification Information and Simulation</i> , información y simulación de la acidificación regional
tep	Tonelada Equivalente de Petróleo
TETP	<i>Terrestrial EcoToxicity Potential</i> , potencial de ecotoxicidad terrestre
UNECE	<i>United Nations Economic Commission For Europe</i> , Comisión Económica para Europa de Naciones Unidas
UV-B	UltraVioleta de onda media (B)
WMO	<i>World Meteorological Organization</i> , organización meteorológica mundial
WTP	<i>Willingness to Pay</i> , disposición a pagar

BIBLIOGRAFÍA

- Aalborg Commitment Secretariat (jul. de 2011). *Aalborg Commitments Newsletter*. Third Issue. URL: www.aalborgplus10.dk.
- Abanades García, Juan Carlos, José María Cuadrat Prats, Manuel de Castro Muñoz de Lucas, Felipe Fernández García y col. (nov. de 2007). *El cambio climático en España. Estado de situación*.
- Alcantara, Vicent, Emilio Padilla y Jordi Roca (nov. de 2007). *Actividad económica y emisiones de CO₂ derivadas del consumo de energía en Cataluña, 1990-2005. Análisis mediante el uso de los balances energéticos desde una perspectiva input-output*.
- Anastaselos, Dimitris, Simos Oxizidis y Agis M. Papadopoulos (feb. de 2011). "Energy, environmental and economic optimization of thermal insulation solutions by means of an integrated decision support system". En: *Energy and Buildings* 43.2-3, págs. 686-694. ISSN: 0378-7788. DOI: 10.1016/j.enbuild.2010.11.013.
- ANDIMA e IDAE (abr. de 2008). *Guía práctica de la energía para la rehabilitación de edificios. El aislamiento, la mejor solución*. Madrid.
- APU (dic. de 2007). *Consommations d'énergie et émissions de gaz à effet de serre liées au chauffage des résidences principales parisiennes*. Atelier Parisien d'Urbanisme.
- ATECYR e IVE (mar. de 2011). *Calificación Energética Residencial. Método Abreviado (CERMA)*. Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración. Instituto Valenciano de la Edificación.
- Aye, Lu, T. Ngo, R.H. Crawford, R. Gammampila y P. Mendis (2012). "Life cycle greenhouse gas emissions and energy analysis of prefabricated reusable building modules". En: *Energy and Buildings* 47.0, págs. 159-168. ISSN: 0378-7788. DOI: 10.1016/j.enbuild.2011.11.049.
- Baboulet, Olivier y Manfred Lenzen (ago. de 2010). "Evaluating the environmental performance of a university". En: *Journal of Cleaner Production* 18.12, págs. 1134-1141. ISSN: 0959-6526. DOI: 10.1016/j.jclepro.2010.04.006.
- Balaras, Constantinos A., Athina G. Gaglia, Elena Georgopoulou, Sevastianos Mirasgedis y col. (mar. de 2007). "European residential buildings and empirical assessment of the Hellenic building stock, energy consumption, emissions and potential energy savings". En: *Building and Environment* 42.3, págs. 1298-1314. ISSN: 0360-1323. DOI: 10.1016/j.buildenv.2005.11.001.
- Banco de España (2010). *Informe Anual 2009*. ISBN: 1579 - 8615.
- Bin, Guoshu y Paul Parker (2012). "Measuring buildings for sustainability: Comparing the initial and retrofit ecological footprint of a century home – The REEP House". En: *Applied Energy* 93.0, págs. 24-32. ISSN: 0306-2619. DOI: 10.1016/j.apenergy.2011.05.055.
- Blengini, Gian Andrea (feb. de 2009). "Life cycle of buildings, demolition and recycling potential: A case study in Turin, Italy". En: *Building and Environment* 44.2, págs. 319-330. ISSN: 0360-1323. DOI: 10.1016/j.buildenv.2008.03.007.

- Blengini, Gian Andrea y Tiziana Di Carlo (jun. de 2010). "The changing role of life cycle phases, subsystems and materials in the LCA of low energy buildings". En: *Energy and Buildings* 42.6, págs. 869-880. ISSN: 0378-7788. DOI: 10.1016/j.enbuild.2009.12.009.
- Bragança, Luís (2007). *COST C16, Improving the Quality of Existing Urban Building envelopes Facades and Roofs*. Research in Architectural Engineering Series 5. Amsterdam, Netherlands: IOS Press. ISBN: 978-1-58603-737-6.
- Brunet, M., P. D. Jones, J. Sigró, O. Saladié y col. (jun. de 2007). "Temporal and spatial temperature variability and change over Spain during 1850-2005". En: DOI: 10.1029/2006JD008249.
- Brunklaus, Birgit, Catarina Thormark y Henrikke Baumann (2010). "Illustrating limitations of energy studies of buildings with LCA - and actor analysis". En: *Building Research & Information* 38.3, pág. 265. ISSN: 0961-3218. DOI: 10.1080/09613211003654871.
- Centre For Design at RMIT University (ene. de 2001). *Background Report LCA Tools, Data and Application in the Building and Construction Industry*. Inf. téc.
- Charlot-Valdieu, Catherine (abr. de 2010). "A tool and an approach for setting sustainable energy retrofitting strategies for territories (neighbourhood, city...) or building stocks". En: *SB10mad 'Edificación sostenible. Revitalización y rehabilitación sostenible de barrios'*. ISBN: 978-84-614-1920-3.
- Chau, C.K., W.K. Hui, W.Y. Ng y G. Powell (abr. de 2012). "Assessment of CO₂ emissions reduction in high-rise concrete office buildings using different material use options". En: *Resources, Conservation and Recycling* 61.0, págs. 22-34. ISSN: 0921-3449. DOI: 10.1016/j.resconrec.2012.01.001.
- Chong, Wai K. y Christopher Hermreck (jul. de 2010). "Understanding transportation energy and technical metabolism of construction waste recycling". En: *Resources, Conservation and Recycling* 54.9, págs. 579-590. ISSN: 0921-3449. DOI: 10.1016/j.resconrec.2009.10.015.
- Cole, Raymond J. (2011). "Transitioning from green to regenerative design". En: *Building Research & Information* 40.1, págs. 39-53. ISSN: 0961-3218. DOI: 10.1080/09613218.2011.610608.
- CPM (2011). *CPM LCA Database*. Center for Environmental Assessment of Product and Material Systems. URL: <http://cpmdatabase.cpm.chalmers.se/>.
- CRANA (2006). *Programa de Hogares Kioto*. Centro de Recursos Ambientales de Navarra.
- Cuchí, A., G. Wadel, F. López y A. Sagrera (2007). *Guía de la eficiencia energética para Administradores de Fincas*. Fundación Gas Natural.
- Cuchí, Albert, Gerardo Wadel y Paula Rivas Hesse (abr. de 2010). *Cambio Global España 2020/50. Sector edificación*. ISBN: 978-84-61404-57-5.
- Cuchí, Albert, Daniel Castelló, Glòria Díez y Albert Sagrera (oct. de 2003). *Paràmetres de sostenibilitat*. Barcelona: ITEC. ISBN: 978-84-7853-455-5.
- Cuéllar-Franca, Rosa M. y Adisa Azapagic (2012). "Environmental impacts of the UK residential sector: Life cycle assessment of houses". En: *Building and Environment* 54.0, págs. 86-99. ISSN: 0360-1323. DOI: 10.1016/j.buildev.2012.02.005.
- Dascalaki, Elena G., Kalliopi G. Droutsa, Constantinos A. Balaras y Simon Kontoyiannidis (dic. de 2011). "Building typologies as a tool for assessing the energy performance of residential buildings - A case

- study for the Hellenic building stock". En: *Energy and Buildings* 43.12, págs. 3400-3409. ISSN: 0378-7788. DOI: 10.1016/j.enbuild.2011.09.002.
- DGIEM (2008). *Guía de rehabilitación energética de edificios de viviendas*. Dirección General de Industria, Energía y Minas. Madrid.
- Directive 2002/91/EC (dic. de 2002). *Energy performance of buildings*.
- Directive 2003/87/EC (oct. de 2003). *Establishing a scheme for greenhouse gas emission allowance trading within the Community*.
- Directive 2005/32/EC (jul. de 2005). *Establishing a framework for the setting of ecodesign requirements for energy-using products*.
- Directive 2006/32/EC (abr. de 2006). *Energy end-use efficiency and energy services*.
- Directive 2008/98/EC (nov. de 2008). *Waste and repealing certain Directives*.
- Directive 2010/31/EU (mayo de 2010). *Energy performance of buildings*.
- Directive 93/76/EEC (sep. de 1993). *Limit carbon dioxide emissions by improving energy efficiency (SAVE)*.
- Dixit, Manish Kumar, José L. Fernández-Solís, Sarel Lavy y Charles H. Culp (ago. de 2010). "Identification of parameters for embodied energy measurement: A literature review". En: *Energy and Buildings* 42.8, págs. 1238-1247. ISSN: 0378-7788. DOI: 10.1016/j.enbuild.2010.02.016.
- DLMC (jun. de 2006). *Literature review of life cycle costing (LCC) and life cycle assessment (LCA)*. Inf. téc. Davis Langdon Management Consulting.
- EC (2001). *A Sustainable Europe for a Better World: A European Union Strategy for Sustainable Development (Commission's proposal to the Gothenburg European Council)*. European Commission.
- (dic. de 2003). *Communication from the Commission to the Council and the European Parliament - The World Summit on Sustainable Development one year on: implementing our commitments*. European Commission.
- (jun. de 2005). *Green paper on Energy Efficiency or Doing More With Less*. European Commission. ISBN: 92-894-9819-6.
- (nov. de 2008). *Communication from the Commission - Energy efficiency: delivering the 20% target*. European Commission.
- (abr. de 2009). *LCA Resources Directory*. European Commission.
- (2011). *Energy Efficiency Plan 2011*. European Commission.
- EC y DGET (2010). *EU energy and transport in figures. Statistical Pocketbook 2010*. European Commission. Directorate-General for Energy and Transport. ISBN: 978-92-79-13815-7. URL: doi:10.2768/19814.
- EC y JRC (2008). *Environmental improvement potential of residential buildings*. European Commission. Joint Research Centre. ISBN: 978-92-79-09767-6.
- EC, JRC y IES (mar. de 2010a). *ILCD Handbook - Analysis of existing Environmental Impact Assessment methodologies for use in Life Cycle Assessment (LCA)*. European Commission. Joint Research Centre. Institute for Environment and Sustainability.
- (mar. de 2010b). *ILCD Handbook - General guide for Life Cycle Assessment - Detailed guidance*. European Commission. Joint Research Centre. Institute for Environment and Sustainability.
- EEA (2002). *Analysis and comparison of national and EU-wide projections of greenhouse gas emissions*. European Environment Agency. Copenhagen. ISBN: 92-9167-499-0.

- EEA (2010). *The European Environment - State and outlook 2010: Consumption and the environment*. No 1/2010. European Environment Agency. Copenhagen. ISBN: 978-92-9213-154-8. URL: doi:10.2800/58407.
- E&MSD (dic. de 2005). *Consultancy Study on Life Cycle Energy Analysis of Building Construction*. Inf. téc. CAO L013. Electrical and Mechanical Services Department. Hong Kong: Ove Arup & Partners Hong Kong Ltd, pág. 321.
- Erlandsson, Martin y Mathias Borg (jul. de 2003). "Generic LCA-methodology applicable for buildings, constructions and operation services—today practice and development needs". En: *Building and Environment* 38.7, págs. 919-938. ISSN: 0360-1323. DOI: 10.1016/S0360-1323(03)00031-3.
- ETRES (dic. de 2009). *GEE1 – Guía de Eficiencia Energética para la rehabilitación de edificios existentes*. ETRES Consultores.
- EUEGUE (mayo de 1994). *Charter of European Cities & Towns Towards Sustainability*. European Union Expert Group on the Urban Environment. Aalborg.
- Eurostat (oct. de 1997). *Classification of types of constructions*. Statistical office of the European Union.
- (2010). *Energy - Yearly statistics 2008*. Statistical office of the European Union. ISBN: 978-92-79-14616-9. URL: doi:10.2785/39014.
- (2011). *European Union Statistics on Income and Living Conditions*. Statistical office of the European Union.
- Fernández Ortega, Luis (ene. de 2006). *Prontuario de la construcción: manual de tablas y fórmulas*. es. Madrid Vicente. ISBN: 9788487440298.
- Finnveden, Göran, Michael Z. Hauschild, Tomas Ekvall, Jeroen Guinée y col. (oct. de 2009). "Recent developments in Life Cycle Assessment". En: *Journal of Environmental Management* 91.1, págs. 1-21. ISSN: 0301-4797. DOI: 10.1016/j.jenvman.2009.06.018.
- Forsberg, Anna y Fredrik von Malmborg (feb. de 2004). "Tools for environmental assessment of the built environment". En: *Building and Environment* 39.2, págs. 223-228. ISSN: 0360-1323. DOI: 10.1016/j.buildenv.2003.09.004.
- Frischknecht, Rolf, Niels Jungbluth, Hans-Jörg Althaus, Gabor Doka y col. (ene. de 2005). "The ecoinvent Database: Overview and Methodological Framework (7 pp)". En: *The International Journal of Life Cycle Assessment* 10.1, págs. 3-9. DOI: 10.1065/lca2004.10.181.1.
- Frischknecht, Rolf, Niels Jungbluth, Hans-Jörg Althaus, Christian Bauer y col. (dic. de 2007a). *Code of Practice. Final report ecoinvent v2.0 No. 2*. Inf. téc. 2. Dübendorf: Swiss Centre for Life Cycle Inventories.
- Frischknecht, Rolf, Niels Jungbluth, Hans-Jörg Althaus, Christian Bauer y col. (dic. de 2007b). *Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods. Final report ecoinvent v2.0 No. 3*. Inf. téc. 3. Dübendorf: Swiss Centre for Life Cycle Inventories.
- Frischknecht, Rolf, Niels Jungbluth, Hans-Jörg Althaus, Gabor Doka y col. (dic. de 2007c). *Overview and Methodology. Final report ecoinvent v2.0 No. 1*. Inf. téc. Dübendorf: Swiss Centre for Life Cycle Inventories.
- Fundación Entorno (2009a). *Análisis de la viabilidad económica de la edificación energéticamente eficiente*.
- (nov. de 2009b). *Hacia la eficiencia energética. Una apuesta para la empresa española*.

- (nov. de 2009c). *Por activa y por pasiva. Impulsar la edificación de alto rendimiento energético*.
- Garrido-Soriano, Nuria, Martí Rosas-Casals, Aleksander Ivancic y M^a Dolores Álvarez-del Castillo (jun. de 2012). "Potential energy savings and economic impact of residential buildings under national and regional efficiency scenarios. A Catalan case study". En: *Energy and Buildings* 49.0, págs. 119-125. ISSN: 0378-7788. DOI: 10.1016/j.enbuild.2012.01.030.
- Gracia, Alvaro de, Lidia Rincón, Albert Castell, Melanie Jiménez y col. (sep. de 2010). "Life Cycle Assessment of the inclusion of phase change materials (PCM) in experimental buildings". En: *Energy and Buildings* 42.9, págs. 1517-1523. ISSN: 0378-7788. DOI: 10.1016/j.enbuild.2010.03.022.
- Guerra, José Javier (mayo de 2008). "Usos y costumbres eficientes en el hogar". En: *Jornada de Rehabilitación Energética*. Madrid.
- Guinee, Jeroen, Marieke Gorree, Reinout Heijungs, Gjalt Huppes y col. (2004). *Handbook on Life Cycle Assessment - Operational Guide to the ISO Standards*. Vol. 7. ECO-Efficiency in Industry and Science. ISBN: 978-0-306-48055-3.
- Gustavsson, Leif y Anna Joelsson (feb. de 2010). "Life cycle primary energy analysis of residential buildings". En: *Energy and Buildings* 42.2, págs. 210-220. ISSN: 0378-7788. DOI: 10.1016/j.enbuild.2009.08.017.
- Gustavsson, Leif, Anna Joelsson y Roger Sathre (feb. de 2010). "Life cycle primary energy use and carbon emission of an eight-storey wood-framed apartment building". En: *Energy and Buildings* 42.2, págs. 230-242. ISSN: 0378-7788. DOI: 10.1016/j.enbuild.2009.08.018.
- Haapio, Appu y Pertti Viitaniemi (oct. de 2008). "A critical review of building environmental assessment tools". En: *Environmental Impact Assessment Review* 28.7, págs. 469-482. ISSN: 0195-9255. DOI: 10.1016/j.eiar.2008.01.002.
- Harvey, Danny (sep. de 2006). *A Handbook on Low-Energy Buildings and District-Energy Systems: Fundamentals, Techniques and Examples*. Earthscan Publications Ltd. ISBN: 18-4407-243-6.
- Hastings, Robert y Maria Wall (ene. de 2007). *Sustainable Solar Housing: Strategies and Solutions*. Vol. 1. Earthscan Publications Ltd. ISBN: 1844073254.
- Heras, M^a del Rosario (ene. de 2010). "El parque de casas mal construidas energéticamente supera el 70%". En: *El Norte de Castilla*.
- Hernandez, Patxi y Paul Kenny (jun. de 2010). "From net energy to zero energy buildings: Defining life cycle zero energy buildings (LC-ZEB)". En: *Energy and Buildings* 42.6, págs. 815-821. ISSN: 0378-7788. DOI: 10.1016/j.enbuild.2009.12.001.
- Hernández-Sánchez, Juan Manuel y Xavier Roca (jul. de 2012). "Energy and sensitivity analysis of Spanish dwelling stock". En: *Proceedings of the European Conference on Product and Process Modelling 2012: eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction*. Reykjavík, Iceland, págs. 81-88.
- Hertwich, Edgar G. (jul. de 2005). "Life Cycle Approaches to Sustainable Consumption: A Critical Review". En: *Environmental Science & Technology* 39.13, págs. 4673-4684. ISSN: 0013-936X. DOI: 10.1021/es0497375.
- (2011). "The life cycle environment impacts of consumption". En: *Economic Systems Research* 23.1, págs. 27-47. ISSN: 0953-5314. DOI: 10.1080/09535314.2010.536905.

- Huber, Andreas, Jaap Kortman, Ana Martín Benito y Michael Scharp (2010). *Developing and implementing. Effective household energy awareness services*. ICAEN (dic. de 2010). *Pla Renova't de Finestres 2011*. Institut Català d'Energia.
- IDAE (jul. de 2007). *Plan de Acción 2008-2012 de Ahorro y Eficiencia Energética en España*. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía.
- (sep. de 2008). *Soluciones de aislamiento con poliestireno expandido (EPS)*. Guía técnica para la rehabilitación de la envolvente térmica de los edificios 1. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. ISBN: 978-84-96680-36-4.
- (dic. de 2009a). *Análisis Global y Sectorial de la evolución del consumo y de la intensidad energética en España. Comparación a nivel europeo*. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía.
- (ene. de 2009b). *Instalaciones de Energía Solar Térmica. Pliego de Condiciones Técnicas de Instalaciones de Baja Temperatura*. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía.
- IDESCAT (2010). *Institut d'Estadística de Catalunya*. Institut d'Estadística de Catalunya. URL: <http://www.idescat.cat/>.
- IEA (2010a). *Energy Technology Perspectives 2010. Scenarios & Strategies to 2050*. International Energy Agency. ISBN: 978-92-64-08597-8.
- (nov. de 2010b). *World Energy Outlook 2010*. International Energy Agency. Paris. ISBN: 978-92-64-08624-1.
- IEA Annex 31 (nov. de 2001a). *Comparative Applications*. Background report. International Energy Agency.
- (nov. de 2001b). *Data Needs and Sources*. Background report. International Energy Agency.
- (nov. de 2001c). *Directory of Tools*. Background report. International Energy Agency.
- INE (mar. de 2001). *Censos de población y viviendas 2001*. Instituto Nacional de Estadística. URL: <http://www.ine.es/>.
- (2011). *Encuesta de presupuestos familiares. Base 2006*. Instituto Nacional de Estadística. URL: <http://www.ine.es/>.
- IPCC (2007a). *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. ISBN: 978-0-521-88011-4.
- (2007b). *Fourth Assessment Report. Climate Change 2007: Synthesis Report*. Intergovernmental Panel on Climate Change. ISBN: 92-9169-122-4.
- ISO 14040:2006 (2006). *Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework*.
- ISO 14044:2006 (2006). *Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines*.
- ISO/TS 21929-1:2006 (2006). *Sustainability in building construction – Sustainability indicators – Part 1: Framework for the development of indicators for buildings*.
- ISO/TS 21931-1:2006 (2006). *Sustainability in building construction – Framework for methods of assessment for environmental performance of construction works – Part 1: Buildings*.
- ITeC (feb. de 2000a). *Guía para el uso de la instrucción EHE. Cálculo*. Instituto de Tecnología de la Construcción de Cataluña. ISBN: 84-7853-370-2.

- (feb. de 2000b). *Guía para el uso de la instrucción EHE. Materiales, ejecución, control*. Instituto de Tecnología de la Construcción de Cataluña. ISBN: 84-7853-371-0.
- (mar. de 2003). *Guía para el uso de la instrucción EFHE*. Instituto de Tecnología de la Construcción de Cataluña. ISBN: 84-7853-444-X.
- (jul. de 2010). *Banco BEDEC. Banco estructurado de datos de elementos constructivos*. Instituto de Tecnología de la Construcción de Cataluña.
- Jenkins, D.P. (feb. de 2010). "The value of retrofitting carbon-saving measures into fuel poor social housing". En: *Energy Policy* 38.2, págs. 832-839. ISSN: 0301-4215. DOI: 10.1016/j.enpol.2009.10.030.
- Jönbrink, Anna Karin, Camilla Wolf-Wats, Maria Erixon, Pär Olsson y Erik Wallén (sep. de 2000). *LCA Software Survey*. Inf. téc. IVL report No B 1390 (SIK research publication SR 672, IVF research publication 00824). Stockholm, pág. 33.
- Kneifel, Joshua (mar. de 2010). "Life-cycle carbon and cost analysis of energy efficiency measures in new commercial buildings". En: *Energy and Buildings* 42.3, págs. 333-340. ISSN: 0378-7788. DOI: 10.1016/j.enbuild.2009.09.011.
- Knotzer, Armin (2010). *Energy Improvement Measures and their Effect on the Indoor Environment (SQUARE)*. Inf. téc. Work Package 5 Energy Improvement Measures. Deliverable 5.1 report.
- Kohler, Niklaus, Philip Steadman y Uta Hassler (2009). "Research on the building stock and its applications". En: *Building Research & Information* 37.5, pág. 449. ISSN: 0961-3218. DOI: 10.1080/09613210903189384.
- Kyoung-Hee, Kim (2011). "A comparative life cycle assessment of a transparent composite façade system and a glass curtain wall system". En: *Energy and Buildings* 43.12, págs. 3436-3445. ISSN: 0378-7788. DOI: 10.1016/j.enbuild.2011.09.006.
- LAVOLA (jul. de 2009). *Anàlisi prospectiva dels impactes socioambientals del sector energia*.
- LEY 38/1999 (nov. de 1999). *Ordenación de la Edificación*.
- Li, Xiaodong, Yimin Zhu y Zhihui Zhang (mar. de 2010). "An LCA-based environmental impact assessment model for construction processes". En: *Building and Environment* 45.3, págs. 766-775. ISSN: 0360-1323. DOI: 10.1016/j.buildenv.2009.08.010.
- Luxán, Margarita de, Mar Barbero Barrera, Gloria Gómez Muñoz y Emilia Román López (abr. de 2010a). "Estudio para la elaboración del Plan RENOVE de acristalamientos en viviendas de la Comunidad de Madrid". En: *SB10mad 'Edificación sostenible. Revitalización y rehabilitación sostenible de barrios'*. ISBN: 978-84-614-1920-3.
- Luxán, Margarita de, Mar Barbero Barrera, Raquel Díez Abarca, Gloria Gómez Muñoz y Emilia Román López (abr. de 2010b). "Metodología de Evaluación para el Programa de Ayudas a las Actuaciones de Rehabilitación para la Mejora de la Sostenibilidad y Eficiencia Energética de las Edificaciones". En: *SB10mad 'Edificación sostenible. Revitalización y rehabilitación sostenible de barrios'*. ISBN: 978-84-614-1920-3.
- López, Fabián (mar. de 2006). "Sobre el uso y la gestión como los factores principales que determinan el consumo de energía en la edificación. Una aportación para reducir el impacto ambiental de los edificios." Tesis doct.

- López-Mesa, Belinda, Angel Pitarch, Ana Tomás y Teresa Gallego (abr. de 2009). "Comparison of environmental impacts of building structures with in situ cast floors and with precast concrete floors". En: *Building and Environment* 44.4, págs. 699-712. ISSN: 0360-1323. DOI: 10.1016/j.buildenv.2008.05.017.
- Malmqvist, Tove, Mauritz Glaumann, Sabina Scarpellini, Ignacio Zabalza y col. (2011). "Life cycle assessment in buildings: The ENSLIC simplified method and guidelines". En: *Energy* 36.4, págs. 1900-1907. ISSN: 0360-5442. DOI: 10.1016/j.energy.2010.03.026.
- Mayer, Armin (ago. de 2010). *Energy Performance Contracting in the European Union: Introduction, Barriers and Prospects*. Institute for Building Efficiency.
- Mayer, Armin, Derek Supple, Vollrad Kuhn y Sam Lines (sep. de 2010). *Energy Performance Contracting in the European Union: Creating Common "Model" Definitions, Processes and Contracts*. Institute for Building Efficiency.
- MCyT (nov. de 2003). *The Spanish National Plan for Scientific Research, Development and Technological Innovation for the period 2004-2007*. Ministerio de Ciencia y Tecnología. ISBN: 84-7474-991-3.
- MdF (ene. de 2010). *Catálogo de Elementos Constructivos del CTE*. Ministerio de Fomento.
- (oct. de 2011a). *Anuario estadístico 2010*. Ministerio de Fomento.
- (2011b). *Construcción de edificios (licencias municipales de obra). Años 2006-2010*. Ministerio de Fomento.
- (2011c). *Licitación oficial en construcción 2010*. Ministerio de Fomento.
- MdV (mar. de 2008). *Sobre una estrategia para dirigir al sector de la edificación hacia la eficiencia en la emisión de gases de efecto invernadero (GEI)*. Ministerio de Vivienda.
- (abr. de 2009a). *Código Técnico de la Edificación. Documento Básico HE Ahorro de Energía*. Ministerio de Vivienda.
- (2009b). *Estimación del parque de viviendas. Viviendas principales y no principales. 2001-2008*. Ministerio de Vivienda.
- (mayo de 2010). *Stock de Viviendas Nuevas a 31 de diciembre de 2009*. Ministerio de Vivienda.
- Meadows, Donella H., Dennis L. Meadows, Jørgen Randers y William W. Behrens III (1972). *The Limits to Growth*. Universe Books. ISBN: 0-87663-165-0.
- Meijer, Frits, Laure Itard y Minna Sunikka-Blank (2009). "Comparing European residential building stocks: performance, renovation and policy opportunities". En: *Building Research & Information* 37.5, pág. 533. ISSN: 0961-3218. DOI: 10.1080/09613210903189376.
- Menoufi, Karim, Albert Castell, Lidia Navarro, Gabriel Pérez y col. (abr. de 2012). "Evaluation of the environmental impact of experimental cubicles using Life Cycle Assessment: A highlight on the manufacturing phase". En: *Applied Energy* 92.0, págs. 534-544. ISSN: 0306-2619. DOI: 10.1016/j.apenergy.2011.11.020.
- MITyC (2007a). *Documento de condiciones de aceptación de opciones simplificadas alternativas*. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.
- (2007b). *Documento de condiciones de aceptación de Programas Informáticos Alternativos*. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.

- (2007c). *Memoria de Cálculo correspondiente a la Opción Simplificada para la Calificación de Eficiencia Energética de Edificios de Viviendas*. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.
- (mayo de 2008). *Planificación de los sectores de electricidad y gas 2008-2016*. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.
- (jul. de 2010). *Programa informático Calener*. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.
- (2011a). *Certificación eficiencia energética*. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.
- (sep. de 2011b). *Plan de Acción de Ahorro y Eficiencia Energética 2011-2020*. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.
- Miyabi (mar. de 2011). *Calificación Energética Simplificada (CES)*.
- MMA-MRM (mar. de 2006). *Cuarta comunicación nacional de España. Convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático*. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino.
- (mar. de 2007). *Libro Verde de Medio Ambiente Urbano*. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino.
- (oct. de 2009a). *Consumo de energía por hogar*. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino.
- (2009b). *Emisiones de CO₂ del sector residencial*. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino.
- (mar. de 2009c). *Inventario de emisiones de gases de efecto invernadero de España. Años 1990-2007*. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino.
- (abr. de 2011). *Inventario de emisiones de gases de efecto invernadero de España. Años 1990-2009*. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino.
- Monahan, J. y J.C. Powell (ene. de 2011). "An embodied carbon and energy analysis of modern methods of construction in housing: A case study using a lifecycle assessment framework". En: *Energy and Buildings* 43.1, págs. 179-188. ISSN: 0378-7788. DOI: 10.1016/j.enbuild.2010.09.005.
- Montajes e instalaciones (nov. de 2005). "Valoración de unidades de obra". En: *Montajes e instalaciones: Revista técnica sobre la construcción e ingeniería de las instalaciones* 35.399, págs. 87-94. ISSN: 0210-184X.
- NBE-CT-79 (1979). *Norma básica de la edificación*.
- Nemry, Françoise, Andreas Uihlein, Cecilia Makishi Colodel, Christian Wetzel y col. (jul. de 2010). "Options to reduce the environmental impacts of residential buildings in the European Union—Potential and costs". En: *Energy and Buildings* 42.7, págs. 976-984. ISSN: 0378-7788. DOI: 10.1016/j.enbuild.2010.01.009.
- Netzwerks Lebenszyklusdaten (2011). *Netzwerks Lebenszyklusdaten*. URL: <http://www.netzwerk-lebenszyklusdaten.de/>.
- Ninyerola, Miquel, Xavier Pons y Joan Maria Roure (2005). *Atlas climático digital de la península ibérica. Metodología y aplicaciones en bioclimatología y geobotánica*. Bellaterra: Universidad Autónoma de Barcelona. ISBN: 84-932860-8-7.
- Ortiz, Oscar, Francesc Castells y Guido Sonnemann (ene. de 2009). "Sustainability in the construction industry: A review of recent developments based on LCA". En: *Construction and Building Materials* 23.1, págs. 28-39. ISSN: 0950-0618. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2007.11.012.

- Ortiz, Oscar, Francesc Castells y Guido Sonnemann (feb. de 2010). "Operational energy in the life cycle of residential dwellings: The experience of Spain and Colombia". En: *Applied Energy* 87.2, págs. 673-680. ISSN: 0306-2619. DOI: 10.1016/j.apenergy.2009.08.002.
- Ortiz, Oscar, Cécile Bonnet, Joan Carles Bruno y Francesc Castells (mar. de 2009). "Sustainability based on LCM of residential dwellings: A case study in Catalonia, Spain". En: *Building and Environment* 44.3, págs. 584-594. ISSN: 0360-1323. DOI: 10.1016/j.buildenv.2008.05.004.
- Ortiz, Oscar, Jorgelina C. Pasqualino, Gloria Díez y Francesc Castells (sep. de 2010). "The environmental impact of the construction phase: An application to composite walls from a life cycle perspective". En: *Resources, Conservation and Recycling* 54.11, págs. 832-840. ISSN: 0921-3449. DOI: 10.1016/j.resconrec.2010.01.002.
- OSE (2009). *Sostenibilidad en España 2009*. Observatorio de la Sostenibilidad en España. ISBN: 978-84-8476-388-8.
- (2010). *Sostenibilidad en España 2010*. Observatorio de la Sostenibilidad en España. NIPO: 770-10-276-9. ISBN: 978-84-8476-420-5.
- (2011). *Sostenibilidad en España 2011*. Observatorio de la Sostenibilidad en España. NIPO: 770-11-264-0. ISBN: 978-84-8476-543-1.
- Peuportier, Bruno y Katrien Putzeys (feb. de 2005). *Intercomparison and Benchmarking of LCA-based Environmental Assessment and Design Tools for Buildings*. Inf. téc.
- PricewaterhouseCoopers (2004). *Efectos de la aplicación del Protocolo de Kioto en la economía española*.
- PRÉ Consultants (feb. de 2011). *SimaPro LCA software*. URL: <http://www.prenl/simapro/>.
- Ramesh, T., Ravi Prakash y K.K. Shukla (2012). "Life cycle energy analysis of a residential building with different envelopes and climates in Indian context". En: *Applied Energy* 89.1, págs. 193-202. ISSN: 0306-2619. DOI: 10.1016/j.apenergy.2011.05.054.
- Real Decreto 1027/2007 (jul. de 2007). *Reglamento de instalaciones térmicas en los edificios*.
- Real Decreto 105/2008 (feb. de 2008). *Producción y gestión de los residuos de construcción y demolición*.
- Real Decreto 1247/2008 (jul. de 2008). *Instrucción de hormigón estructural (EHE-08)*.
- Real Decreto 1370/2006 (nov. de 2006). *Plan Nacional de Asignación de derechos de emisión de gases de efecto invernadero, 2008-2012*.
- Real Decreto 1627/1997 (oct. de 1997). *Disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción*.
- Real Decreto 2066/2008 (dic. de 2008). *Plan Estatal de Vivienda y Rehabilitación 2009-2012*.
- Real Decreto 314/2006 (mar. de 2006). *Código Técnico de la Edificación*.
- Real Decreto 47/2007 (ene. de 2007). *Procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios de nueva construcción*.
- Roca, Jordi, Vicent Alcántara y Emilio Padilla (nov. de 2007). *Actividad económica, consumo final de energía y requerimientos de energía primaria en Cataluña, 1990-2005. Análisis mediante el uso de los balances energéticos desde una perspectiva input-output*.
- Rodrigo, Julio, Noemí Cañellas, Montse Meneses, Climent Solé y Francesc Castells (2008). *El consumo de energía y el medio ambiente en la vivienda*

- en España. *Análisis de ciclo de vida (ACV)*. Fundación Gas Natural. ISBN: 978-84-612-2604-7.
- Rodríguez, Jorge (abr. de 2010). "Rehabilitación energética del tejido urbano residencial. Evaluación previa para una mayor eficiencia". En: *SB10mad 'Edificación sostenible. Revitalización y rehabilitación sostenible de barrios'*. ISBN: 978-84-614-1920-3.
- Rosselló-Batle, Beatriz, Andreu Moià, Antoni Cladera y Víctor Martínez (abr. de 2010). "Energy use, CO₂ emissions and waste throughout the life cycle of a sample of hotels in the Balearic Islands". En: *Energy and Buildings* 42.4, págs. 547-558. ISSN: 0378-7788. DOI: 10.1016/j.enbuild.2009.10.024.
- Rossi, Barbara, Anne-Françoise Marique y Sigrid Reiter (2012). "Life-cycle assessment of residential buildings in three different European locations, case study". En: *Building and Environment* 51.0, págs. 402-407. ISSN: 0360-1323. DOI: 10.1016/j.buildenv.2011.11.002.
- Rossi, Barbara, Anne-Françoise Marique, Mauritz Glaumann y Sigrid Reiter (2012). "Life-cycle assessment of residential buildings in three different European locations, basic tool". En: *Building and Environment* 51.0, págs. 395-401. ISSN: 0360-1323. DOI: 10.1016/j.buildenv.2011.11.017.
- Roy, Poritosh, Daisuke Nei, Takahiro Orikasa, Qingyi Xu y col. (ene. de 2009). "A review of life cycle assessment (LCA) on some food products". En: *Journal of Food Engineering* 90.1, págs. 1-10. ISSN: 0260-8774. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2008.06.016.
- Ruiz, M.C. y E. Romero (nov. de 2011). "Energy saving in the conventional design of a Spanish house using thermal simulation". En: *Energy and Buildings* 43.11, págs. 3226-3235. ISSN: 0378-7788. DOI: 10.1016/j.enbuild.2011.08.022.
- Saghafi, Mohammad Djavad y Zahra Sadat Hosseini Teshnizi (nov. de 2011). "Recycling value of building materials in building assessment systems". En: *Energy and Buildings* 43.11, págs. 3181-3188. ISSN: 0378-7788. DOI: 10.1016/j.enbuild.2011.08.016.
- Salat, Serge (2009). "Energy loads, CO₂ emissions and building stocks: morphologies, typologies, energy systems and behaviour". En: *Building Research & Information* 37.5, pág. 598. ISSN: 0961-3218. DOI: 10.1080/09613210903162126.
- Sartori, I. y A.G. Hestnes (mar. de 2007). "Energy use in the life cycle of conventional and low-energy buildings: A review article". En: *Energy and Buildings* 39.3, págs. 249-257. ISSN: 0378-7788. DOI: 10.1016/j.enbuild.2006.07.001.
- Sartori, Igor, Bjørn Jensen Wachenfeldt y Anne Grete Hestnes (mayo de 2009). "Energy demand in the Norwegian building stock: Scenarios on potential reduction". En: *Energy Policy* 37.5, págs. 1614-1627. ISSN: 0301-4215. DOI: 10.1016/j.enpol.2008.12.031.
- Scheuer, Chris, Gregory A. Keoleian y Peter Reppe (nov. de 2003). "Life cycle energy and environmental performance of a new university building: modeling challenges and design implications". En: *Energy and Buildings* 35.10, págs. 1049-1064. ISSN: 0378-7788. DOI: 10.1016/S0378-7788(03)00066-5.
- SEOPAN (ene. de 2009). *Annual report on the construction 2007*. Asociación de Empresas Constructoras de Ámbito Nacional de España.

- Serrano López, Miguel Ángel, Miguel A. Castrillo Cabello y Manuel López Aenlle (2009). *Formulario-prontuario de estructuras: estructuras de acero, estructuras de hormigón, estructuras de madera*. es. Bellisco. ISBN: 9788496486393.
- Sharma, Aashish, Abhishek Saxena, Muneesh Sethi, Venu Shree y Varun (ene. de 2011). "Life cycle assessment of buildings: A review". En: *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15.1, págs. 871-875. ISSN: 1364-0321. DOI: 10.1016/j.rser.2010.09.008.
- Singh, Amanjeet, George Berghorn, Satish Joshi y Matt Syal (mar. de 2011). "Review of Life-Cycle Assessment Applications in Building Construction". En: *Journal of Architectural Engineering* 17.1, págs. 15-23. ISSN: 1076-0431, 1943-5568. DOI: 10.1061/(ASCE)AE.1943-5568.0000026.
- Solé Bonet, Josep y CAATT (2003). *Aislamiento Térmico En La Edificación: El Cálculo De La Demanda Energética Como Herramienta De Diseño*. Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Tarragona. Tarragona: Col·legi d'Aparelladors i Arquitectes Tècnics de Tarragona. ISBN: 8495624257.
- Srinivasan, Ravi S., William W. Braham, Daniel E. Campbell y Charlie D. Curcija (2012). "Re(De)fining Net Zero Energy: Renewable Energy Balance in environmental building design". En: *Building and Environment* 47.0, págs. 300-315. ISSN: 0360-1323. DOI: 10.1016/j.buildenv.2011.07.010.
- Szalay, A. Zöld-Zs. (abr. de 2007). "What is missing from the concept of the new European Building Directive?" En: *Building and Environment* 42.4, págs. 1761-1769. ISSN: 0360-1323. DOI: 10.1016/j.buildenv.2005.12.003.
- TABULA (jun. de 2010). *Use of Building Typologies for Energy Performance Assessment of National Building Stocks. Existent Experiences in European Countries and Common Approach*. Typology Approach for Building Stock Energy Assessment.
- TFB (mar. de 2010). *Split-incentives - a case for the third party - Resolving the landlord-tenant dilemma through energy services*. Technology Foundation Berlin.
- Thormark, C. (ago. de 2006). "The effect of material choice on the total energy need and recycling potential of a building". En: *Building and Environment* 41.8, págs. 1019-1026. ISSN: 0360-1323. DOI: 10.1016/j.buildenv.2005.04.026.
- Trusty, Wayne y Scot Horst (nov. de 2005). "LCA Tools Around the World". En: *2005 White Paper: Life Cycle Assessment and Sustainability*, págs. 12-15.
- Uihlein, Andreas y Peter Eder (jun. de 2010). "Policy options towards an energy efficient residential building stock in the EU-27". En: *Energy and Buildings* 42.6, págs. 791-798. ISSN: 0378-7788. DOI: 10.1016/j.enbuild.2009.11.016.
- UNDESA (dic. de 2010). *Secretary-General's Report on Objectives and Themes of the United Nations Conference*. United Nations Department of Economic and Social Affairs.
- UNE-EN 15643-1:2010 (2010). *Sustainability of construction works – Sustainability assessment of buildings – Part 1: General framework*.
- UNEP (2005). *Life Cycle Approaches - The road from analysis to practice*. United Nations Environment Programme.
- (2009). *Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products*. United Nations Environment Programme. ISBN: 978-92-807-3021-0.

- United Nations (1972). *United Nations Conference on the Human Environment*. Stockholm Conference. Stockholm.
- (jun. de 1992). *Earth Summit 1992: United Nations Conference on Environment and Development*. Rio de Janeiro.
- (1998). *Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change*.
- (ago. de 2002). *Report of the World Summit on Sustainable Development*. Johannesburg, South Africa. ISBN: 92-1-104521-5.
- (dic. de 2008a). *Central Product Classification (CPC) Ver.2*.
- (2008b). *Principles and Recommendations for Population and Housing Censuses*. 2.^a ed. ISBN: 978-92-1-161505-0.
- (2012). *Compendium of Housing Statistics 2011*.
- USDoE (dic. de 2010). *Building Energy Software Tools Directory*. U.S. Department of Energy.
- USEPA (mayo de 2006). *Life Cycle Assessment: Principles and Practice*. U.S. Environmental Protection Agency.
- Uygunoglu, Tayfun y Ali Keçebas (2011). "LCC analysis for energy-saving in residential buildings with different types of construction masonry blocks". En: *Energy and Buildings* 43.9, págs. 2077-2085. ISSN: 0378-7788. DOI: 10.1016/j.enbuild.2011.04.011.
- Vera, Nelson y José M Baldasano (sep. de 2005). *Atlas climático de irradiación solar a partir de imágenes del satélite NOAA: Aplicación a la península ibérica*. ISBN: 8468949981.
- Verbeeck, G. y H. Hens (abr. de 2010). "Life cycle inventory of buildings: A calculation method". En: *Building and Environment* 45.4, págs. 1037-1041. ISSN: 0360-1323. DOI: 10.1016/j.buildenv.2009.10.012.
- Vicente-Serrano, Sergio M. (feb. de 2006). "Spatial and temporal analysis of droughts in the Iberian Peninsula (1910-2000)". En: *Hydrological Sciences Journal/Journal des Sciences Hydrologiques* 51.1, págs. 83-97. ISSN: 0262-6667. DOI: 10.1623/hysj.51.1.83.
- Viladomiu, Elisabet (mayo de 2008). *Proyecto RehEnergía. Rehabilitación energética de edificios de viviendas*. Madrid.
- WBCSD (feb. de 2010). *Vision 2050: The new agenda for business*. World Business Council for Sustainable Development. ISBN: 978-3-940388-56-8.
- WCED (1987). *Our common future*. The Brundtland report. World Commission on Environment and Development. Oxford: Oxford University Press. ISBN: 9780192820808.
- WEC (2008). *Energy Efficiency Policies around the World: Review and Evaluation*. World Energy Council. ISBN: 0 946121 30 3.
- WMO (2009). *Report of the World Climate Conference-3. Better climate information for a better future*. Geneva, Switzerland. ISBN: 978-92-63-11048-0.
- Yeo, DongHun y Rene D. Gabbai (2011). "Sustainable design of reinforced concrete structures through embodied energy optimization". En: *Energy and Buildings* 43.8, págs. 2028-2033. ISSN: 0378-7788. DOI: 10.1016/j.enbuild.2011.04.014.
- Zabalza, Ignacio, Alfonso Aranda y Sabina Scarpellini (dic. de 2009). "Life cycle assessment in buildings: State-of-the-art and simplified LCA methodology as a complement for building certification". En: *Building and Environment* 44.12, págs. 2510-2520. ISSN: 0360-1323. DOI: 10.1016/j.buildenv.2009.05.001.