



UNIVERSIDAD DE SEVILLA

Departamento de Construcciones Arquitectónicas II

## **Tesis Doctoral**

---

EVALUACIÓN ECONÓMICA Y AMBIENTAL  
DE LA CONSTRUCCIÓN DE EDIFICIOS RESIDENCIALES.  
APLICACIÓN A ESPAÑA Y CHILE

---

**Patricia González Vallejo**

Directores:

**Dra. Madelyn Marrero y**

**Dr. Jaime Solís Guzmán**

Sevilla, Mayo de 2017



A Roberto y a Elvira,  
gracias a vosotros he llegado hasta aquí,  
gracias por enseñarme a luchar siempre y a no dejar de sonreír  
nunca.

A Juan, por acompañarme cada día.  
A mi pequeño Roberto, por haber llenado de luz nuestras vidas.



# Índice general

<b>Resumen</b>	<b>1</b>
<b>1. Introducción</b>	<b>5</b>
<b>2. Estado de la cuestión</b>	<b>11</b>
2.1. Evaluación ambiental . . . . .	12
2.1.1. Indicadores ambientales aplicados a la edificación .	13
2.1.2. Indicador Huella Ecológica (HE) . . . . .	17
2.1.3. Indicador HE aplicado a la edificación . . . . .	19
2.1.4. Definición de conceptos del indicador HE . . . . .	22
2.1.5. Metodología HE aplicada a edificación . . . . .	29
2.2. Evaluación económica . . . . .	36
2.2.1. Modelo de clasificación y presupuestación . . . . .	37
<b>3. Justificación y objetivos</b>	<b>49</b>
<b>4. Metodología</b>	<b>53</b>
<b>5. Modelo teórico</b>	<b>57</b>
5.1. Límites del sistema . . . . .	58
5.1.1. Límites longitudinales . . . . .	58
5.1.2. Límites transversales: . . . . .	62
5.2. Evaluación del impacto económico . . . . .	63
5.3. Evaluación del impacto ambiental . . . . .	64
5.4. Clasificación sistemática . . . . .	65
5.5. Banco de cuantificación de recursos . . . . .	66
5.6. Indicador Huella Ecológica (HE) . . . . .	69
5.6.1. Materiales . . . . .	73
5.6.2. Mano de obra . . . . .	82
5.6.3. Maquinaria . . . . .	93
5.6.4. Electricidad . . . . .	98
5.6.5. Agua . . . . .	102

5.6.6.	Superficie consumida . . . . .	104
<b>6.</b>	<b>Aplicación a España</b>	<b>107</b>
6.1.	Selección de tipologías de viviendas . . . . .	108
6.1.1.	Situación sector de la construcción. . . . .	108
6.1.2.	Construcción en España en el período 2007-2010 . . . . .	111
6.1.3.	Definición del modelo constructivo . . . . .	123
6.1.4.	Elección de tipologías de viviendas . . . . .	129
6.2.	Búsqueda de proyectos acordes con las viviendas tipo . . . . .	133
6.3.	Mediciones . . . . .	135
6.3.1.	Actualización de mediciones y presupuesto . . . . .	138
6.3.2.	Medición actualizada de los proyectos . . . . .	140
6.4.	Banco de cuantificación de recursos . . . . .	149
6.5.	Evaluación del impacto económico: Presupuesto . . . . .	153
6.6.	Costes indirectos . . . . .	157
6.7.	Evaluación del impacto ambiental: Indicador HE . . . . .	162
<b>7.</b>	<b>Aplicación a Chile</b>	<b>163</b>
7.1.	Introducción . . . . .	164
7.2.	Selección de tipología de vivienda . . . . .	165
7.2.1.	Industria de la construcción . . . . .	165
7.2.2.	Análisis de la vivienda . . . . .	167
7.3.	Bases de costes de la construcción . . . . .	169
7.4.	Evaluación de la HE . . . . .	172
7.4.1.	Electricidad . . . . .	175
7.4.2.	Agua . . . . .	178
7.4.3.	Combustible . . . . .	181
7.4.4.	Materiales . . . . .	181
7.4.5.	Mano de obra . . . . .	185
7.4.6.	Maquinaria . . . . .	187
7.4.7.	Costes indirectos (CI) . . . . .	187
7.5.	Adaptación del proyecto al Modelo HE . . . . .	188
7.6.	Proyecto seleccionado . . . . .	191
7.6.1.	Análisis de documentación . . . . .	192
7.6.2.	Descripción del proyecto . . . . .	200
7.7.	Banco de costes de la construcción empleado . . . . .	216
7.8.	Medición y Presupuesto . . . . .	217
7.9.	Banco de Cuantificación de Recursos . . . . .	233
7.10.	HE del proyecto de Chile . . . . .	236
7.10.1.	Electricidad . . . . .	236
7.10.2.	Agua . . . . .	238
7.10.3.	Materiales . . . . .	239

7.10.4. Mano de obra . . . . .	242
7.10.5. Maquinaria . . . . .	242
7.10.6. Costes indirectos (CI) . . . . .	242
7.10.7. Superficie consumida . . . . .	244
<b>8. Validación del modelo y resultados</b>	<b>245</b>
8.1. Validación del modelo . . . . .	246
8.1.1. Análisis de sensibilidad del modelo . . . . .	247
8.1.2. Análisis según tipología edificatoria . . . . .	259
8.1.3. Análisis según sistema constructivo . . . . .	279
8.2. Aplicación a Chile . . . . .	299
8.2.1. Medición y presupuesto de proyecto . . . . .	299
8.2.2. Materiales . . . . .	303
8.2.3. Mano de obra . . . . .	308
8.2.4. Maquinaria . . . . .	310
8.2.5. Electricidad . . . . .	311
8.2.6. Agua . . . . .	312
8.2.7. Huellas parciales y HE total . . . . .	312
8.2.8. Huella por capítulos . . . . .	315
8.3. Comparativa entre Chile y España . . . . .	326
8.4. Discusión de resultados . . . . .	328
<b>9. Conclusiones</b>	<b>331</b>
<b>10. Futuras líneas de investigación</b>	<b>335</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>346</b>





# Resumen

**RESUMEN:** Se pretende adaptar y revisar el modelo de Huella Ecológica (HE) aplicado a edificación para poder evaluar el impacto económico y ambiental de las construcciones de viviendas en España y determinar si el indicador HE es sensible a cambios en las tipologías de edificios, soluciones constructivas y materiales de construcción. Además, se plantea realizar la adaptación a otros países con distintos materiales y soluciones constructivas. Y todo ello partiendo de las mismas herramientas necesarias para realizar la medición y presupuesto del proyecto, es decir, un proyecto y una base de costes de la construcción como es la de Andalucía (BCCA). Se valida el modelo aplicándolo primero a España demostrando la sensibilidad a diferentes tipologías y sistemas constructivos, obteniendo como principales resultados que las viviendas unifamiliares tienen una HE superior a las plurifamiliares, que la huella parcial de la energía es la de mayor impacto con un 80 % sobre el total de HE, y que la fabricación de materiales es lo que produce el 80 % del impacto energético, en la mayoría de los casos analizados. En los resultados clasificados por capítulos de proyectos se puede afirmar que las fases de estructuras, cimentación y albañilería son las de mayor impacto. Finalmente se valida la adaptabilidad del modelo a otros países, como Chile, obteniendo resultados comparables. La HE de la vivienda unifamiliar chilena por metro cuadrado es inferior que la de una vivienda de la misma tipología en España, debido fundamentalmente al uso generalizado en Chile de la madera para estructura, cerramientos y revestimientos, frente al hormigón y la cerámica utilizados en las construcciones españolas. Como conclusión, cabe destacar, que el modelo HE es sensible a cambios en los recursos y en las soluciones constructivas, es adaptable a otros países y es válido para la toma de decisiones en fase de diseño para poder reducir los impactos económico y ambiental.

# Capítulo 1

## Introducción

Dentro de las actividades industriales, la actividad constructora, incluida su industria asociada, es la mayor consumidora de recursos naturales tales como madera, minerales, agua y energía. A nivel de la Unión Europea, se le considera responsable del 40 % del consumo final de la energía. La construcción y el uso de los edificios en España suponen más del 30 % del consumo de energía, principalmente no renovable, 30 % de la generación de emisiones de CO<sub>2</sub>, más del 20 % de las extracciones de materiales de la corteza terrestre y entre el 30 y el 40 % de los residuos sólidos generados. A estas cifras habría que añadir las emisiones debidas a los procesos de fabricación, transporte y generación eléctrica asociados a la edificación, incluidos actualmente en otros apartados.

España superó en 2011 la cifra de 25 millones de viviendas, sumando viviendas principales y secundarias, cifra que a pesar de la escasa actividad de la construcción en la actualidad, no dejó de aumentar en la última década. En 2010, en plena crisis del sector, fue del 0,8 % anual. Ese crecimiento desmesurado provocó un impacto ambiental mucho mayor que el que debería haber originado una actividad constructora más racional, y que hasta ahora no ha sido cuantificado.

Es necesario evaluar este aspecto a través de indicadores, de forma que se pueda calificar y cuantificar el peso de los impactos durante su ciclo de vida, desde la extracción de las materias primas hasta su demolición. Las herramientas disponibles generalmente siguen la metodología de Análisis de Ciclo de Vida. Aparte, están surgiendo otras, como el análisis de energía o el análisis de flujo de materiales. Sin embargo, no existen aproximaciones estandarizadas desde el punto de vista de otras metodologías, como la huella ecológica. Es necesario además que esto pueda realizarse a partir de herramientas sencillas y de fácil acceso para que finalmente se generalice la evaluación ambiental desde la fase de diseño.

El indicador huella ecológica (HE) fue introducido por Mathis Wackernagel, que midió la HE de la humanidad y la comparó con la capacidad de carga del planeta. De acuerdo con su definición, la HE es la extensión de tierra que sería necesaria para suministrar los recursos (cereales, pienso, leña, pescado y terreno urbano) y absorber las emisiones (CO<sub>2</sub>) de la sociedad mundial. Actualmente es considerado uno de los indicadores más relevantes para evaluar los impactos generados en el medio ambiente, y además puede ser usado conjuntamente con otros indicadores, como la huella de carbono o la huella hídrica. El indicador se ha usado desde sus inicios para determinar impactos a muy diversa escala: para predecir los impactos que generará la humanidad sobre el Planeta Tierra, para realizar el cálculo periódico de la huella que la humanidad marca, o también para calcular periódicamente las huellas de los distintos países, ciudades,

barrios, sectores productivos o industrias.

La metodología que se aplica actualmente para calcular la HE viene fijada por un organismo internacional llamado Global Footprint Network, en el que colaboran investigadores y expertos en sostenibilidad de todo el mundo. La GFN colabora con la World Wildlife Fund en la publicación periódica del Informe de Planeta Vivo, en el que se calcula, entre otros parámetros, la HE a nivel global.

De entre los estudios que han optado por utilizar el indicador HE, intentando adaptar su metodología a las particularidades del sector de la edificación, se pueden destacar dos, aunque ambos contemplan solamente la fase de construcción del edificio. Éstos son los de Bastianoni et al. y Solís-Guzmán et al.

Para poder reducir el impacto que genera el ciclo de vida de los edificios en el medio ambiente, en primer lugar se tendrá que cuantificar este impacto, evaluar los agentes que intervienen en el proceso y finalmente determinar las posibles mejoras para la optimización del mismo, consiguiendo así que los edificios sean más sostenibles. El ciclo de vida de los edificios comprende desde la transformación del suelo rústico a urbano, la fase de diseño del proyecto, construcción, uso y mantenimiento, hasta la rehabilitación o demolición del mismo al final de su vida útil.

El grupo de investigación Arditec en el seno del cual se desarrolla la presente tesis, está desarrollando el modelo para aplicarlo al ciclo de vida completo del edificio. El ámbito de trabajo de los investigadores (arquitectura, ingeniería, geografía, urbanismo y medio ambiente) permite afrontar el reto del diseño del modelo conjunto con garantías. Por lo cual la presente tesis representa una pieza fundamental para completar el ciclo de vida del edificio.

En este trabajo se pretende acotar la fase de la construcción de los edificios residenciales y se propone el desarrollo de un modelo para poder evaluar su impacto económico y ambiental, a partir de los datos de una base de costes de la construcción, proyectos reales y en particular de las mediciones y presupuesto del mismo, además de la metodología del indicador HE, aplicada a la construcción. Se pretende además que pueda ser replicable a otros países. Se evalúa un caso de construcción de viviendas en Chile, donde tienen diferentes sistemas constructivos de edificios y como el material principal la madera.

Se plantean, por tanto, varios retos en la investigación, uno de ellos cuantificar los impactos ya desde la fase de diseño del edificio, y otro establecer criterios de decisión para la mejora medio ambiental desde el punto de vista de la selección de materiales y sistemas constructivos.

Se parte fundamentalmente de las mediciones y presupuesto, de los datos de un proyecto real y de una base de costes de la construcción, la

cual es necesaria para valorar económicamente la construcción de cualquier edificio. Se obtiene un modelo adaptable a cualquier país, con diferentes bases de costes, diferentes sistemas de construcción y tipologías de viviendas.

Todo ello sería un avance en cuanto a la concepción del edificio desde la fase de diseño, pudiendo evaluar las diferentes opciones y planificando a nivel de proyecto no sólo desde el punto de vista económico sino también medio ambiental.

La estructura general de la tesis se plantea en dos grandes bloques, en la Parte I: Modelo HE para edificación, se desarrolla el modelo, se plantea el contexto teórico y el estado actual a nivel mundial de los desarrollos científicos basados en los indicadores ambientales, pudiendo así situar el presente trabajo e identificar cuales son los avances e innovaciones que se proponen con la tesis doctoral. A continuación, se exponen la justificación y los objetivos propuestos, que se clasifican en principales y secundarios. En el siguiente capítulo de metodología, se explica brevemente la estructura y desarrollo del modelo HE, el cual se desarrolla completamente en el modelo teórico. En este capítulo, se establecen los límites del sistema, se plantea la evaluación económica y ambiental y como, a partir de la Base de Costes de la Construcción de Andalucía (BCCA) y su clasificación sistemática, se desarrolla un banco de cuantificación de recursos (BCRR) y como en la última fase se aplica la metodología del indicador HE y se incorpora al modelo.

En el siguiente bloque, la Parte II: Validación del modelo HE. Aplicación en España y Chile: se valida el modelo a partir de las aplicaciones a casos reales de viviendas en España y Chile. Cada país representa un capítulo dentro de esta parte, dónde la estructura se repite. El procedimiento a seguir para obtener el modelo y la validación del mismo a partir de los casos prácticos, se desarrolla en tres fases fundamentales. La primera fase consta de varias etapas, se comienza con una introducción a la situación actual de la construcción en el país de referencia, a continuación se seleccionan las tipologías de viviendas más comunes del país a estudiar y en último lugar se obtienen proyectos reales para extraer los datos generales, las mediciones y presupuestos de los mismos. En la siguiente fase se presentan los casos de estudio que se analizan a partir de sus características tipológicas y constructivas. Finalmente se valida dicho Modelo HE con 97 casos reales de vivienda plurifamiliar en España y se comparan viviendas unifamiliares de España y Chile, para analizar la sensibilidad del modelo general. Los capítulos son: Aplicación a España y Aplicación a Chile.

En el capítulo de Validación y resultados, se exponen los resultados de la validación del modelo y la discusión de los mismos, desde tres pun-

tos de vista. En primer lugar, se comprueba la sensibilidad del modelo, en segundo lugar, las diferencias según las tipologías edificatorias y por último, el estudio de los impactos en función de los sistemas constructivos empleados. Una vez que se valida el modelo con la aplicación a España, se quiere demostrar su adaptabilidad a otros países, para ello se exponen también los resultados del caso particular de Chile. Se plantean comparativas entre los países, y se realiza la discusión de los resultados según las diferentes tipologías, los sistemas constructivos empleados y los resultados de otros grupos de investigación.

A partir de los objetivos planteados y de los resultados obtenidos se exponen las conclusiones, de entre las que destacan, que el modelo HE adaptado a la construcción de viviendas es sensible a cambios en los materiales de construcción, a la intensidad de la mano de obra o al tipo de maquinaria, además de ser también sensible a cambios en las soluciones constructivas. Por ejemplo, la HE de una vivienda chilena por metro cuadrado es inferior que la de una vivienda de la misma tipología en España, debido fundamentalmente al uso generalizado en Chile de la madera para estructura, cerramientos y revestimientos, frente al hormigón y la cerámica de ladrillos y pavimentos utilizados en las construcciones españolas.

Finalmente, se proponen futuras líneas de investigación, según los resultados y conclusiones obtenidos a partir del modelo desarrollado. Se cierra el documento con un glosario de términos, donde se incluye terminología específica y abreviaturas empleadas a lo largo del texto.





## Capítulo 2

# Estado de la cuestión

Se van a definir los conceptos necesarios como base de la investigación para que a partir del conocimiento y estudio del estado de conocimiento actual de los mismos se pueda desarrollar el modelo de evaluación económica y ambiental en la edificación. El capítulo se organiza en dos grandes bloques, en primer lugar la Evaluación Ambiental, donde se establecen los indicadores ambientales aplicados a la edificación y la justificación del uso particular del indicador Huella Ecológica. Y por otro lado el segundo bloque sería la Evaluación Económica, la cual es indispensable, ya que el objetivo es partir de un presupuesto de obra y partiendo de los mismos datos empleados para ello, poder realizar el análisis ambiental. Se toman como punto de partida las bases de costes de la construcción y su propia estructura. Igualmente se necesita el aspecto económico para realizar las comparativas de viabilidad entre ambos aspectos, el económico y el ambiental, en el momento de la toma de decisiones en fase de proyecto.

## 2.1. Evaluación ambiental

Vamos a introducir este apartado haciendo referencia a Esther Higueiras en su libro *El Reto de la Ciudad Habitable y Sostenible* [1]. Resulta evidentes que los recursos ambientales locales y globales de la era post-industrial, son inherentes a las formas de vida, organización y consumo de la sociedad actual. Hoy día el hemisferio norte representa el 20 % de la población más rica del mundo que consume aproximadamente el 80 % de los recursos naturales del planeta y producen una contaminación global equivalente. El desarrollo de unos se ha hecho a costa del subdesarrollo de otros.

Las ciudades hasta la Revolución Industrial tenían un control más reducido sobre sus recursos, materiales y energías, entre otras cosas ante la capacidad tecnológica de extraerlos en grandes cantidades y de lugares alejados. Sin embargo un punto de inflexión se ha producido desde la industrialización de las ciudades. En la actualidad han aparecido importantes disfuncionalidades que han hecho necesario nuevos planteamientos, entre los que se encuentra el reto del desarrollo urbano sostenible,[1].

Las consecuencias de la industrialización fueron puestas de manifiesto en la Cumbre de la Tierra de Janeiro (1992), donde se establecieron los principios para el desarrollo sostenible como único camino ante los graves problemas ambientales que sufre el planeta Tierra, de donde se redacta el informe Brundtland donde se define el concepto de sostenibilidad o sustentabilidad: “el desarrollo sostenible es el desarrollo que satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias nece-

sidades”. La preocupación por estas cuestiones de alcance global y ante las graves disfuncionalidades ambientales planetarias, hace que los ciudadanos demanden a políticos y profesionales respuestas adecuadas entre el crecimiento y el territorio donde se asientan.

### **2.1.1. Indicadores ambientales aplicados a la edificación**

En general, se puede decir que actualmente existen dos tipos de indicadores ambientales [2]. Los primeros son los indicadores de estado de presión, que utilizan unidades físicas convencionales. Normalmente evalúan factores muy localizados, de manera que obtienen una información de primer nivel que debe ser procesada a posteriori para llegar a una información más sintetizada. Algunos ejemplos son BREEAM (Reino Unido) y LEED (EEUU), que proporcionan una lista de indicadores para comparar rendimientos de edificios e impactos ambientales.

Los segundos son los indicadores de sostenibilidad, que proporcionan una evaluación general integrando múltiples fenómenos que podrían no estar relacionados. Los indicadores de sostenibilidad global se obtienen procesando datos relativos a distintos parámetros a través de algoritmos basados en la termodinámica. Ejemplos de este tipo de son el análisis de Emergía, la Huella Ecológica, o la Huella de Carbono, que se explican a continuación, entre otros.

Entre las revisiones de indicadores ambientales recientemente realizadas destacan dos. En la primera, centrada en indicadores de aplicación a nivel corporativo, se detecta una falta de conocimiento de cómo pueden utilizarse conjuntamente para alcanzar una evaluación más completa y significativa [3]. La segunda está enfocada a indicadores aplicados al análisis ambiental de un territorio, y cuenta con un análisis comparativo de diferentes métodos de acuerdo a unos parámetros de evaluación, entre los que se encuentran la metodología, el modelado del sistema, los elementos que entran en los cálculos, los indicadores que proporcionan, y la usabilidad [4].

Según estos estudios, los distintos indicadores se pueden clasificar según su procedencia de alguno de los siguientes métodos de análisis:

- Energy Flow Analysis (EFA): Análisis de flujo de energía.
- Material Flow Analysis (MFA): Análisis de flujo de materiales
- Life Cycle Assessment (LCA): Análisis de ciclo de vida.

- Human and Enviromental Risk Assessment (HERA): Análisis de riesgo humano y ambiental.
- Land-based Indicators: Indicadores con una dimensión territorial. Como es la Huella Ecológica.

Una primera aproximación a los indicadores de crecimiento se puede rastrear en los modelos desarrollados por Jay W. Forrester en los años 70 (Forrester, 1970). Su estudio se concreta en dos partes: la primera, a principios de los setenta, como parte del trabajo encargado por el Club de Roma, y en la que se analizaba el efecto del crecimiento de la población y de la actividad humana en un mundo de recursos limitados, y cómo las posibles pautas de comportamiento de la economía humana interactuarían con la capacidad de carga del planeta en un futuro próximo. De dicho estudio surge el informe *¿Dynamics of Growth in a Finite World?* (Meadows y Meadows, 1973). La segunda, desarrollada treinta años después, aspira a la determinación de similares objetivos aunque con herramientas mucho más potentes, e introduciendo conceptos y definiciones que en los años setenta aún no existían: Huella Ecológica, extralimitación, sostenible, colapso, ciclos de erosión, etc. Este último informe se recoge en el libro *¿Los límites del crecimiento 30 años después?* (Meadows et al, 2006). En la búsqueda de la mejora del comportamiento ambiental de los edificios es necesario evaluar este aspecto a través de indicadores, de forma que se pueda calificar y cuantificar el peso de los impactos ambientales durante todo su ciclo de vida, desde la extracción de las materias primas hasta su demolición. Las herramientas que analizan dichos impactos generalmente siguen la metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) (Zabalza Bribián et al, 2011; Malmqvist y Glauermann, 2009). Aparte, están surgiendo otras herramientas que analizan estos impactos, como el análisis de energía (Meillaud et al, 2005) o el análisis de flujo de materiales (Sinivuori y Saari, 2006). Sin embargo, no existen aproximaciones desde el punto de vista de otras metodologías, como la de la Huella Ecológica (HE).

Son varios los estudios que siguen unos patrones similares para el cálculo del impacto ambiental de la edificación, pero los puntos en común que obtienen como resultado se pueden resumir en estas tres conclusiones:

- La fase de construcción del edificio es la que produce un consumo más intensivo, concentrado en un corto periodo de tiempo (1-2 años). Las decisiones tomadas durante esta etapa influirán en gran medida en el resto de fases del ciclo de vida del edificio (CVE).
- La fase de ocupación es la que mayor consumo de energía tiene en

todo el CVE. Su duración (más de 50 años), hace que reducir el consumo de energía operacional sea la principal meta a alcanzar.

- La reducción del consumo de energía durante la fase de uso se debe alcanzar a través de decisiones en la fase de diseño, que normalmente implican una mayor energía embebida de los materiales de construcción. Por tanto, una vez que la energía operacional se reduzca, la atención de los investigadores deberá centrarse en el desarrollo de nuevos materiales de aislamiento que requieran poca energía para su fabricación.
- Si bien las etapas de transformación del uso del suelo y de recuperación o demolición producen un impacto ambiental más reducido, es interesante su influencia en la biocapacidad de la parcela, así como su relación con otras etapas del CVE.

Con estas conclusiones en la mano, no se puede ignorar la importancia de anticipar los impactos que se van a producir como consecuencia del diseño del edificio. Como decíamos, existen numerosos análisis de impacto ambiental de edificios, aunque sólo unos pocos abarcan el ciclo de vida completo y la gran mayoría se limitan al análisis del consumo energético. Aun así, merece la pena destacar algunos de ellos, los cuales presentan un planteamiento interesante. La mayoría de estos estudios de Análisis de Ciclo de Vida de edificios se pueden consultar en diversas revisiones llevadas a cabo en los últimos años (Sartori y Hestnes, 2007; Sharma et al, 2011; Buyle et al, 2013; Cabeza et al, 2014).

De entre ellos, Adalberth (1997a; 1997b) propuso uno de los primeros planteamientos, en el que se desarrolla un modelo de análisis de consumo de energía durante el CVE, y posteriormente se aplica a tres viviendas con una hipótesis de 50 años de vida útil. Este modelo contempla la fabricación de los materiales de construcción, su transporte, la construcción del edificio, su ocupación, renovación, demolición y eliminación. Las conclusiones indican que alrededor del 85 % de la energía consumida durante la vida del edificio corresponde a la fase de ocupación. Un planteamiento similar fue el de Cole y Kernan (1996), aunque no contabilizan los costes energéticos de la demolición. Su análisis indica que la disminución de las necesidades de energía en el uso del edificio debe ser claramente abordada en la fase de diseño, ya que algunas de las decisiones de esta etapa podrían reducir significativamente el consumo.

A través de un caso de estudio de un edificio de bajo consumo en Suecia, Thormark (2002) encontró que un gran porcentaje del consumo de energía durante el CVE retorna a la que llama fase de pre-uso, ya

que los materiales de aislamiento más eficaces tienen una energía incorporada más alta, y por tanto el mejorar el comportamiento en la fase de uso afecta a la fase de diseño directamente. Este problema se puede superar utilizando materiales de aislamiento eficientes con baja energía incorporada, y aumentando al mismo tiempo el potencial de reciclaje de los materiales de construcción en general.

Scheuer et al (2003) llevaron a cabo el análisis de un edificio universitario de seis plantas con 75 años de vida útil y uso mixto como oficinas, aulas y habitaciones de hotel. A través de un programa de modelado, determinaron que el consumo de energía primaria para aire acondicionado, calefacción y electricidad suponía un 97,7% de la energía total consumida durante la fase de uso.

Muñoz et al (2012) realizan un estudio de Huella de Carbono de un proyecto tipo de viviendas sociales construidas en Chile, centrándose en el ACV de los materiales de construcción, en el que se incluye la puesta en obra de los mismos. Los resultados mostraban que la energía consumida en las distintas fases era muy desigual. La energía de la puesta en obra resulta despreciable, mientras que el 35% corresponde a la extracción y fabricación de materiales, y el 65% al uso y mantenimiento de la vivienda.

Aunque internamente todos los análisis se basan en el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) debido a la necesidad de incluir la energía incorporada de los materiales de construcción, existen otros estudios que proponen planteamientos innovadores y ofrecen un punto de vista diferente de los expuestos hasta ahora.

Por ejemplo, Meillaud et al (2005) aplican el análisis de energía (escrito con  $m^?$ ) a un edificio académico teniendo en cuenta la energía para calefacción, electricidad, agua y materiales, además de otros elementos relativos a los ocupantes del mismo (los estudiantes).

Pulselli et al (2007) utilizan una metodología similar para analizar un edificio mixto de oficinas y viviendas de 10000 m<sup>2</sup>. En su estudio toman algunas hipótesis interesantes, tales como asignar 125 kcal/hora de media como energía consumida por los operarios en el puesto de trabajo, contabilizar el consumo de agua y su correspondiente generación de aguas grises, o el cálculo de la energía para mantenimiento a través de tres factores: una tasa de impacto/coste, la vida útil de los materiales, y los 50 años de vida útil supuestos para el edificio.

Sin embargo, el indicador que de alguna manera mejor representa la relación del ser humano con su ecosistema es la Huella Ecológica (HE), la cual permite visualizar el impacto humano en relación a la capacidad de carga del planeta.

Es muy importante para el estudio de la HE definir las escalas de aplicación del indicador. En primer lugar, figuran los estudios a escala

planetaria, publicados en el Informe Planeta Vivo (WWF, 2012). A escala urbana, para identificar los impactos que la ciudad genera sobre el medio que le rodea es necesario conocer previamente los elementos de planificación que pueden afectar a ese medio, entre los que podríamos enumerar los siguientes:

- El tamaño de la ciudad y el tipo de asentamiento (centralización vs descentralización)
- Localización de las viviendas dentro de la ciudad (alta o baja densidad de población)
- Las áreas residenciales
- Tipos de viviendas (unifamiliares o colectivas)

Dentro de esa planificación urbana la HE será un indicador que nos permitirá conocer cómo impactan los distintos modelos de ciudad. Así, en países desarrollados, la HE media se estima alrededor de 6,5 hectáreas (ha), mientras que en los países con bajos ingresos la media se sitúa en 0,8 ha. Por otra parte, la HE de las familias se ha establecido según algunos estudios (Holden, 2004) en 1,5 ha por persona y año para poblaciones de alta densidad, y de 2 ha para las de baja densidad.

Actualmente hay una tendencia a usar metodologías más simples, ya que la sociedad puede entenderlas con facilidad. De entre éstas, las huellas ecológica (HE), la de carbono (HC) e hídrica (HH) son las más prominentes. Este éxito se debe, primero, a que los resultados que producen son entendibles por la sociedad no científica, y segundo, a su facilidad de aplicación en políticas medioambientales y toma de decisiones (Bare et al. 2000).

### **2.1.2. Antecedentes y estado actual del indicador Huella Ecológica**

Diversos autores han intentado acotar la idea de desarrollo sostenible, buscando los indicadores más apropiados. El indicador más consensuado actualmente es la Huella Ecológica (HE) que es un cálculo que sirve para reconocer las repercusiones de la urbanización sobre el territorio, atendiendo a una determinada forma de vida, y a escalas tanto a nivel de persona, a nivel local como a nivel global o planetario. Esta gran diversificación y adaptabilidad es en realidad lo más interesante de este indicador y lo que lo hace tan potente.

El concepto moderno de la Huella Ecológica fue introducido formalmente por Mathis Wackernagel y William Rees a principio de los años

90, [5]. Como respuesta a los debates actuales de sobre la capacidad de carga del planeta. El cálculo de la Huella Ecológica fue diseñado para representar el consumo humano real de los recursos naturales y la generación de residuos en términos de la superficie del ecosistema consumida, la cual puede compararse con la capacidad productiva de la biosfera en un año. Como los recursos naturales son renovables y se regeneran usando la energía solar, la Huella Ecológica de una población puede definirse como una representación del área que continuamente se requiere para generar una cantidad de energía fotosintética de biomasa y la materia equivalente a la cantidad consumida y malgastada por la población. Enfocándose exclusivamente en el área bioprodutiva y en los recursos actualmente extraídos y los residuos actualmente generados, este método ha proporcionado una evaluación precisa de las demandas humanas sobre la biosfera para satisfacer esa demanda específica [5].

Aunque los análisis de Huella Ecológica han sido llevados a cabo a todas las escalas, desde la evaluación de un sólo producto hasta la valoración a escala mundial, las cuentas de la Huella Ecológica a nivel nacional suelen considerarse como las más completas. Los cálculos de la Huella Ecológica nacional se aplican directamente como una herramienta de comunicación política, y datos extraídos de estos cálculos suelen servir como punto de partida para otros análisis a menor escala.

Según la metodología de cálculo de la Huella Ecológica (HE), la premisa previa es que todos los consumos, materiales y energéticos, y la absorción de residuos tienen su expresión correspondiente en territorio productivo, pues requieren de éste para su producción o eliminación. Desde el punto de vista de la relación de la edificación con el territorio donde se ubica, la HE es capaz de definir, de forma empírica y visual, el grado de impacto de la edificación sobre el territorio. (Díaz Reyes et al, 2007).

En el año 2001 Acosta y Bono [6] hacen la primera aproximación documentada acerca del cálculo de la Huella Ecológica en Andalucía, tanto a nivel de comunidad autónoma como de ciudad, empresa, e incluso a nivel individual. En dicha investigación ya se analizaron impactos que han servido para la presente investigación como son los bienes de consumo, la energía y el suelo consumido directamente.

La metodología que se aplica actualmente para calcular la HE (Borucke et al, 2013) viene fijada por un organismo internacional llamado Global Footprint Network, en el que colaboran investigadores y expertos en sostenibilidad de todo el mundo (GFN, 2014). La GFN colabora con la World Wildlife Fund (WWF, 2014) en la publicación periódica del Informe de Planeta Vivo, en el que se calcula, entre otros parámetros, la HE a nivel global. En particular en España la utilización de este indicador ha tenido una buena acogida entre los organismos públicos,



como avalan los informes de HE: Andalucía (Junta de Andalucía, 2001), Extremadura (Junta de Extremadura, 2013), España (MARM, 2008). Igualmente destaca el interés de la Unión Europea, que recientemente ha financiado el proyecto OPEN:EU, cuya finalidad es el desarrollo, a través de indicadores, de políticas que potencien el respeto al medio ambiente.

La metodología de Cálculo de la Huella Ecológica nos proporciona [7]:

- Cálculos científicamente sólidos de las demandas exigidas por diferentes países sobre la capacidad regenerativa de la biosfera.
- Información básica sobre las fuentes de estas demandas lo cual es útil en el desarrollo de políticas para vivir dentro de los límites biofísicos.
- Un método fiable que permite hacer comparaciones internacionales de las demandas de los diferentes países sobre la capacidad regenerativa global, y
- Una serie de datos fundamentales que pueden utilizarse como base de análisis de Huella Ecológica sub-nacional tales como para provincias, estados, empresas y productos.

### 2.1.3. Indicador HE aplicado a la edificación

Según datos [8], el sector de la construcción es uno de los sectores productivos responsables del mayor impacto sobre el entorno natural, ya que en la construcción y el posterior uso de las edificaciones representan: el 25 % de las extracciones de la corteza terrestre, el 30 % del gasto energético y las emisiones de CO<sub>2</sub>, el 20 % del consumo de agua potable y entre un 30 % y un 40 % de la generación de residuos sólidos.

Está por tanto más que justificado, por tanto, que en 2010, el Dr. Solís Guzmán enlace el concepto de la Huella Ecológica, basada en la metodología definida por los profesores Wackernagel y Rees [5], con la edificación en su tesis doctoral [9]. Este trabajo supone un paso muy importante en el concepto de Huella Ecológica debido al gran impacto que produce la edificación en el planeta. Supone por tanto un gran avance ya que se definen las herramientas que permiten la evaluación de los impactos que la construcción genera en el entorno natural.

En el área de la edificación, el indicador HE se ha aplicado al estudio de casos como distritos de gran altura en Tehran (Samadpour y Faryadi, 2008), viviendas de campesinos (Zhao y Mao, 2013), hoteles (Li y Cheng, 2010), además de haberse desarrollado una herramienta para

la estimación de la huella ecológica y de carbono de edificios (Olgyay V, 2008). Finalmente, Teng y Wu (2014) analizaron el ciclo de vida de los edificios (proyecto, materialización, uso y demolición) y su estudio según HE (energía, recursos, CO<sub>2</sub> y residuos sólidos), aplicándolo a un centro de exposiciones en Wuhan (China).

Cabe destacar otros dos estudios que han optado por adaptar el indicador HE a las particularidades del sector de la edificación, Bastianoni et al. (2007)[10] y Solís-Guzmán (2011)[9]. Bastianoni et al. calcularon la HE de dos edificios italianos, teniendo en cuenta principalmente la energía incorporada en los materiales y en el proceso de construcción (un 5 % del total de los materiales). Los resultados quedan reflejados en terreno para la absorción del CO<sub>2</sub>, terreno de bosques (para los materiales de madera), y el área ocupada por los edificios.

Por otro lado, Solís-Guzmán et al. (2013) desarrollan un modelo de cálculo similar con algunas hipótesis innovadoras, tales como incluir el consumo de comida y los traslados de los operarios, o el consumo de agua en la obra, el cual no suele aparecer en los estudios de HE ya que no está incluido en la metodología general del indicador. Con la inclusión de los alimentos aparecen huellas adicionales asociadas a terrenos de cultivo, pastos y pesca.

El grupo Arditec, desarrolla diferentes líneas de investigación en los ámbitos de la arquitectura, ingeniería y medio ambiente, la presente tesis se incluye en dichas líneas y forma parte del objetivo de conseguir realizar el análisis del ciclo de vida del edificio y su evaluación económica y ambiental, partiendo de las bases de costes de la construcción como la BCCA y aplicando el indicador Huella Ecológica. Para este fin se están desarrollando igualmente otras investigaciones que completan las fases del ciclo de vida del edificio:

- La primera fase del CV sería el análisis de la fase de transformación de uso del suelo de Freire et al. [11], en el que se estudian aquellos impactos derivados del cambio de suelo no urbanizable a urbanizado consolidado, teniendo en cuenta la eliminación de vegetación y elementos naturales y la posterior construcción de las infraestructuras necesarias
- La siguiente fase sería la construcción del edificio, la cual se desarrolla en la presente tesis, y de la cual ya se han realizado diversas publicaciones, en las que se va actualizando la metodología HE planteada por Solís et al. (2013) [12], además de seguir avanzando en la investigación de la propuesta de determinar la evaluación económica y ambiental de los edificios. En 2015 González-Vallejo

et al. aplican el modelo de Solís et al. a un conjunto de alrededor de 100 edificios representativos del sector residencial en España, clasificando los casos según tipologías y divididos en las diferentes fases del proceso constructivo, de modo que consiguen obtener los resultados extrapolables que servirán para estimar la HE de edificios similares construidos en el país [13]. Posteriormente partiendo de las tipologías residenciales más construidas, se evalúa la HE en España de los edificios construidos en el periodo del 2007 al 2010 [14] y se aplica al análisis de una serie de proyectos según el tipo de cimentación proyectada [15]. Profundizando en la metodología HE y en su aplicación a la edificación se desarrolla el impacto de la mano de obra en el proceso constructivo y en particular de la alimentación y su repercusión en el proceso constructivo [16].

- El siguiente sería el modelo para la fase de uso y el mantenimiento, que desarrolla Martínez Rocamora et al.[17] destaca la importancia de definir las fronteras que delimitan estas dos actividades y a su vez el límite de éstas con la fase de recuperación del edificio. Es fundamental que el proyectista, y a continuación el usuario, sean conscientes de cuál es la mejor forma de mantener y utilizar el edificio para que la durabilidad del mismo sea mayor y que la energía consumida se minimice y finalmente desarrolla en su tesis doctoral (2016) [18].
- La última fase a tener en cuenta es la de reparación y/o demolición del edificio desarrollada por Alba-Rodríguez et al. [(Alba:2013), [(Alba:2015), tiene una vertiente social importante en el caso de barrios consolidados en los que las decisiones afectan no solo al edificio en cuestión sino también a las personas que habitan en el entorno más próximo. Se materializa finalmente, en la tesis de Alba-Rodríguez (2016) [19], planteando la viabilidad económica y ambiental de la reparación versus la demolición y nueva construcción del edificio.

Además de los trabajos realizados para la evaluación del ciclo de vida del edificio, se han desarrollado otras investigaciones que van desarrollando y completando la metodología HE aplicada a edificación, tales como:

- Estudio pormenorizado de las bases de datos de Análisis de Ciclo de Vida para materiales de construcción y su influencia en el cálculo de la HE de la edificación [(Rocamora:2016a).
- Desarrollo de estudios sobre la maquinaria empleada en proyectos de ejecución por Freire et al. [20]

- Incluir los costes indirectos y la electricidad en las obras de construcción de edificios de tipo residencial en términos de HE [21].
- Analizar el impacto ambiental de la edificación desde el punto de vista de otros indicadores como la Huella de Carbono (Solís-Guzmán et al, 2014) [22].
- Incorporación de las huellas ecológica (HE) y de carbono (HC) en las bases de costes de construcción, [23].

En el presente trabajo se apuesta por el desarrollo y estudio de la Huella Ecológica por la potencia que tiene este indicador, por su capacidad global y de adaptación a diferentes niveles y la información comparable con otras fuentes que nos facilita. Se considera que para mejorar y hacer que este indicador evolucione se necesitan estudios casuísticos reales, así como datos estadísticos que permitan mejorar en cuanto a valores de Huella Ecológica. Esto además puede servir para concienciar a la población de que tiene que cambiar los hábitos económicos, culturales y sociales. En esta investigación se aporta el punto de vista de la edificación que tanto perjudica e impacta al planeta. Se pretende, por tanto, cuantificar dicha Huella Ecológica en la Edificación Residencial en España y en Chile, y a partir de ahí poder ser conscientes de la situación y poder aportar alternativas de cómo reducirla de una manera responsable y sostenible.

#### 2.1.4. Definición de conceptos del indicador HE

A continuación se van definir una serie de conceptos que son indispensables para entender y desarrollar el indicador.

#### Huella Ecológica (HE)

Concepto introducido por Mathis Wackernagel en 1996 [5], que midió la Huella Ecológica de la humanidad y la comparó con la capacidad de carga del planeta. Su definición es la siguiente: “Huella Ecológica es la extensión de tierra que sería necesaria para suministrar los recursos (cereales, pienso, leña, pescado, y terreno urbano) y absorber las emisiones (CO<sub>2</sub>) de la sociedad mundial”. Todas las actividades humanas utilizan tierra biológicamente productiva y/o zonas pesqueras. La Huella Ecológica es la suma de estas áreas, independientemente de su situación en el planeta, lo cual se expresa gráficamente en la figura 2.1.

Al compararlo con la extensión de tierra disponible, el consumo humano de recursos se sitúa actualmente un 60 % por encima de la capacidad de carga mundial. Según observamos en la figura 2.2. Actualmente

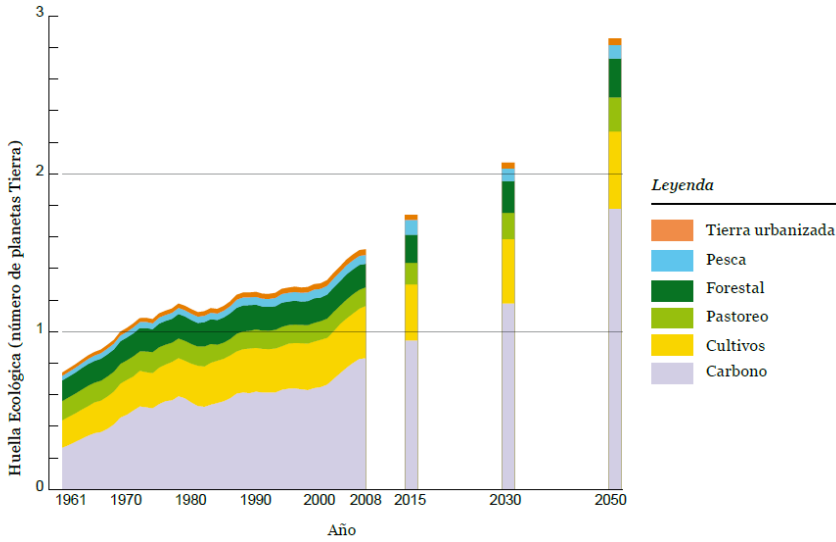


Figura 2.1: Análisis de la Huella Ecológica por componente.  
Fuente: Informe Planeta Vivo 2012.

necesitaríamos 1.6 planetas según la demanda humana. Lo que implica que para alcanzar la sostenibilidad, la humanidad tendría que reducir el consumo de recursos de los países más ricos del mundo, consiguiendo reducir así la Huella ecológica Total.

Las Cuentas Nacionales de la Huella (NFA en inglés) siguen la pista de los recursos de cada país concreto, lo que en conjunto configura la Huella Ecológica global. Se incluyen cultivos y pescado para alimentación humana y otros usos, madera, pastos y cultivos para el ganado. Las emisiones de CO<sub>2</sub> son actualmente el único producto residual medido (figura 2.2).

Las tendencias nacionales de la Huella Ecológica han variado con los años y en general han aumentado. La Figura 2.3 muestra la Huella Ecológica media por persona y país en 2008.

## Biocapacidad

La biocapacidad cuantifica la capacidad de la naturaleza para producir recursos renovables, proporcionar tierra para construir y ofrecer servicios de absorción como el de la captura de carbono. La biocapacidad actúa como un punto de referencia ecológico con el que se puede comparar la Huella Ecológica. La Huella Ecológica no incluye directamente el uso de agua; sin embargo, esto es algo intrínseco a la biocapacidad, puesto que la falta de agua o el agua contaminada tiene un impacto di-

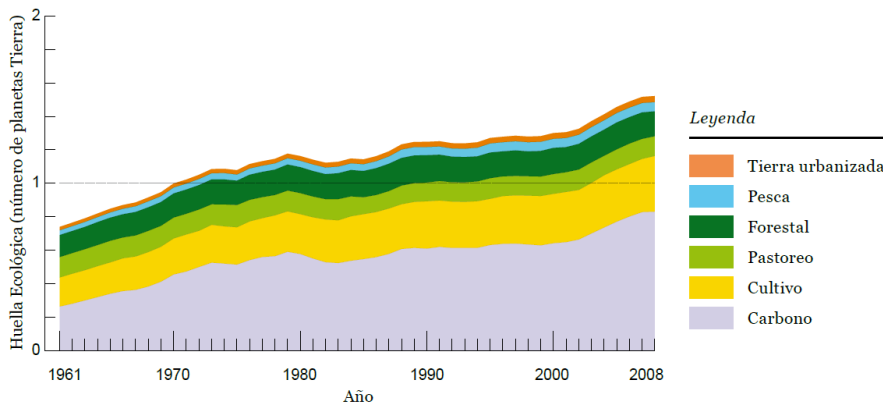


Figura 2.2: Huella Ecológica por componente, 1961-2008.

Fuente: Informe Planeta Vivo 2012.

recto sobre la disponibilidad y estado de la biocapacidad. Tanto la Huella Ecológica como la biocapacidad se expresan en una unidad común denominada hectárea global (hag), donde 1 hag representa una hectárea biológicamente productiva de tierra de productividad media. En 2008 la biocapacidad total de la Tierra era de 12.000 millones de hag (1,8 hag por persona), mientras que la Huella Ecológica de la humanidad era de 18.200 millones de hag (2,7 hag por persona). Este desfase significa que la Tierra tardaría 1,5 años en regenerar completamente los recursos renovables que los seres humanos utilizan en un año. Podemos ver la biocapacidad por países en la figura 2.4. [24]

## Área productiva

Es el área disponible para los distintos tipos de terreno productivo los cuales son [9]:

- Territorio para la absorción de CO<sub>2</sub>: Se define como la superficie de bosque necesaria para la absorción de la emisión de CO<sub>2</sub> debida al consumo de combustibles fósiles para la producción de energía. Dentro de esta categoría de territorio se contabilizan los consumos en la producción de bienes, gastos en vivienda y transportes, entre otros.
- Territorio agrícola (cultivos): Es el área para producir los vegetales que se consumen. Constituye la tierra más productiva ecológicamente y genera la mayor producción neta de biomasa utilizable.
- Superficie de pastos: Es el área dedicada al pastoreo de ganado.

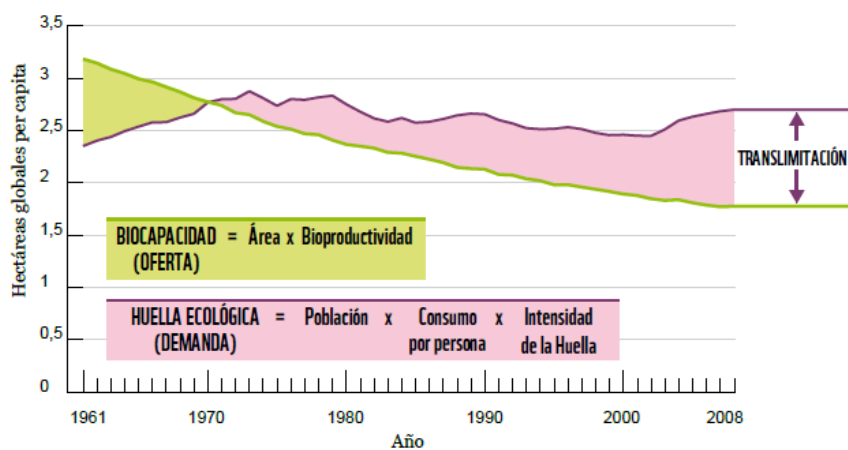


Figura 2.3: Mapa Huella Ecológica por persona en 2008. Fuente: Red de la Huella Global 2011. Informe Planeta Vivo 2012.

- Superficie forestal: Es aquella que se emplea para la producción de productos forestales (madera y papel).
- Terreno construido: Son las áreas utilizadas directamente, como las urbanizadas o las ocupadas por infraestructuras.
- Mar productivo: Área para producir pescado y marisco.
- Territorio reservado para la biodiversidad: ver déficit ecológico.

Podemos ver la distribución de la Huella Ecológica mundial según los distintos tipos de territorio en la figura 2.2, que ya referenciamos anteriormente.

### Bioproductividad por hectárea

La productividad de un área puede variar de año en año y depende de factores como el tipo, gestión y estado del ecosistema, las prácticas agrícolas y las condiciones meteorológicas. La productividad puede mejorarse para alcanzar más biocapacidad, pero generalmente esto produce una mayor Huella Ecológica. Por ejemplo, la agricultura intensiva y la fuerte dependencia de fertilizantes pueden aumentar la producción, pero requiere muchos insumos y genera más emisiones de CO<sub>2</sub>. La Huella Ecológica está generada por los hábitos de los consumidores y la eficiencia con la que pueden ofrecerse los bienes y servicios. El creciente déficit de biocapacidad, producido cuando una población utiliza más biocapacidad

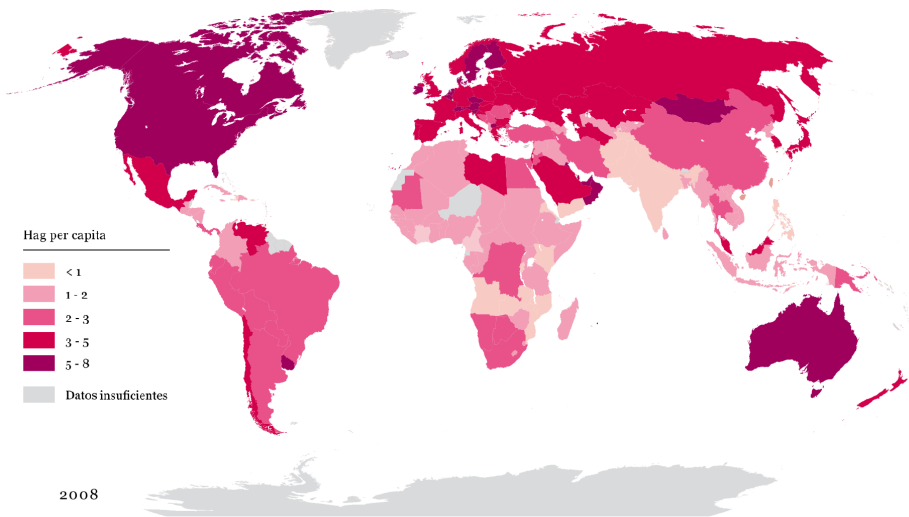


Figura 2.4: Mapa de la Biocapacidad total por país en 2008. Los datos se dan en hectáreas globales. Fuente: Red de la Huella Global 2011. Informe Planeta Vivo 2012.

de la que puede aportarse y regenerarse en un año, está provocado por la combinación de las altas tasas de consumo, que están aumentando más rápido que las mejoras en eficiencia (al crecer la huella de las personas), y las poblaciones, que crecen más rápido que la capacidad de la biosfera (produciendo un descenso de la biocapacidad por persona)[24].

### Translimitación ecológica o déficit ecológico

Desde los años 70, la demanda anual de la humanidad sobre el mundo natural ha superado lo que la Tierra puede renovar en un año. Esta ñtranslimitación ecológica? ha seguido creciendo con los años, alcanzando un déficit del 50 por ciento en 2008. Esto significa que la Tierra tarda 1,5 años en regenerar los recursos renovables que utiliza la gente y en absorber el CO<sub>2</sub> que producen ese mismo año. ¿Cómo es posible esto si solo hay una Tierra? Los recursos renovables pueden recolectarse más rápido de lo que pueden regenerarse, los recursos al final se agotarán.



Ahora es frecuente que la gente cambie de fuente de recursos cuando esto pasa; sin embargo, con las actuales tasas de consumo, estas fuentes dejarán también de dar recursos y algunos ecosistemas se colapsarán antes incluso de que se terminen completamente. Las consecuencias del exceso de gases de efecto invernadero que no pueden ser absorbidos por la vegetación se están notando ya, con los aumentos de los niveles de CO<sub>2</sub> atmosférico que provoca un aumento de las temperaturas globales, cambio climático y acidificación de los océanos. Estos impactos provocan a su vez un estrés adicional sobre la biodiversidad y los ecosistemas y sobre los propios recursos de los que depende la gente (ver figura 2.5)[24].

El déficit ecológico queda definido como la diferencia entre el área disponible, la capacidad de carga en un territorio determinado, y el área consumida en el territorio (huella ecológica). Si la huella ecológica es menor que la capacidad de carga se obtiene que la nación, región o población es autosuficiente. Por el contrario, si la huella ecológica es mayor que la capacidad de carga se obtiene que la nación, región o población presenta un déficit ecológico [8].

### Factores de conversión

Los factores de conversión permiten transformar datos que están en determinadas unidades a otras que sirvan para cuantificar los distintos componentes de la huella. Así podremos comparar consumos de muy diversos origen geográfico o productivo mediante su transformación en hectáreas de superficie productiva. Los factores de conversión pueden ser de dos tipos [9]:

- **Factor de rendimiento o de productividad:** permite la transformación de un dato de consumo en superficie. Sus unidades son kg de materia productiva por hectárea y año (kg mat/ha/año). Este factor de equivalencia compara la productividad de cada categoría de territorio respecto a un tipo de territorio hipotético cuya productividad biológica sea la media mundial de todos los territorios. Es decir, relaciona la productividad biológica local de un territorio con respecto a la productividad mundial de ese mismo tipo de territorio.
- **Factor de equivalencia o de ponderación:** permite agregar superficies con productividades distintas y establecer comparaciones entre las huellas ecológicas de países. Para ello se aplican equivalencias a cada tipo de superficie, de tal modo que cada hectárea se normaliza a superficie biológicamente productiva con una productividad igual a la media mundial, esto es, se convierte en hectárea

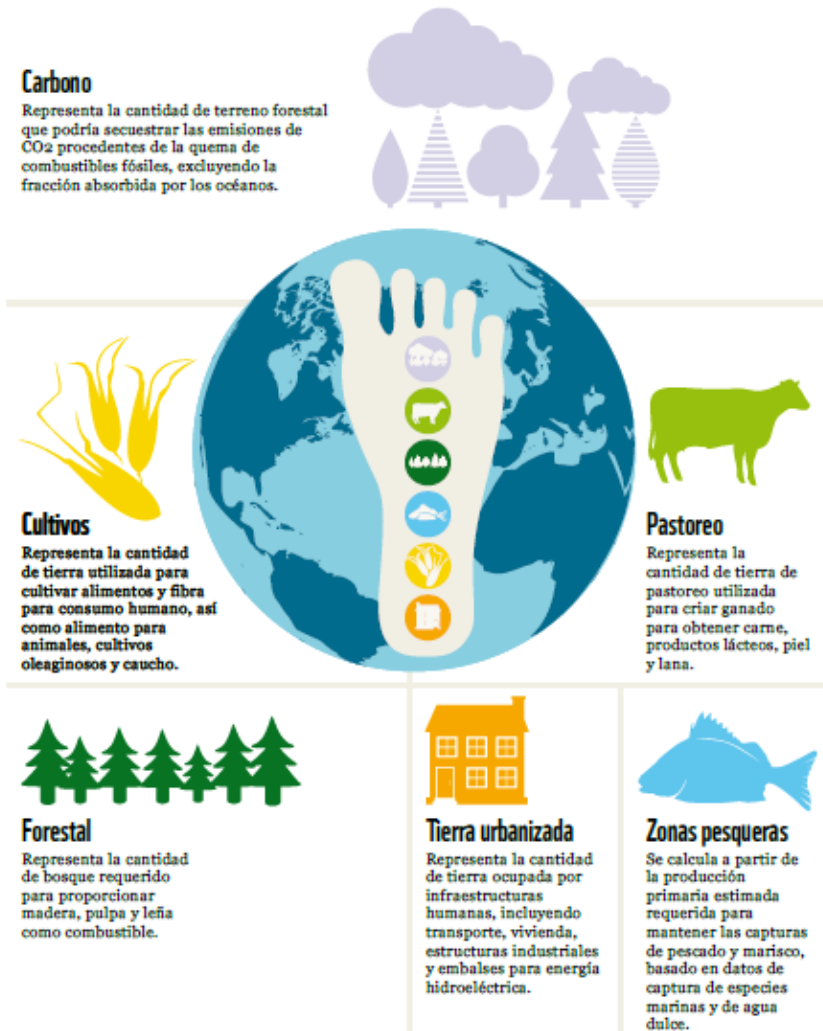


Figura 2.5: Tendencias de la HE y la biocapacidad por persona entre 1961 y 2008. Fuente: Informe Planeta Vivo 2012.

global (hag). Se mide en hag/ha. Gracias a este factor es habitual que se presenten los resultados en términos per cápita (hag/cap) permitiendo establecer comparaciones entre países o regiones.

### **2.1.5. Metodología HE aplicada a edificación**

Para establecer la metodología para el cálculo de la Huella Ecológica del sector residencial en la fase constructiva se definen las fuentes de impacto de la Huella Ecológica, ya que ellas serán las generadoras de los impactos sobre el territorio. La metodología del cálculo de la Huella Ecológica en la edificación de tipo residencial parte del procedimiento de la tesis doctoral de Dr. Solís, [9] el cual se resumía en el siguiente diagrama 2.6, donde clasificaba los datos en consumos directos e indirectos, generación de residuos y superficie consumida. Sin embargo para la presente investigación se actualiza la metodología desarrollada y se reorganiza la estructura del modelo, en la Fig.5.7, el cual se divide en dos grandes apartados:

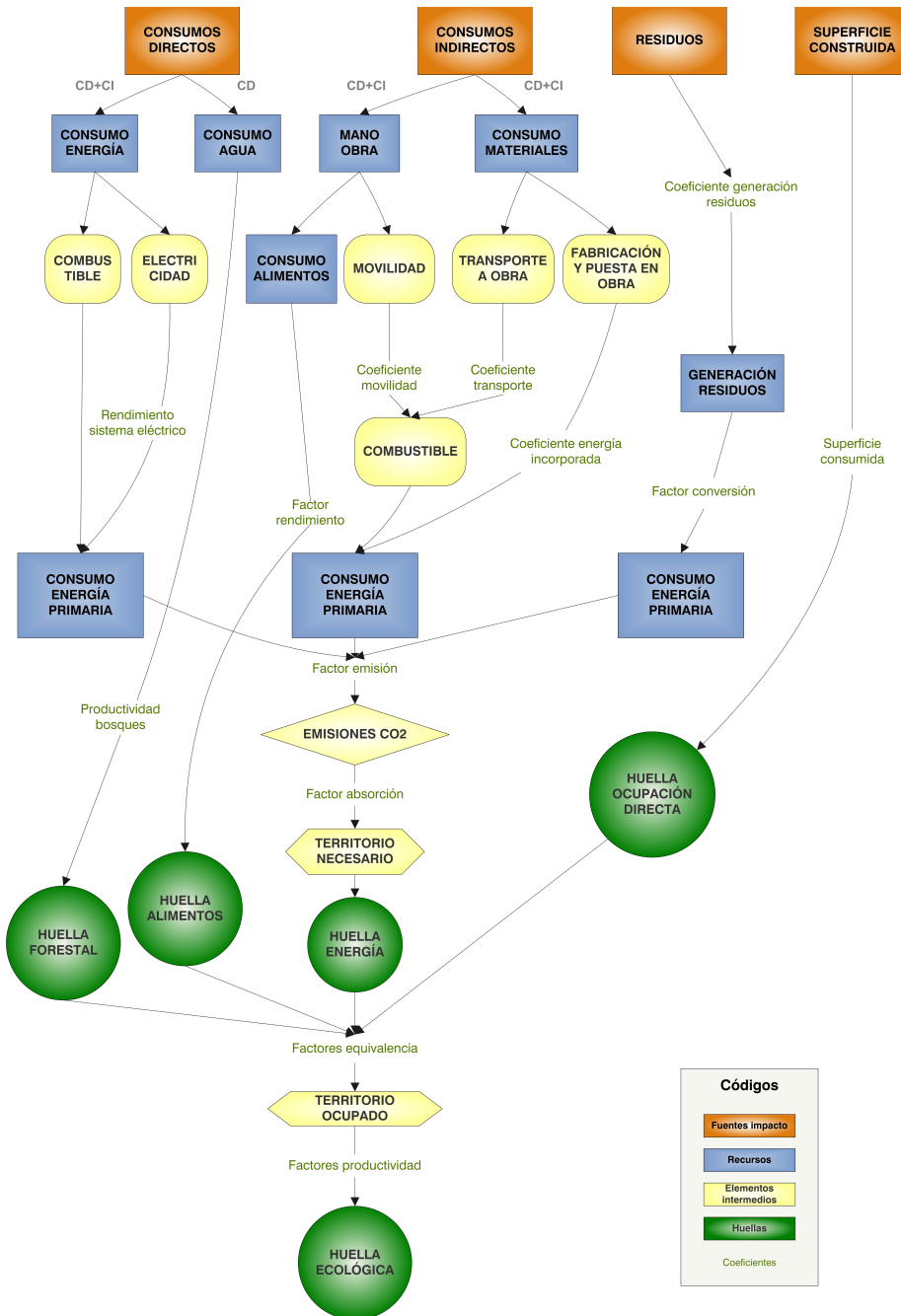


Figura 2.6: Árbol metodológico de la investigación. Fuente: Tesis doctoral Dr. Solís-Guzmán.



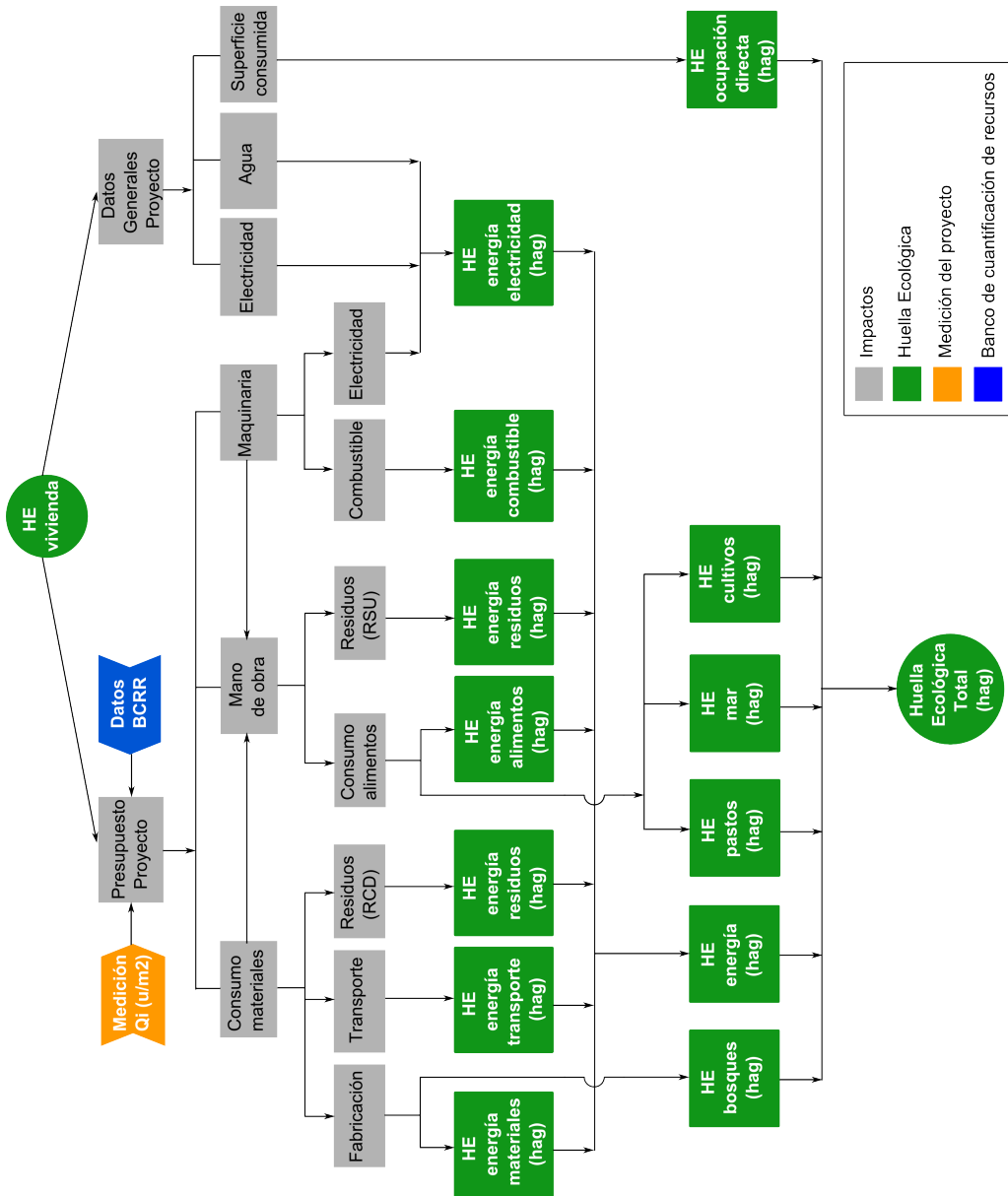


Figura 2.7: Diagrama general de la evaluación ambiental a partir del indicador HE

- Datos obtenidos directamente de la medición y presupuesto del proyecto o costes directos.
- Datos obtenidos de los datos generales del proyecto, o costes indirectos.

Los costes ambientales directos, que de forma similar a los costes directos en el presupuesto del proyecto, provocan la utilización directa de recursos en la obra, bien a través del gasto de energía de la maquinaria empleada en obra (combustible o electricidad), mediante la mano de obra (que conllevan consumo de alimentos y generación de residuos sólidos urbanos (RSU)) y el consumo de materiales de construcción (consumen energía durante su fabricación).

Los costes indirectos son todos los elementos que no pueden ser atribuibles a un trabajo en concreto ya que realizan tareas que sirven a varios elementos simultáneamente dentro de la obra. Un ejemplo claro de este tipo de costes es el encargado de obra (ya que actúa en las diversas fases de la obra durante la realización de todos los trabajos) o la grúa torre (la cual realizará trabajos de traslado de materiales, izado de cargas, descarga de productos desde los vehículos, etc.).

En el segundo nivel de la estructura del modelo se encuentran:

- Mano de obra.
- Materiales de construcción.
- Maquinaria
- Agua consumida en obra
- Electricidad consumida en obra
- Superficie ocupada

Los materiales de construcción generan, a través de los procesos de fabricación, transporte y puesta en obra, consumen combustible y energía. Así como residuos de construcción y demolición (RCD) que se generan en la fase de construcción y el impacto del transporte de los mismos a la planta gestora de residuos.

La mano de obra en la construcción de tipo residencial, genera a su vez consumo de alimentos de los operarios, como por otra parte, los residuos sólidos urbanos.

La maquinaria empleada en la obra, la cual puede ser alimentada con combustible o con electricidad, calculando el impacto que ambas producen.

La siguiente fuente de impacto es el agua consumida en los diferentes trabajos, bien empleándose directamente durante la ejecución de las tareas o bien utilizándose en los aseos y casetas de obra. Por último, se encuentra la propia superficie ocupada, que provoca el consumo de territorio, y por tanto, una huella sobre el mismo.

Cada fuente de impacto emplea recursos (energía, agua, mano de obra, materiales) o genera residuos. Estos conceptos son catalogados en el esquema como elementos intermedios, y su misión es transformar esos consumos en elementos que nos permitirán definir las distintas huellas que componen la huella global.

A través de los elementos intermedios (ver figura 5.7) se transforman esos consumos en elementos que nos permitirán definir las distintas huellas que conforman la huella global, las cuales se irán definiendo en los siguientes capítulos.

Vamos a definir los elementos intermedios:

- Combustible.
- Mix energético de la energía eléctrica.
- Fabricación de materiales de construcción.
- Transporte de materiales a la obra.
- Transporte de RCDs de materiales de construcción a planta gestora.
- Alimentación de los operarios.
- RSU generados por los operarios.
- Emisiones de CO<sub>2</sub>.
- Territorio necesario para absorber las emisiones de CO<sub>2</sub>.
- Territorio ocupado por las distintas fuentes de impacto.

Hay que definir además los distintos coeficientes que nos permiten transformar los consumos y elementos intermedios en huellas parciales, son los siguientes:

- Productividad de los bosques.
- Factor de consumo de los alimentos.
- Coeficiente de transporte.
- Coeficiente de reciclaje de materiales.



- Coeficiente de emisiones de materiales.
- Coeficiente de generación de residuos sólidos urbanos.
- Superficie consumida.
- Factor de emisiones.
- Factor de absorción de bosques y océanos.
- Factores de equivalencia.
- Factores de productividad.

Cada uno de estos factores será explicado en el apartado de fuente de impacto correspondiente.

Mediante los elementos intermedios y los coeficientes se obtienen las diferentes huellas parciales que se generan en la edificación de tipo residencial. Se ubican en el último nivel de la figura 5.7, las siguientes huellas:

- Bosques.
- Cultivos.
- Mar.
- Pastos.
- Energía.
- Ocupación directa.
- Ecológica total.

También habrá que considerar la huella asociada a los elementos de la obra que entran dentro de los costes indirectos de ejecución, como son el consumo de energía, de mano de obra y de materiales. Los costes indirectos serán considerados en cada una de las fuentes de impacto a las que les afecte.

Antes de comenzar el análisis, es necesario aclarar un aspecto respecto a la metodología a seguir. Cualquier análisis de HE siempre relaciona el impacto generado por una determinada actividad, en términos de consumo, con la productividad del territorio donde se genera la actividad. El impacto de la actividad edificatoria es siempre puntual en el tiempo, mientras que la capacidad de producir de ese territorio es, por el contrario, continuada. Es decir, que la actividad del sector construcción somete

al territorio a un estrés puntual, siendo el daño global cometido a lo largo del tiempo el parámetro que se evaluará mediante la HE.

En las hipótesis iniciales para la parte práctica de la investigación, se considera que en el territorio de estudio la única actividad que ejerce algún impacto sobre el mismo es la que corresponde a la construcción del edificio. Y ese impacto será ejercido durante un período máximo de 12 meses, necesario para la ejecución de la obra. En el caso de que el período de ejecución se alargara más allá del año planteado, simplemente habría que considerar que el impacto o el consumo derivado de la rehabilitación sería uniforme, considerando, por ejemplo, que la obra que dure 18 meses tendrá un impacto sobre el territorio distribuido en el tiempo de la siguiente forma: durante el primer año se produciría  $2/3$  del impacto total de la obra (2 períodos de 6 meses) y durante el segundo año se produciría  $1/3$  del impacto total de la obra (1 período de 6 meses). Ya que el modelo propuesto evalúa los proyectos antes de ejecutarse, por lo que determinados datos de consumo no están aún disponibles, así que la metodología propuesta tiene siempre un carácter predictivo.

Con el objeto de obtener un modelo con una estructura lo suficientemente estable y consolidada, se recurre a instrumentos que aseguren una toma de decisiones eficaz, ordenada y con garantías. Es en este marco donde encontramos los sistemas de clasificación de la información de construcción, que dividen un problema complejo en partes más simples que luego pueden ser agregadas para definir el desarrollo completo de la obra (Marrero y Ramírez, 2010).

La utilización de estos sistemas en los proyectos de edificación proporcionaría el coste energético y de emisiones de CO<sub>2</sub>, además del monetario, lo que facilitaría la toma de decisiones en la mejora de cada proyecto de edificación, a la vez que se podría llegar a alcanzar objetivos diferenciadores y cuantificables respecto a otros proyectos.

En este ámbito de actuación, se incluyen los costes medioambientales, específicamente centrados en la cuantificación e inclusión de la energía embebida necesaria en cualquier componente de las unidades de obra, a partir de su descomposición tradicional: materiales, mano de obra y maquinaria; ya que son estos factores los que controlan significativamente la HE y las emisiones de CO<sub>2</sub> en la construcción de edificios [12] [13].

## 2.2. Evaluación económica

A continuación se define el modelo económico a partir del cual se organiza el modelo para la evaluación tanto económica como ambiental.

Se parte del presupuesto de un edificio y de las bases de costes de la construcción para obtener también los resultado ambientales, por tanto hay que definir la clasificación sistemática y como se realiza la descomposición de recursos en materiales, mano de obra y maquinaria. Además se definirá como se establecen los criterios para poder contabilizar los costes y recursos indirectos, ya sean materiales, mano de obra , maquinaria o consumos de energía de la obra.

### **2.2.1. Modelo de clasificación y presupuestación en edificación**

Con el objeto de obtener un modelo con una estructura lo suficientemente estable y consolidada que no deje lugar a duda de su fiabilidad, se toma la determinación de recurrir a instrumentos adecuados que aseguren una toma de decisiones eficaz, ordenada y con garantías (Marrero, Ramirez-de-Arellano, 2010). Es en este marco donde encontramos los sistemas de clasificación de la información de construcción (SCIC), el concepto básico en todos estos sistemas es dividir un problema complejo en partes más simples que luego pueden ser agregadas para definir el desarrollo completo de la obra de construcción. Muchos investigadores han estado trabajando en el desarrollo de SCIC, entre los que destacamos: MasterFormat (2014), UniformatTM (2010), incorporado al estándar ISO (2001), Uniclass (2015) y OmniClass (2016). Las bases de costes de la construcción en España, que facilitan la elaboración de presupuestos de proyectos de edificación, poseen sus propios SCIC, y su mayor ámbito de implantación suele ser su entorno geográfico, por ejemplo; PREOC en Madrid, ITEC en Cataluña, CYPE en Alicante, BPCM de Madrid, BDC-IVE en Valencia, BDEU en el País Vasco, PRECIOCENTRO de Guadalajara y el BCCA en Andalucía (Freire y Marrero. 2015). Debido al entorno geográfico donde se centra la presente tesis, el sistema de clasificación empleado es la Base de Costes de la Construcción de Andalucía (en adelante BCCA) (2014). La BCCA es un sistema de ordenación y clasificación de las unidades de obra flexible y adaptable, lo que permite la incorporación de cambio de gran importancia como ha sido la agregación del capítulo relacionado con la gestión de residuos (Marrero et al. 2011).

### **Clasificación sistemática del BCCA**

En este punto se descompone y explica detalladamente la clasificación sistemática del BCCA, así como el modelo de presupuestación, imprescindible en el desarrollo de la presente tesis, ya que permite tener cuan-

tificados los recursos empleados y clasificados según la descomposición tradicional: mano de obra, materiales y maquinaria. Clasificación que coincide con los elementos básicos que definen la HE en edificación, por lo que el análisis ambiental se alimenta de esta cuantificación de recursos ya realizada en la presupuestación.

### Filosofía del modelo de referencia

La fortaleza en la que sustenta el sistema de clasificación desarrollado en el BCCA y gracias a la cual se ha conseguido la vigencia del modelo durante más de veinticinco años, no es otra que la de dividir los grandes problemas de difícil solución global, en pequeñas partes fácilmente abordables, para realizar después del correcto tratamiento de cada una de ellas, un proceso de agregación de los resultados obtenidos. Por lo que el modelo de referencia podemos sintetizarlo en tres pasos, el primer paso consiste en dividir la obra en tamaños adecuados a los medios disponibles (unidades de obra), el segundo paso consiste en el tratamiento económico mediante la aplicación de un precio a la medición de la cantidad de cada unidad de obra y tercer y último paso, realizar la agregación final de los importes (ver Fig.2.8).

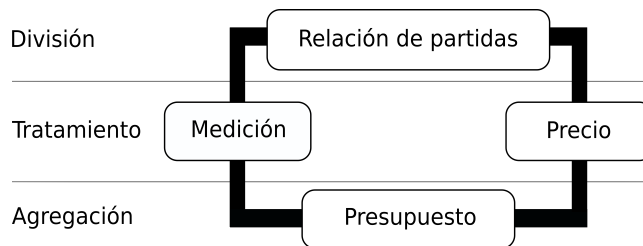


Figura 2.8: Célula básica del proceso de presupuestación (Ramírez de Arellano, 2004)

Siguiendo este razonamiento, la secuencia completa trazada por el modelo de presupuestación tradicional parte de la división de la obra en lo que se conoce como unidades de obra, que son el conjunto de recursos (materiales, maquinaria y mano de obra) necesarios para construir un todo indivisible que queda integrado en la obra de construcción y que constituye la parte más pequeña en la que queda dividida la misma en el presupuesto. Cada una de estas unidades de obra debe quedar definida tanto a nivel constructivo como en su forma de ejecución a través de los epígrafes. Estos epígrafes forman parte de los precios correspondientes a cada unidad de obra. Elaborado el precio unitario, este se aplica sobre

la medición de la cantidad con la que la unidad de obra interviene en el proyecto. Mediante la agregación de estos importes resultantes de la aplicación del precio a la medición en conjuntos homogéneos se obtienen los capítulos de obra. La suma de los importes de todos los capítulos da como resultado el importe de ejecución material (IEM) (ver Fig. 2.9).



Figura 2.9: Niveles Básicos de la estructura de costes (Ramírez de Arellano, 2004)

### Estructura de costes

Para poder entender con mayor claridad el modelo de referencia, se hace indispensable exponer que se basa en una estructura de costes arborescente y jerarquizada con niveles claramente definidos, en los que desde el vértice de la jerarquía se desciende hacia los niveles inferiores, fraccionando cada grupo en subgrupos de características homogéneas. En sentido inverso, el ascenso desde los niveles inferiores hasta los grupos superiores, se consigue mediante la agregación de los importes de todos los subgrupos de nivel inferior pertenecientes a cada grupo (Fig. 2.9).

Formando la base de la pirámide se encuentran los precios de suministro, que conectan directamente al sistema con los mercados de factores:

mano de obra, materiales, maquinaria, etc. En el vértice de la estructura se sitúan los importes de contrata, que enlazan la información de carácter económico con los mercados de productos: edificios residenciales, oficinas, etc. La estructura se completa intercalando entre los extremos, dependiendo del grado de detalle buscado, los niveles intermedios con mayor o menor desarrollo:

- Precio de suministro (PSU): coste por unidad de un elemento básico, es decir, un elemento constructivo que se refiere a cada uno de los recursos: mano de obra, materiales y maquinaria, que interviene en la formación de un elemento auxiliar o en una unidad de obra, de acuerdo con las condiciones de compra.
- Precios básicos (PB): coste por unidad de un elemento básico en condiciones de ser aplicado en obra.
  - Precios auxiliares (PA): coste por unidad de una combinación de elementos básicos en proporciones constantes, que interviene como componente en el cálculo del precio de una unidad de obra.
- Precios unitarios (PU): precio por unidad de un elemento, ya sea simple, complejo o funcional:
  - Precio unitario simple (PUS): el precio corresponde a un elemento constructivo formado por una combinación de elementos básicos o auxiliares que configuran una unidad de obra realizada por un mismo grupo de especialistas.
  - Precio unitario complejo (PUC): el precio corresponde a un elemento constructivo formado por una combinación de elementos básicos, auxiliares y unitarios que configuran una unidad de obra realizada por uno o varios grupos de especialistas.
  - Precio unitario funcional (PUF): el precio corresponde a un elemento constructivo formado por una combinación de elementos básicos, auxiliares y unitarios que constituyen un conjunto constructivo con una función completa dentro de la obra.
- Resumen de capítulos (RC): la filosofía general expuesta basada en la división de la obra en unidades fácilmente abarcables, establece una clasificación sistemática que permite en todo momento tener localizada la unidad de obra. Para ello, las unidades deben estar englobadas en grandes grupos de elementos de características

comunes denominados capítulos (Cimentación, Estructuras, Instalaciones, etc.). Cada capítulo está compuesto de subcapítulos (el capítulo Cimentación los componen los subcapítulos de Armaduras, Cimentaciones especiales, Hormigones, etc.), y a su vez dentro de cada subcapítulo encontramos los apartados (el subcapítulo Hormigones cuenta con los apartados Hormigones para armar o en Masa) y grupos (el apartado H. para Armar se subdivide en arriostramientos, zapatas, etc.). Cada elemento de esta clasificación lleva asociada una codificación, permitiendo así tener correctamente ubicada a la unidad de obra dentro del presupuesto en todo momento (Tabla 2.10). Mediante la agregación de las unidades de obra que constituyen cada capítulo se obtiene el resumen de capítulos.

	SUBCAPÍTULOS	APARTADOS	GRUPOS	
Capítulo 03: Cimentaciones	03A. ARMADURAS	03AC. Barras corrugadas	03ACC. Barras corrugadas	
			03ACW. Varios	
		03AL. Barras lisas	03ALL. Barras lisas	
			03ALW. Varios	
		03AM. Mallas electrosoldadas	03AMM. Mallas	
			03AMW. Varios	
	03C. CIMENTACIONES ESPECIALES	03CC. Consolidaciones		03CCI. Inyecciones
				03CCJ. Jet-grouting
				03CCV. Vibroflotación
				03CCW. Varios
		03CM. Muros pantalla		03CMM. Muros pantalla
				03CMW. Varios
		03CP. Pilotes		03CPP. Prefabricados
				03CPS. In situ
			03CPW. Varios	
	03CT. Micropilotes		03CTS. In situ	
			03CTW. Varios	
	03CW. Varios		03CWW. Varios	
	03H. HORMIGONES	03HA. Para armar		03HAA. Arriostramientos
				03HAL. Losas
				03HAM. Muros
				03HAW. Varios
				03HAZ. Zapatas
03HM. En masa			03HMM. En masa	
			03HMW. Varios	
03HR. Armados			03HRA. Arriostramientos	
			03HRL. Losas	
			03HRM. Muros	
			03HRW. Varios	
		03HRZ. Zapatas		

Figura 2.10: Fragmento de tabla de la clasificación sistemática (BCCA, 2014)

- Importe de ejecución material (IEM): importe esperado de los costes de producción de todas las tareas necesarias para ejecutar la

obra proyectada.

- **Importe de contrata (IC):** es el resultado de agregar al IEM los costes indirectos generales (CIG) derivados del contrato así como de la estructura de la empresa y los beneficios industriales (BI) esperados por el constructor como pago de su actividad empresarial. De esto se desprende que la estructura de costes se divide en dos partes (Fig. n<sup>o</sup>n<sup>o</sup>), en función de la forma de imputación de los costes. Por un lado están los costes directos, que son aquellos en los que la asignación se realiza mediante la aplicación del precio a la cantidad con la que ese componente interviene en el coste (medición). Y por otro están los costes indirectos, que se asignan mediante la aplicación de un valor relativo (porcentaje) respecto a otro de referencia.

En todo proceso con relaciones endógenas y exógenas, como es el caso del proceso productivo que es la obra de edificación, es necesario que la estructura asegure la coherencia, empleando esquemas simples, repetitivos, que garanticen el destino y la procedencia de todas las relaciones, requisitos que cumple el modelo tradicional de presupuestación y que son el motivo de su larga vigencia y continuo desarrollo.

### Formas de imputación

Como ya se ha indicado la imputación en el presupuesto puede realizarse por vía directa, mediante la aplicación del precio a la cantidad o por vía indirecta, por incremento mediante porcentaje sobre los costes directos.

- **Costes directos de ejecución (CDE):** Se tratan como costes directos de ejecución todos los gastos relativos a materiales, mano de obra y maquinaria que intervengan en la ejecución de unidades de obra concretas y sean imputables directamente a las mismas, por lo que estos costes se obtienen por aplicación del precio a los rendimientos y cantidades que se empleen en cada unidad de obra. A continuación se especifican los conceptos imputables de manera directa (Ramírez de Arellano, 2004):
  - **Materiales:** se integran mediante aplicación de los precios a las cantidades en las que participan en la unidad de obra, incrementándose los consumos en concepto de pérdidas, roturas y mermas. Cuando se trate de materiales con más de una posible utilización, se imputará en cada uso la parte proporcional que corresponda.



- Maquinaria de producción directa: se incluyen en este apartado las maquinarias que intervengan de forma directa en la ejecución de unidades concretas. En el caso de maquinaria que requiera un operador especializado, el coste del maquinista se incluye como parte del precio.
- Mano de obra de producción directa: se incluyen en este concepto la mano de obra que lleve a cabo directamente la ejecución de las unidades de obra.

■ **Costes indirectos de ejecución (CIE):**

Se refiere a aquellos costes que no son imputables directamente a una única unidad de obra, sino al conjunto o parte de la obra completa. Estos costes indirectos se cifran en un porcentaje de los costes directos, que debe ser igual para todas las unidades de obra del proyecto. Dependerá en cada caso de la tipología de obra (nueva planta, recuperación?), del presupuesto, de la organización de los trabajos y del plazo de ejecución. Los conceptos imputables de manera indirecta se clasifican en (Ramírez de Arellano, 2004):

- Mano de obra indirecta: personal que sólo interviene en la ejecución de las unidades de obra realizando tareas de control organización, distribución y vigilancia.
- Medios auxiliares: conjunto de medios humanos, materiales y maquinaria que aunque no intervengan directamente en la ejecución ni formen parte directamente de una unidad de obra, son necesarios para su realización. Entre estos se encuentran:
  - Mano de obra auxiliar: personal que realiza funciones de transporte interno, elevación, montaje, retirada, limpieza, etc.
  - Materiales auxiliares: pequeñas cantidades de materiales que se utilizan en la ejecución de unidades de obra que se retiran una vez concluida, por lo que no forman parte de ellas.
  - Maquinaria, útiles y herramientas: cuando estas participen en la ejecución de diversas unidades de obra.
- Instalaciones accesorias y complementarias: acometidas provisionales de agua, electricidad, teléfono, etc., así como las instalaciones desde las acometidas hasta los diversos puntos de consumo durante la ejecución de las obras y las construcciones provisionales para talleres, almacenes, oficinas, etc., las

cuales se desmontan o eliminan según vayan terminándose los trabajos.

- Personal técnico y administrativo: técnicos y personal administrativo que esté adscrito permanentemente a la obra.
- Varios: Gastos fungibles y otros consumos imputables a la actividad de las oficinas y almacenes de obra.
- Generados por la seguridad y salud: sólo figura de forma expresa cuando, por las características de la obra no sea aplicable la legislación que obliga a realizar estudios de seguridad y salud. Es este caso se incluirán los costes derivados de la medicina preventiva, la formación específica de los trabajadores, el personal de seguridad y salud de la obra, locales y servicios, la seguridad colectiva e individual y la señalización.

Obtenidos los costes directos e indirectos de ejecución, mediante su agregación resultan los costes de ejecución totales que componen los precios unitarios.

### **Estructura de precios**

El modelo desarrollado exige que se realice la correcta descripción de cada unidad de obra que componga el presupuesto. Para ello es indispensable especificar en primer lugar la unidad de medida más adecuada a sus características geométricas y físicas, el nombre resumido habitual con el que se conoce al elemento, una descripción clara, completa y resumida, las inclusiones de aquellos elementos complementarios que acompañen al elemento constructivo principal, la normativa de referencia, instrucciones o sistemas constructivos que completen la definición y el criterio de medición con el que se mide la unidad de obra. Toda esta información va recogida en el epígrafe del precio unitario (Ramírez de Arellano, 2004). Este epígrafe es clave para asegurar los mecanismos de sincronización del modelo de presupuestación, ya que a través de él se consigue la completa identificación de las unidades de obra. El epígrafe está formado por un conjunto de datos a través de los cuales es posible identificar con claridad los elementos constructivos asociado a un precio y cuantificar los elementos de nivel inferior que lo forman. En la Tabla 2.11, se representa la estructura de los PUS, desplazándonos por filas de izquierda a derecha se describen los elementos que la constituyen:

Código	u. medida	Nombre resumido			
Descripción					
Criterio de medición					
CÓDIGO	CONCEPTO	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE	
Codificación componente	Descripción componente				
				Costes Directos	
		%Cl		Costes Indirectos	
				TOTAL	

Figura 2.11: Estructura del precio unitario descompuesto (Ramírez de Arellano, 2004).

- Código de unidad: conjunto alfanumérico que permite tener correctamente ubicada la unidad de obra dentro de la estructura de presupuestación. Se ha empleado el sistema de clasificación del BC-CA, donde se establecen tres clases de códigos, cada uno de ellos vinculado con los niveles de precios desarrollados en la estructura de costes (precio básico, auxiliar y unitario). El sistema de clasificación adoptado en el código (Fig. 2.12) está formado por elementos alfanuméricos significativos, donde los dos primeros caracteres representan el capítulo, la primera letra corresponde al subcapítulo, la segunda al apartado y la tercera corresponde al grupo, mientras que la última parte formada por cinco números designan el orden de la unidad. De este modo el sistema de clasificación queda materializado en el código del precio, lo que permite la identificación precisa de los conceptos codificados gracias a la correspondencia biunívoca entre cada código y el precio que representa, lo que significa que a cada código le corresponde un solo precio y cada precio un solo código.

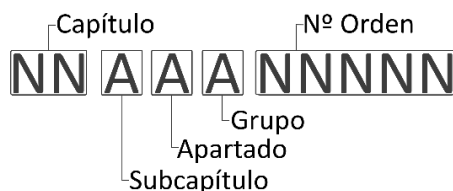


Figura 2.12: Estructura del código de precios unitarios (Ramírez de Arellano, 2004)

- Unidad de medida: se emplean las unidades de medida más adecuadas a las características formales del elemento según el Sistema Internacional (SI).
- Nombre resumido: su finalidad es la de apoyar al código en la rápi-

da identificación del precio, por lo que debe indicarse el nombre resumido más habitual con el que se conoce la unidad de obra.

- Descripción: la función de la descripción no es otra que la de establecer las fronteras del precio, delimitando el entorno de los elementos que lo constituyen, esta descripción ha de ser clara, completa y resumida. Acompañan a esta descripción detallada las inclusiones de aquellos elementos complementarios que forman parte del precio principal y que su falta de referencia podría generar dudas al interpretar las fronteras del precio. La descripción debe cerrarse, siempre que sea posible, haciendo mención de las normas de referencia que regulan el elemento constructivo, cuando se trate de precios unitarios, que es el caso que nos ocupa, es conveniente extender la mención a la descripción del elemento constructivo.
- Criterio de medición: el criterio de medición es otro de los elementos que ofrece el epígrafe como instrumento de sincronización, ya que establece de forma precisa como han de medirse las partidas, sirviendo para igualar los criterios en los dos puntos del modelo de presupuestación donde se pueden generar conflictos, en la obtención de los precios y en la medición. La redacción del epígrafe es de gran importancia en el desarrollo de los precios unitarios, ya que es el conjunto de datos a través del cual es posible identificar con claridad los elementos constructivos asociados a un precio y cuantificar los elementos que lo forman.

A partir de aquí aparecen los elementos que forman los costes directos de ejecución del precio unitario descompuesto, donde en primer lugar se muestra la codificación de los componentes de la unidad de obra seguido de su correspondiente descripción, las tres columnas donde se fijan la cantidad de cada componente por unidad de medida, el precio básico o unitario de cada componente y el importe resultante de multiplicar cantidad y precio, y por último, el espacio destinado a la suma de los costes directos (Tabla 2.11).

La estructura del precio se cierra con el cálculo de los costes indirectos, donde han de aparecer indicados el porcentaje de costes indirectos que es de asignación según las características de la obra, estos costes indirectos serán iguales para todas las unidades del proyecto y dependerá de la naturaleza de la obra, la importancia del presupuesto y de su plazo de ejecución.

Para garantizar la coherencia de la estructura interna del modelo, a la vez que se facilita el procedimiento de cálculo de los CIE, se emplea una tabla instrumental (Tabla 2.13) en la que quedan reflejados todos

los componentes secundarios que constituyen cada uno de los conceptos imputables por vía indirecta anteriormente relacionados. A continuación se describe el proceso de cálculo de los costes indirectos de ejecución a través de la tabla instrumental. Se comienza obteniendo las cantidad de cada concepto secundario contenido dentro de los conceptos principales (mano de obra indirecta, medios auxiliares,?) que corresponde a la columna E de la Tabla 2.13. El importe de los conceptos secundarios (columna G) resulta de multiplicar la cantidad de cada concepto (columna E) por el precio por unidad de medida (columna F) de cada concepto secundario. La columna H está destinada al porcentaje de costes indirectos calculado para cada uno de los conceptos secundarios y se obtiene dividiendo cada uno de los importes obtenido en la columna F entre el importe de CDE total estimado del proyecto. Concluida la obtención de los conceptos secundarios se calculan los conceptos principales, comenzando por el sumatorio de los importes parciales situados en la columna G, disponiéndose el resultado en el espacio C de cada concepto principal. A continuación se obtiene el porcentaje de costes estimados para cada concepto principal (espacio D), para lo cual pueden emplearse dos caminos, dividiendo el resultado del espacio C entre el importe de CDE total estimado para el proyecto o sumando los valores parciales de la columna H correspondiente a los conceptos secundarios pertenecientes al concepto principal. Con este doble cálculo se comprueba la coherencia del modelo y la ausencia de errores en las operaciones. El importe total de CIE (espacio A) se obtiene al sumar los importes parciales de los conceptos principales de los espacios C de la tabla. Con la utilización de la tabla instrumental (Tabla 2.13) queda asegurada la coherencia interna del modelo, pues se cumple el postulado esencial del mismo en el que se establece que la suma de los costes indirectos asignados a cada unidad de obra debe ser igual a la suma de los costes estimados para cada uno de los conceptos definidos como CIE. El cálculo de los precios unitarios complejos (PUC) y funcionales (PUF) pertenecen a un estrato más avanzado del modelo, se obtienen mediante la agregación de los importes resultantes de aplicar los precios unitarios, básicos y auxiliares a las cantidades de componentes de unidades de obra complejas o funcionales.

CÓDIGO	CONCEPTO	Unidad	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE	% S/CDE				
<b>C12</b>	<b>COSTES INDIRECTOS DE EJECUCIÓN (CIE)</b>				<b>A</b>	<b>B</b>				
<b>C121</b>	<b>MANO DE OBRA INDIRECTA</b>				<b>C</b>	<b>D</b>				
C1211	Encargado	mes	E	F	G	H				
C1212	Capataces	mes								
C1213	Almaceneros	mes								
C1214	Guardería y Listeros	mes								
C1215	Otros									
<b>C122</b>	<b>MEDIOS AUXILIARES</b>				<b>C</b>	<b>D</b>				
C1221	Mano de Obra Auxiliar		E	F	G	H				
C12211	Personal transporte interior	m <sup>2</sup>								
C12212	Personal de limpieza general y regado	m <sup>2</sup>								
C12213	Recogida, transp. de útiles y herramientas	m <sup>2</sup>								
C12214	Otros									
C1222	Materiales Auxiliares									
C12221	Pasta para fijación reglas	m <sup>2</sup>								
C12222	Ladrillos y pastas elementos provisionales	m <sup>2</sup>								
C12223	Materiales para replanteos	m <sup>2</sup>								
C12224	Agua	m <sup>3</sup>								
C12225	Otros									
C1223	Maquinaria, Útiles y Herramientas									
C12231	Medios de Elevación									
C122311	Grúa	mes								
C122312	Montaje y desmontaje grúas	u.								
C122313	Manipulador telescópico	mes								
C122314	Plataformas elevadoras	mes								
C122315	Montacargas	mes								
C12232	Hormigoneras	mes								
C12233	Cortadoras	mes								
C12234	Andamios	m <sup>2</sup>								
C12235	Herramientas	m <sup>2</sup>								
C12236	Otros	mes								
<b>C123</b>	<b>INSTALACIONES, ACCESORIAS Y COMPLEMENTARIAS</b>						<b>C</b>	<b>D</b>		
C1231	Casetas de obra						E	F	G	H
C12311	Oficinas	m <sup>2</sup>								
C12312	Sala de Reuniones	m <sup>2</sup>								
C12313	Almacenes	m <sup>2</sup>								
C1232	Acometidas y Tendidos Provisionales									
C12321	Acometida de Electricidad	u								
C12322	Acometida de Agua y Saneamiento	u								
C12323	Tendido Eléctrico	u								
C12324	Instalación Provisional de Agua	u								
C1233	Viales, Localizaciones y Replanteos	u								
C1234	Consumos	u								
C1235	Consumo Eléctrico	m <sup>2</sup>								
C1236	Otros									
<b>C124</b>	<b>PERSONAL</b>				<b>C</b>	<b>D</b>				
C1241	Técnicos Adscritos a la Obra		E	F	G	H				
C12411	Jefe de Obra	mes								
C12412	Jefe de Producción									
C12413	Técnicos Auxiliares	mes								
C1242	Administrativos adscritos a la obra	mes								
C1243	Otros									
<b>C125</b>	<b>VARIOS</b>				<b>C</b>	<b>D</b>				
C1251	Gastos de Oficinas y Almacenes de Obra		E	F	G	H				
C12511	Gastos de Oficinas	mes								
C1252	Otros									
C1253	Superficie de parcela	m <sup>2</sup>								

Figura 2.13: Tabla instrumental para el cálculo de Constes Indirectos de Ejecución. (Ramírez de Arellano, 2004)

## Capítulo 3

# Justificación y objetivos

Son varios los estudios que siguen unos patrones similares para el cálculo del impacto ambiental de la edificación, como ya se ha presentado, buscando los puntos en común se pueden obtener como resultado las siguientes conclusiones [25]:

- La fase de construcción del edificio es la que produce un consumo más intensivo, concentrado en un corto periodo de tiempo (1-2 años). Las decisiones tomadas durante esta etapa influirán en gran medida en el resto de fases del ciclo de vida del edificio (CVE).
- La fase de ocupación es la que mayor consumo de energía tiene en todo el CVE. Su duración (más de 50 años), hace que reducir el consumo de energía operacional sea la principal meta a alcanzar.
- La reducción del consumo de energía durante la fase de uso se debe alcanzar a través de decisiones en la fase de diseño, que normalmente implican una mayor energía embebida de los materiales de construcción. Por tanto, una vez que la energía operacional se reduzca, la atención de los investigadores deberá centrarse en el desarrollo de nuevos materiales de aislamiento que requieran poca energía para su fabricación.
- Si bien las etapas de transformación del uso del suelo y de recuperación o demolición producen un impacto ambiental más reducido, es interesante su influencia en la biocapacidad de la parcela, así como su relación con otras etapas del CVE.

A partir de estas conclusiones, aún siendo la fase de uso la de mayor duración, se puede afirmar que no se puede ignorar la importancia de anticipar los impactos producidos desde la fase de diseño del edificio y por tanto los elementos que definen la construcción del mismo y establecer, por tanto, herramientas con las que poder plantear diferentes alternativas de materiales y soluciones constructivas, cuantificando los impactos tanto ambientales como económicos de dichos cambios y mejoras, favoreciendo así el comportamiento del edificio a lo largo de toda su vida útil. Se justifica, por tanto, el centrar el desarrollo de la presente investigación, en la fase de construcción dentro del ciclo de vida del edificio.

El objetivo principal de la presente tesis es adaptar y revisar el modelo original de Solís-Guzmán para que pueda evaluar el impacto económico y ambiental de las construcciones de viviendas en España y determinar si el indicador HE es sensible a cambios en las tipologías de edificios, soluciones constructivas y materiales de construcción, y poder así conseguir



un modelo más general que permita evaluar los proyectos de viviendas no sólo desde la perspectiva económica sino también la ambiental. Además, se plantea realizar la adaptación a otros países con distintos materiales y soluciones constructivas. Y todo ello partiendo de las mismas herramientas necesarias para realizar la medición y presupuesto del proyecto, es decir, un proyecto y una base de costes de la construcción como es la de Andalucía (BCCA). Se pretende obtener, por tanto, un modelo útil para la toma de decisiones en la fase de diseño de los proyectos para poder predecir y reducir el impacto económico, pero sobre todo el ambiental. Para conseguirlo se necesitan alcanzar, a priori, otros objetivos secundarios, pero no por eso menos importantes, los cuales son los siguientes:

- Partir de herramientas conocidas por técnicos y posibles futuros usuarios del modelo y a partir de ellas obtener tanto el análisis económico como el ambiental.
- Crear una metodología para cuantificar los recursos, residuos y emisiones generadas por un proyecto edificatorio.
- Actualizar la metodología del indicador HE para aplicar el presente modelo.
- Obtener un modelo para poder evaluar simultáneamente el impacto económico y ambiental de un proyecto desde la fase de diseño, analizando materiales y sistemas constructivos. De esta forma se puede mejorar e innovar con materiales y sistemas más eficientes y se pueden prever los posibles impactos del proyecto de forma anticipada y de manera fiable.
- Validar el modelo y comprobar la sensibilidad del mismo a los cambios tipológicos y constructivos, para lo cual hay que definir las tipologías edificatorias y sus características constructivas y obtener proyectos reales y así poder realizar la validación.
- Conseguir evaluar un proyecto de forma pormenorizada, a nivel de capítulos del presupuesto de proyecto y de los recursos empleados para la construcción del mismo, según los criterios de clasificación establecidos.
- Crear un modelo versátil y adaptable a otras tipologías y usos.
- Adaptar el modelo para ser aplicable a otros países, lo cual abarca varios puntos de vista, el económico, técnico y ambiental.



## Capítulo 4

# Metodología

El procedimiento a seguir para conseguir los objetivos propuestos se desarrolla en tres fases fundamentales para obtener el Modelo HE y la validación del mismo a partir de los casos prácticos de España y Chile, como se representa en la figura 4.1.

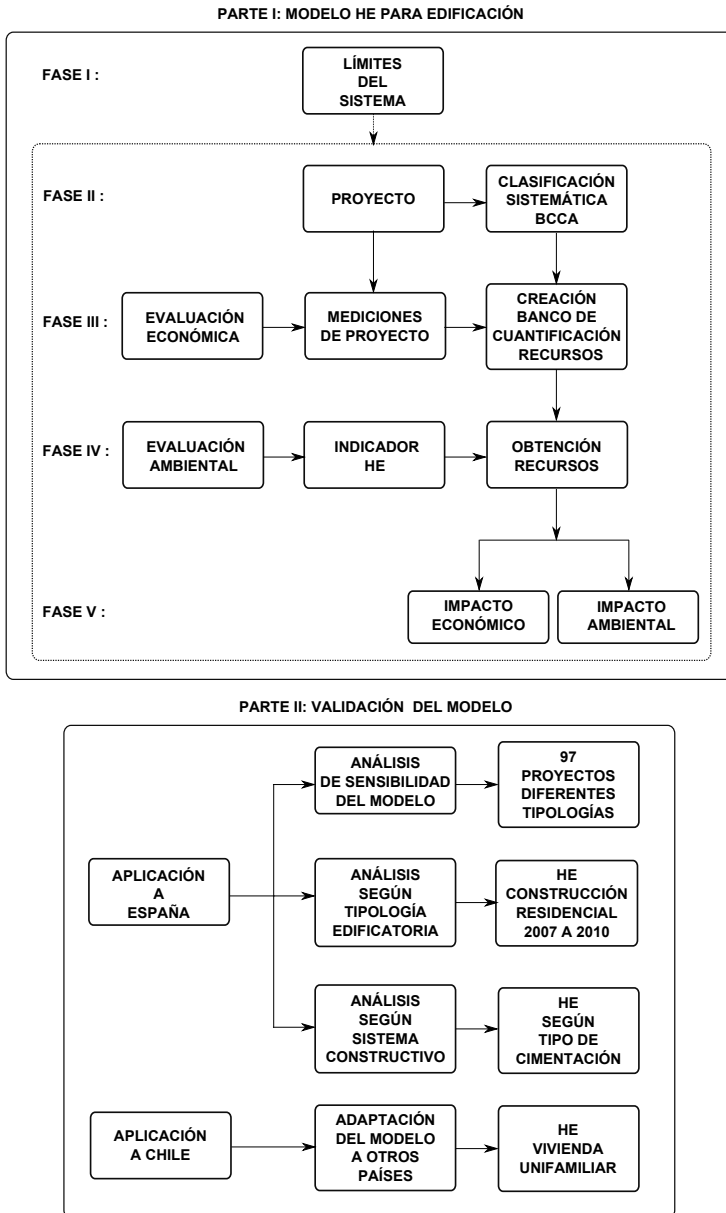


Figura 4.1: Estructura de tesis: Parte I: Modelo HE para edificación y Parte II: Validación del modelo

Parte I. Modelo teórico: Desarrollo del modelo HE para edificación, donde se desarrollan los datos necesarios, la metodología y el desarrollo del modelo HE para evaluación económica y ambiental de la edificación.

- Fase I. Definición de los límites del sistema: se definen los límites longitudinales y transversales del sistema.
- Fase II. Para determinar la evaluación económica y ambiental de la construcción de un edificio residencial se necesita, en primer lugar el proyecto arquitectónico, además de una base de costes de la construcción, en este caso la BCCA, de la que se extrae su clasificación sistemática para conformar la estructura del modelo.
- Fase III. Evaluación económica. Se necesitan del proyecto arquitectónico fundamentalmente las mediciones del mismo, si no estuvieran incluidas en la documentación habría que llevarlas a cabo, siguiendo los criterios de la BCCA. A continuación, se crea el banco de cuantificación de recursos (BCCR), siguiendo como estructura la planteada en la clasificación sistemática de la BCCA, además de utilizar los precios unitarios simples que sean necesarios, se incluyen sus descompuestos, que nos aportan datos de rendimientos y consumos de materiales, mano de obra y maquinaria. A todos estos datos se les aplica la medición específica del proyecto, y se obtiene el impacto económico total del proyecto, y clasificada por capítulos de la BCCA.
- Fase IV. Evaluación ambiental: del BCCR se obtiene la cuantificación de los recursos empleados de materiales, mano de obra y maquinaria. Se desarrolla y actualiza la metodología de Huella Ecológica en edificación planteada por Solís-Guzmán y se aplica a los recursos obtenidos además de emplear algunos datos generales del proyecto. Se consiguen así las huellas parciales, cuyo sumatorio conforma la HE total y con ello el impacto ambiental de la construcción del edificio evaluado.
- Fase V: Los resultados obtenidos se clasifican según su impacto económico y ambiental, a través de los cuales se plantea en el modelo una posible discusión, entre diferentes alternativas de los recursos empleados, materiales, maquinaria o mano de obra, así como de las soluciones constructivas. Planteando que desde la fase de diseño se puedan valorar los impactos que producen y buscar un equilibrio entre lo económico y lo ambiental.

Todo este proceso es aplicable igualmente a otros modelos de bancos de costes de la construcción de otras regiones o países.

Parte II: Validación del Modelo HE. Aplicación en España y Chile: se comprueba que el modelo desarrollado funciona y es sensible a las distintas tipologías (unifamiliares y plurifamiliares) y sistemas constructivos, para lo cual se estudian varios casos prácticos situados en diferentes países: España y Chile.

- Aplicación del modelo HE en España: se presentan los casos de estudio analizados para España, tanto para vivienda unifamiliar como plurifamiliar, a los cuales se les evaluará su impacto según el indicador HE. Para el caso de España: se realiza una selección de tipologías y proyectos, siguiendo los siguientes pasos:
  - Se identifican las viviendas tipo construidas en España, mediante recopilación de datos estadísticos y análisis de la información [26].
  - Se realiza la búsqueda de proyectos reales representativos de las tipologías seleccionadas [27], ya que la metodología propuesta se basa en el proyecto de ejecución del edificio y principalmente en la medición y presupuesto del mismo.

Una vez se obtiene la selección de tipologías y proyectos reales, para la validación del modelo, se realizan los análisis descritos a continuación:

- Análisis de sensibilidad del modelo: se introducen los datos de 97 proyectos reales unifamiliares y plurifamiliares y se evalúa su impacto económico y ambiental, obteniendo su HE.
  - Análisis según la tipología edificatoria: se toma una muestra de las 10 tipologías de viviendas más construidas en España en el período comprendido entre 2007 a 2010, para obtener la HE del sector de la edificación en dicho período.
  - Análisis según los sistemas constructivos empleados: se clasifican los 97 proyectos según el tipo de cimentación y se analiza la HE de una muestra de los mismos en dicha fase.
- Aplicación del modelo HE a Chile: se demuestra que el modelo es adaptable a otros países. Se presenta el caso de una vivienda social unifamiliar situada en Chile para evaluar su impacto según el indicador HE.

## Capítulo 5

# Modelo teórico

En la presente investigación se desarrolla un modelo para poder evaluar simultáneamente a nivel económico y ambiental un proyecto edificatorio y en particular el proceso de construcción de los edificios de tipo residencial. Se pretende que el modelo abarque una gran variedad de tipologías, realizando para ello un estudio previo localizando las más construidas en España en los últimos años. Y lo más importante, es que todo ello se pueda realizar a partir de una misma herramienta, una base de costes de la construcción, es decir al realizar la medición y presupuesto de un proyecto se definen las cantidades de recursos para construirlo, el coste económico y su impacto ambiental. Con el modelo desarrollado, se pueden realizar estudios de diferentes alternativas de materiales y soluciones constructivas así como gestionar mejor la mano de obra o utilizar maquinaria más eficiente, cuantificando su impacto económico y ambiental, y así poder llegar al equilibrio entre ambos aspectos. La Base de Costes de la Construcción de Andalucía (BCCA), es la base de datos seleccionada para el modelo, es una base de datos robusta, de libre acceso, obligatoria en obras oficiales en Andalucía y utilizada desde hace más de treinta años, lo cual es una fortaleza para el modelo. El modelo plantea además, de forma novedosa, una nueva estructura en el análisis de los impactos diferenciando por capítulos los resultados siguiendo la estructura de la clasificación sistemática del BCCA, lo cual aumenta la capacidad de análisis de los proyectos y sus impactos y la localización de los mismos dentro del proyecto, siendo de gran utilidad para el técnico o usuario del modelo a la hora de detectar los elementos más importantes según su impacto económico y ambiental y saber, por tanto, en que fases de proyecto y recursos específicos tiene que centrar su atención para la optimización del proyecto en ambas vertientes.

## 5.1. Límites del sistema

Para definir el modelo que desarrolla la presente tesis es importante primero situarlo dentro del sistema que supone el ciclo de vida del edificio. Se establecen así cuáles son los límites longitudinales y transversales, para evitar duplicidades o vacíos al contabilizar los recursos e impactos del sistema. Una vez localizada la fase de construcción y establecidas las fronteras longitudinales se pasará a definir también las transversales.

### 5.1.1. Límites longitudinales

Muchos autores estudian el ACV de los edificios, para evaluar la energía utilizada, y los recursos necesarios, y el impacto que estos producen en todas sus etapas. En todos los casos es muy importante la



definición de los límites y de las diferentes fases.

- En el caso de Adalberth [28], Fig.5.1, plantea el ACV del edificio como un sistema con cierto movimiento y posible cambio de sus límites, lo estructura en tres fases: producción, administración (uso) y demolición, y cada una de ellas las subdivide en otras tres, la primera abarca la fabricación, transporte y construcción, la segunda sería ocupación, renovación y de nuevo ocupación, y en la tercera y última fase demolición y eliminación.
- Otros autores como Ramesh et al. [29], Fig.5.2, estructuran el ciclo de vida del edificio también en tres fases: construcción, uso y demolición, pero con la diferencia de que consideran incluidos en la fase de construcción los trabajos de renovación del edificio. También tienen en cuenta el transporte de materiales y RCDs, pero estos últimos sólo en la fase de demolición.
- En el caso de Blengini [30] Fig.5.3, plantea tres fases como los otros autores pero en este caso denomina a la fase de construcción del edificio, pre-uso, incluye igualmente fabricación y transporte de materiales y construcción, la segunda es la fase de uso, que no desarrolla pero indica que su duración es de 40 años y la tercera que denomina, fin de la vida, corresponde con el desmantelado o demolición del edificio, considerando en este caso también el transporte de los RCDs ya sea para reciclaje o para llevarlos a vertedero.
- Nuestro estudio se centra en la primera fase, la construcción, y contempla la fabricación y transporte de materiales, construcción del edificio y transporte de RCDs a la planta gestora de residuos, este último apartado no lo definen el resto de autores, sólo contabilizan los RCDs y su transporte en fase de demolición, ya que en esta fase es donde tienen mayor envergadura, ver Fig. 5.4.

En todos los casos se resalta que la fase que consume mayor energía es la de uso del edificio, sin embargo, también se destaca la importancia de la elección de materiales en la fase de proyecto y construcción del mismo ya que en función de dichos materiales dependerá que el consumo de energía en la siguiente fase sea mayor o menor dependiendo de la eficacia de los aislamientos y de la envolvente en general.

El presente modelo, desarrollado para la fase de construcción pretende, por tanto ser válido para la toma de decisiones en la selección de los materiales y poder así obtener edificios lo más sostenible posible no sólo en su construcción sino en todo su ciclo de vida.

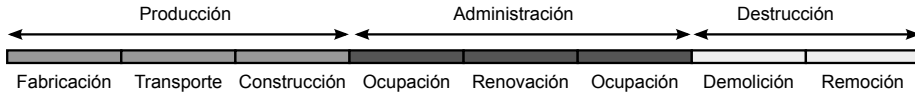


Figura 5.1: Fases del ciclo de vida de un edificio. Fuente: K. Adalberth. 1997

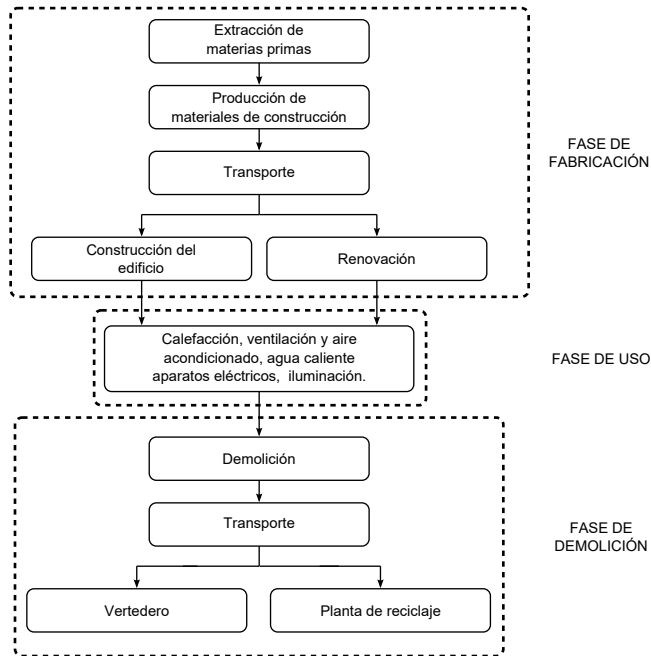


Figura 5.2: Límites del sistema para el análisis de energía del ciclo de vida. T. Ramesh.et al. 2010

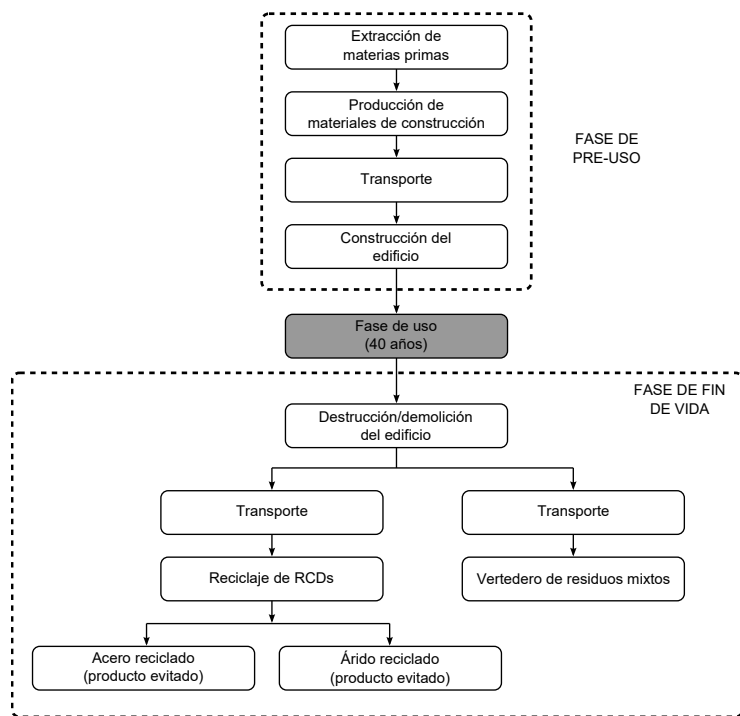


Figura 5.3: Límites del análisis del ciclo de vida de un edificio. Blengini. 2009

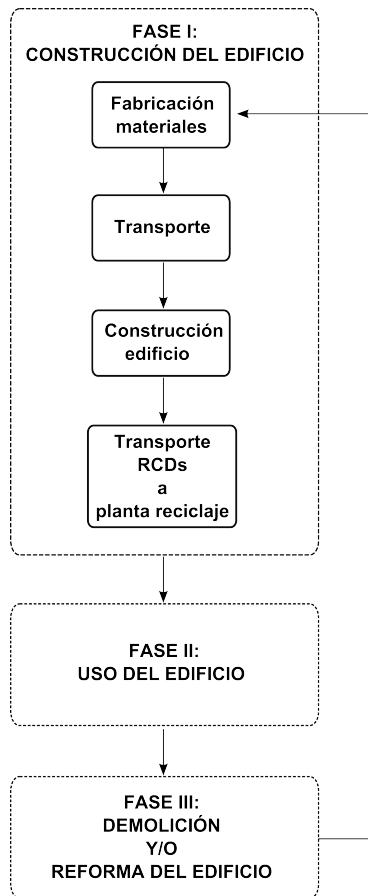


Figura 5.4: Límites del análisis del ciclo de vida de un edificio. Fuente: elaboración propia

### 5.1.2. Límites transversales:

Son los límites que se definen dentro del propio sistema que es la fase de construcción del edificio.

- En primer lugar la investigación se centra en edificios de tipo residencial, aunque el modelo pretende ser replicable fácilmente a otras tipologías y usos.
- El proyecto de ejecución, del que se parte para el desarrollo de la investigación, y en particular el presupuesto y medición incluye los capítulos referentes a construcción y gestión de residuos, según la clasificación sistemática del BCCA, desde el 02. Excavaciones hasta el 13 de Pinturas. Sin embargo hay capítulos que no se incluyen en

el modelo, por no tener relevancia en la construcción del edificio o por la falta de datos. Los cuales son: Capítulo de 01. Demoliciones y trabajos previos, se considera que la parcela está preparada para la ejecución de los trabajos. Capítulo 14. Decoración, no se tienen datos y además es un capítulo que no siempre se incluye en los proyectos, se considera que son elementos de poca importancia en la envergadura de la obra de ejecución. Capítulo 15. Urbanización, no se conocen las parcelas exactas de los proyectos ni de las actuaciones a realizar. Este capítulo puede ser tratado por sí solo como una obra de ejecución y es objeto de otras investigaciones dentro del grupo Arditec, al cual pertenece la autora de la presente tesis. Capítulo 19. Seguridad y salud, se necesitan los proyectos de seguridad y salud y la medición y presupuesto de los mismos, lo cual no se incluye en los datos recopilados de los 97 proyectos, no obstante se podrían realizar las hipótesis complementarias necesarias para completar dicho capítulo, lo cual puede ser motivo de futuras investigaciones.

- Se contabiliza lo que sucede dentro de la parcela de la obra de ejecución, excepto en el caso de los materiales, donde se incluye su fabricación y transporte desde la fábrica a la obra. Si hay un intermediario, tipo almacén o polvero no se contabiliza en el modelo.
- En cuanto a los RCD procedentes de los materiales, se considera sólo el transporte a la planta gestora, el procesado de los residuos se repercutiría a dicha empresa no a la obra.
- La mano de obra necesaria para la construcción del edificio es uno de los recursos más importantes para la ejecución del proyecto, por tanto es imprescindible incluir su impacto en el modelo, en investigaciones previas se ha incluido la movilidad de los trabajadores considerando el transporte de la vivienda a la obra, lo cual según la normativa UNE-EN ISO14040 [31], referente al ACV no debe tenerse en cuenta, por tanto se elimina de nuestro análisis, pero sí se evalúan los alimentos que se consumen durante la jornada laboral y los RSU generados en la misma.

## **5.2. Evaluación del impacto económico**

La propuesta para el modelo se basa en que partiendo de los datos necesarios para establecer la viabilidad económica de un proyecto, lo cual es imprescindible para su puesta en obra, y utilizando las mismas herramientas y los mismos conceptos básicos, se llegue igualmente a conseguir definir también el impacto ambiental.

El análisis económico obliga a un estudio pormenorizado de los recursos del proyecto, y partiendo de ellos se obtiene el importe total de la ejecución de la obra. Todo ello se lleva a cabo, a partir de una base de costes de la construcción, como es la de Andalucía, BCCA, cuya estructura y clasificación sistemática son fundamentales para la evaluación del proyecto desde el punto de vista económico y el ambiental, ya que nos va a servir en ambos casos para la definición de las partes del proyecto de forma estructurada. Se empleará dicha organización de precios y sus descompuestos en recursos de materiales, mano de obra y maquinaria para poder cuantificarlos, ya que, los datos desglosados nos proporcionan sus consumos y rendimientos unitarios [32], lo cual es la base del modelo.

Todo ello proporciona un sistema estable y muy robusto que nos garantiza la viabilidad del modelo desarrollado y siendo imprescindible a la hora de analizar un proyecto desde la fase de diseño y poder tomar decisiones estudiando las diferentes alternativas de recursos y sistemas constructivos teniendo en cuenta el punto de vista económico y ambiental.

### 5.3. Evaluación del impacto ambiental

De la misma forma que se cuantifica el impacto económico de la construcción de edificios residenciales en el presente modelo se incluye el indicador HE para poder contabilizar a su vez los impactos ambientales, todo ello partiendo de la misma herramienta que es el presupuesto del proyecto y la base de datos de la construcción, BCCA. En el estado de la cuestión se justifica el porqué del empleo del indicador HE, se define y se aclara que en inicio se concibe como un indicador a escala territorial que se adapta y aplica al ACV del edificio y la presente tesis se centra en la fase de construcción. La adaptación del indicador HE por primera vez al sector de la construcción la realiza Solís-Guzmán [12], partiendo del indicador HE y de la base de costes de la construcción BCCA, obtiene valores sobre el impacto de la HE de la construcción para un proyecto específico. A continuación, y como parte de la presente tesis, se plantea el modelo desarrollado para diferentes tipologías en función del número de plantas sobre rasante y de las características constructivas definidas. El modelo pretende ser aplicable a diferentes tipologías, y extrapolable a otros usos, fases de proyecto, incluso a diferentes indicadores ambientales y a cualquier país. Actualmente se continúa avanzando con el desarrollo del indicador HE aplicado a la edificación, y en concreto a la fase desarrollada en la presente tesis, la construcción en edificios residenciales, y se introducen novedades en la metodología con respecto a las publicaciones

realizadas durante el proceso de la investigación, las cuales se aclaran en la descripción detallada del modelo de cálculo HE.

## 5.4. Clasificación sistemática

Como propuesta novedosa en el modelo se introduce la clasificación sistemática del BCCA en el estudio pormenorizado, no sólo del impacto económico sino también en el ambiental. Teniendo en cuenta la estructura de la base de costes de construcción de Andalucía, BCCA, y uno de los principales objetivos del modelo: que el análisis económico y ambiental vayan a la par. Se obtienen así los resultados ambientales tal cual se representan los económicos, es decir, organizados según los capítulos del proyecto. Según ya se ha definido en los límites transversales del sistema, los capítulos que se desarrollan en el presente modelo se adjuntan en la Tabla 5.1. Todo ello se aplica a la base de datos que se crea específicamente para el modelo, el banco de cuantificación de recursos (BCRR). El cual gestiona los datos de partida para obtener a partir del mismo, y según la clasificación sistemática de la BCCA, los recursos, materiales, mano de obra y maquinaria, necesarios para evaluar simultáneamente la viabilidad económica y ambiental del proyecto.

El BCRR se comporta, por tanto, como nexo de unión entre los datos y los resultados, cuyo funcionamiento se explica con detalle en el apartado correspondiente.

En una posible ampliación del modelo podría ampliarse la definición de los subcapítulos y apartados, además de completar todos los capítulos definidos en el BCCA, lo cual sería motivo para futuras investigaciones.

Tabla 5.1: Desglose de capítulos para la evaluación económica y ambiental del modelo desarrollados según clasificación sistemática del BCCA

CÓDIGO	CONCEPTO
Capítulo 02	Excavaciones
Capítulo 03	Cimentación
Capítulo 04	Saneamiento
Capítulo 05	Estructuras
Capítulo 06	Albañilería
Capítulo 07	Cubiertas
Capítulo 08	Instalaciones
Capítulo 09	Aislamientos
Capítulo 10	Revestimientos
Capítulo 11	Carpintería y elementos de seguridad y protección
Capítulo 12	Vidrios
Capítulo 13	Pinturas
Capítulo 17	Gestión de residuos

## 5.5. Banco de cuantificación de recursos

Para poder determinar los recursos que se emplean en el proyecto a evaluar se crea una base de datos específica para el modelo, el banco de cuantificación de recursos (BCRR), para ello se necesitan: un banco de costes de la construcción, las mediciones y presupuesto, y características del proyecto, tanto constructivas como generales. A partir de estos datos y de los precios (PUS) descompuestos en los recursos del proyecto, se podrá realizar la evaluación económica y ambiental. El proceso a seguir se expresa gráficamente en la figura 5.5, y se describe a continuación:



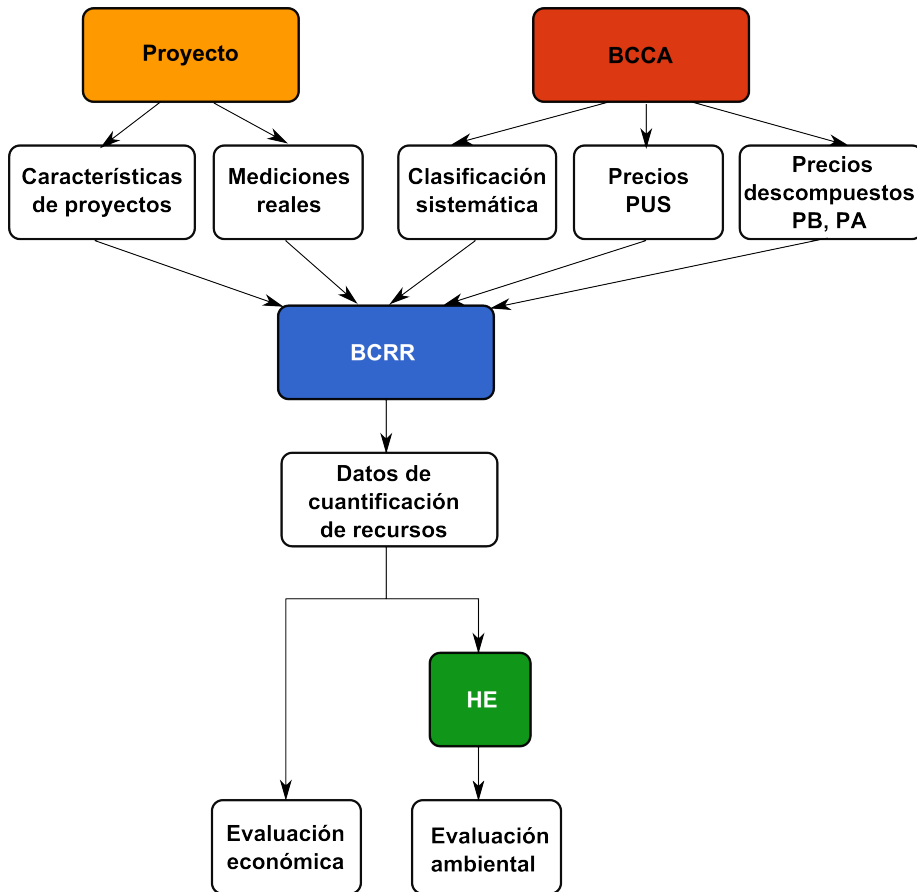


Figura 5.5: Desarrollo del banco de cuantificación de recursos (BCRR). Entrada y salida de datos

- En primer lugar, hay que conocer las características del proyecto y de la obra a realizar: tipología, uso, soluciones constructivas y calidades de los materiales.
- Medición de proyecto, organizada según la clasificación sistemática del BCCA, y donde se cuantifican todos los elementos de la obra a ejecutar.
- Base de costes de la construcción, en nuestro caso es la BCCA [33], de donde se obtienen los rendimientos y consumos de los recursos de materiales, mano de obra y maquinaria que se emplean para construir el proyecto. Estos se definen a partir de los descompuestos de los PUS: PB y PA.
- A partir de las características definidas en el proyecto se realiza

una selección de PUS de la BCCA para obtener la medición y presupuesto detallados y así se crea un BCCR donde en teoría a cada *apartado de la medición* le corresponde un PUS concreto, sin embargo y como novedad del modelo, se plantean para cada apartado una selección de varios PUS homogéneos. Cada apartado de la medición representa un elemento constructivo al que se le asocian varios PUS, los cuales aportan distintos matices, pudiendo incluirse así diferentes soluciones constructivas para dicho elemento. Se representa gráficamente en la Fig.5.6.

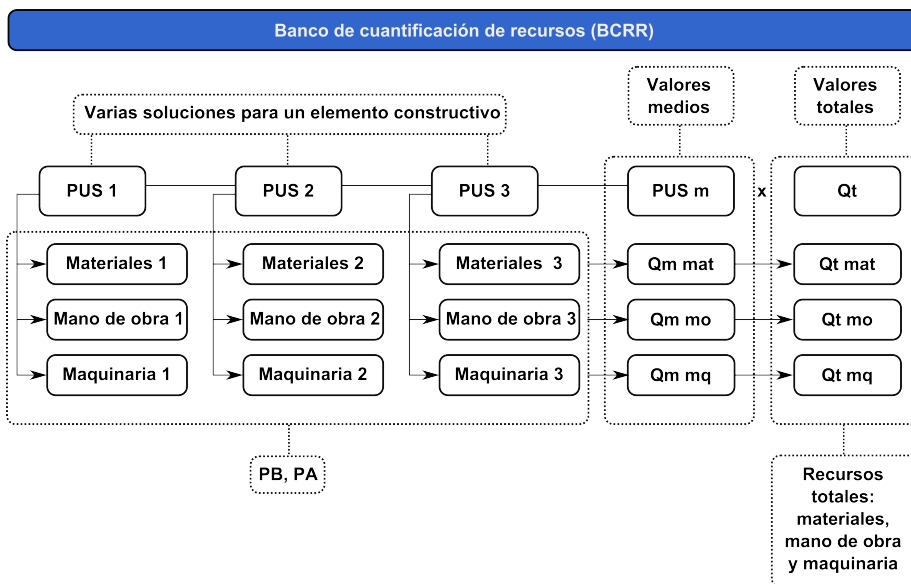


Figura 5.6: Funcionamiento interno del banco de cuantificación de recursos (BCCR). Entrada y salida de datos

Se agrupan dichos PUS y se realiza la descomposición en los recursos de materiales, mano de obra y maquinaria, aportando los correspondientes datos de rendimientos y consumos de cada uno de ellos.

- A continuación se calculan los valores medios ponderados,  $Q_m$ , y así se obtienen en primer lugar, las cantidades unitarias medias de cada recurso y al multiplicar por la cantidad definida en la medición del proyecto los consumos totales,  $Q_t$ , de cada uno.

Como propuesta novedosa del modelo, además en algunos apartados se proponen varias alternativas (a modo de despleables), donde se incluyen diferentes opciones, ya sean materiales, maquinaria

o diferentes soluciones constructivas. Se podrían seguir incluyendo más alternativas en los apartados y desplegados seleccionados, teniendo en cuenta otras soluciones constructivas y mayor diversidad de materiales, lo cual sería motivo para futuras investigaciones.

- A partir de la cantidad total,  $Q_t$ , de todos los recursos del proyecto, se evalúa el impacto económico y ambiental del mismo.

Cada uno de los recursos produce uno o varios impactos que se traducen en una o varias huellas parciales y la suma de todas ellas cuantifican la HE total.

Al seleccionar varios PUS de un mismo elemento constructivo, con algún matiz que los diferencie, y obtener los recursos totales a partir de los valores medios de los PUS seleccionados se pretende conseguir un modelo que abarque gran variedad de tipologías y soluciones constructivas y que sea capaz de evaluar el impacto económico y ambiental de cualquier edificio con características similares a las propuestas en la presente investigación.

## 5.6. Indicador Huella Ecológica (HE)

Para contabilizar los impactos se dividen los datos necesarios en dos grupos: los que se obtienen a partir de los datos generales del proyecto y los datos obtenidos de las mediciones y presupuesto del proyecto (5.7).

De los datos generales, tales como superficie construida, plazo de ejecución, etc. y los extraídos de la organización, contabilizados a partir de los costes indirectos, como son el agua o la electricidad consumida en obra, se obtienen huella de energía y de ocupación directa.

De los datos obtenidos de las mediciones y presupuesto del proyecto para evaluar el impacto económico, es decir, a partir de los recursos necesarios para construir el proyecto en cuestión, de la misma forma se puede realizar el análisis ambiental, y todo ello con los mismos datos y herramientas, de ahí la ventaja de trabajar con la BCCA, así se trata de conseguir que el modelo desarrollado sea de fácil manejo para el personal técnico que proyecta un edificio y que es el responsable de la toma de decisiones en cuanto a una mejor gestión de la obra y de una optimización de recursos y soluciones constructivas con un mejor comportamiento ambiental. Por tanto de las mediciones y presupuesto del proyecto se determinan los recursos de materiales, mano de obra y maquinaria, de los que se especifican sus impactos y su correspondiente huella parcial cuyo sumatorio nos arroja el resultado de HE total del proyecto.

Los materiales se desglosan en función de los impactos producidos por su fabricación, transporte de la fábrica a la obra y los RCDs que producen y se contabilizan dentro de la huella de energía (hag), excepto en el caso de la madera cuya huella se contabiliza dentro de la huella de bosques.

En el transporte de materiales y RCDs se contabiliza además la mano de obra necesaria, lo cual se evaluará en el apartado de mano de obra correspondiente.

La mano de obra produce dos impactos: consumo de alimentos y RSU. Además de los trabajadores contabilizados en las partidas de proyectos y los procedente del transporte de los materiales, también se incluye la mano de obra que utiliza la maquinaria y la procedente de los costes indirectos, tales como encargado y técnicos de obra. Dichos impactos se traducen a la huella correspondiente de los alimentos que son pastos, mar y cultivos así como la de energía que es común también para los RSU.

En cuanto a la maquinaria se diferencia si se alimenta con combustible o con electricidad, y su impacto se traduce igualmente en huella de energía.

Una vez contabilizados todas las huellas parciales se obtiene la HE total de la construcción del edificio. A continuación se detalla como se analiza cada uno de los recursos y sus impactos y el cálculo de cada una de las huellas parciales. Además se aporta una forma novedosa para representar y entender mejor el procedimiento de cada huella parcial y es, gráficamente, mediante diagramas que resumen el cálculo de cada una de ellas definiendo las entradas y salidas del sistema.



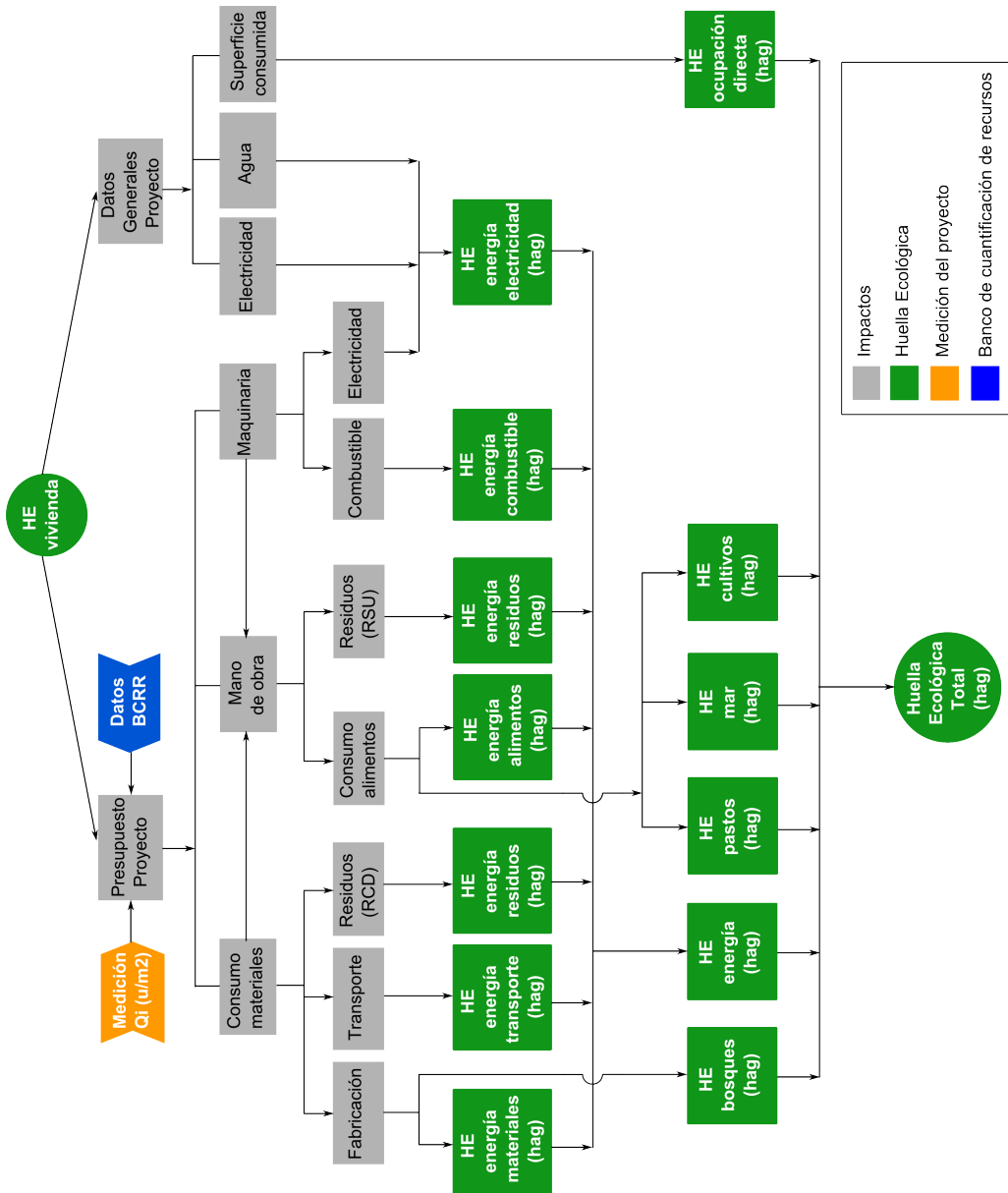


Figura 5.7: Diagrama general de la evaluación ambiental a partir del indicador HE

### 5.6.1. Materiales

Los materiales utilizados y sus cantidades se obtienen del BCRR. Como ya se ha descrito en el diagrama principal, el consumo de materiales produce un impacto ambiental debido a: su fabricación, el transporte de la fábrica a la obra y los residuos, lo cual se representa con mayor detalle en la Fig. 5.8.

El principal cambio con respecto a la metodología anterior es que los materiales se cuantificaban en MJ/kg, y se utilizaba un coeficiente de cambio a emisiones de CO<sub>2</sub>, actualmente se valoran según el factor de emisiones de cada material en CO<sub>2</sub>/kg. El transporte de los materiales y de los RCDs no se contabilizaba. Para el cálculo de los RCDs la metodología desarrollada por Solís-Guzmán[12] y utilizada también en las investigaciones de González-Vallejo, Marrero et al. [13], [14], se empleaba una herramienta informática que diferenciaba dos tipos de RCD, tierras y mixtos [34], en la que además se incorporaba el procedimiento de determinación de índices de conversión ya utilizado por Domenech-Quesada [35].

Para el estudio de los materiales de la obra se proponen una serie de grupos para que sea más fácil su estudio y posterior análisis de resultados. Se estructuran en las siguientes familias de materiales: acero, aluminio, áridos, asfalto, bituminosos, cal, cemento, cerámico, cobre, escayolas y yesos, fibra de vidrio, fibrocemento NT, hormigón, lana mineral, latón, madera, piedra, pinturas, polietileno, poliestireno, poliéster, poliuretano, porcelana, PVC, vidrio, viscoelástica, varios y zinc. Todos los materiales del proyecto se incluyen en los grupos propuestos, en el apartado de varios se incluyen materiales que se pueden definir como son los pequeños materiales o piezas especiales que se repiten en muchos precios.

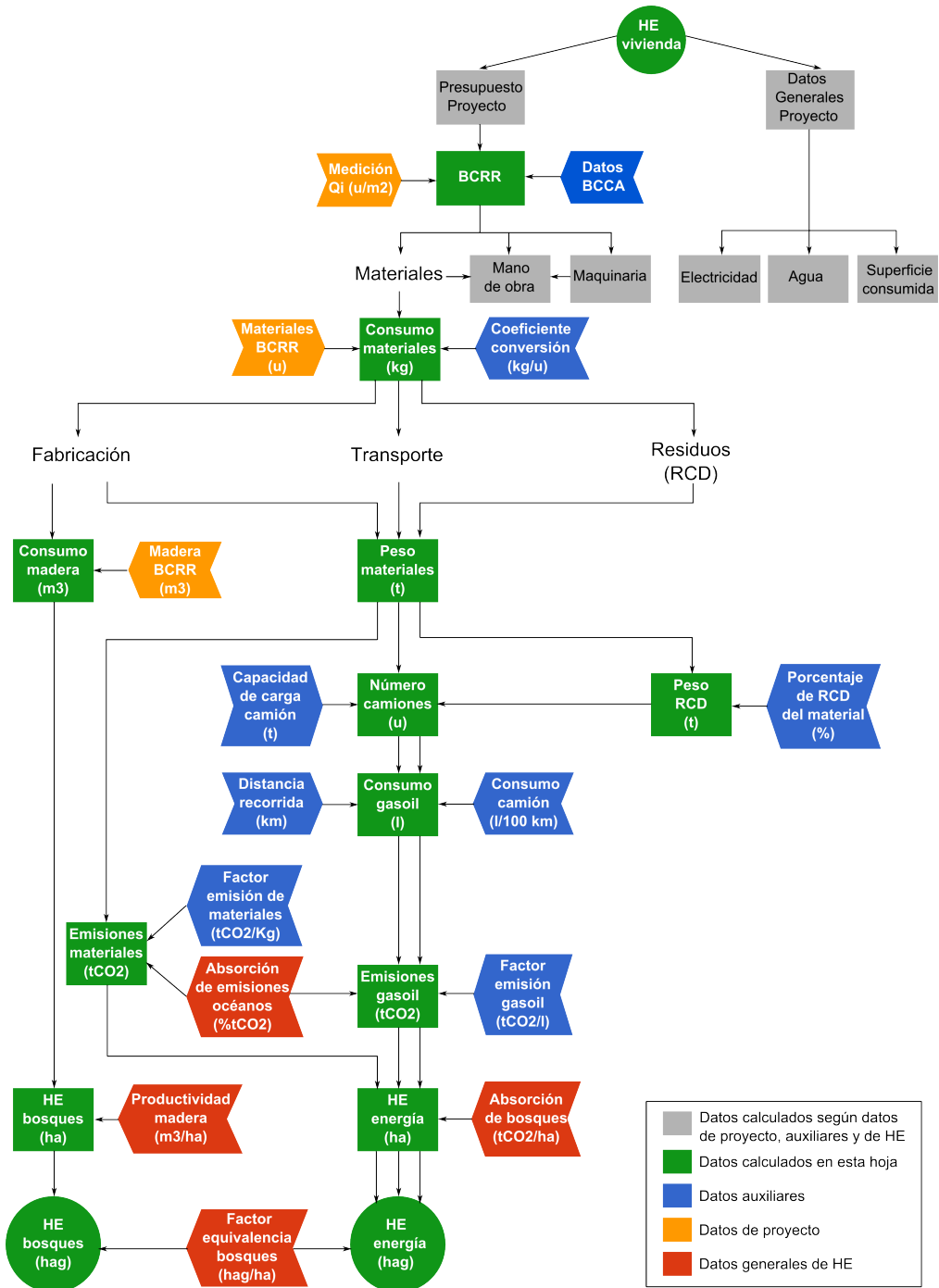


Figura 5.8: HE según fuentes de impacto: materiales, fabricación, transporte y residuos



## Fabricación de materiales

Según el ACV del edificio y en la fase correspondiente a la construcción el primer impacto a contabilizar es la fabricación de materiales, para poder evaluarlos se necesitan los siguientes datos:

- Cantidad total de cada material empleado en la ejecución del proyecto. Las cantidades totales extraídas del BCCR están expresadas según la unidad de medida de cada material, para poder cuantificarlos es necesario unificar todos bajo un mismo criterio, el cual es su consumo en kg,  $C_m$ , para ello se le aplica a cada material un coeficiente de paso,  $C_c$ , que establece la cantidad de kg por unidad de material, según la unidad de medida de cada uno, como se expresa en la fórmula 5.1.
- Coeficiente de paso para unificar el consumo de materiales en una misma unidad de medida, en kg. En la Tabla 5.2 se aporta el ejemplo de varios materiales incluidos en las familias del acero, áridos, cerámico, hormigón y madera. Se incorpora el código del BCCA así como la unidad de medida y el nombre resumido. Para obtener el dato de  $C_c$  de cada material, se necesitan el volumen, densidad del elemento [36] y el factor de conversión de unidades [37]. Cuando la unidad de medida de un elemento es el kg, como en el caso del acero, el  $C_c$  tiene valor uno y no necesita pasos intermedios.
- Factor de emisión de kg de CO<sub>2</sub> por unidad de medida en kg de cada material. Una vez logrado el  $C_c$  se aplica a la cantidad de cada material y se obtiene el consumo de cada material en kg, a partir de este dato y del factor de emisiones, el cual se extrae de la base de Ecoinvent [38], se obtienen las emisiones totales del material analizado. Lo cual se presenta en la Tabla 5.3 siguiendo el ejemplo de materiales de la tabla anterior.
- Datos para obtener las emisiones de CO<sub>2</sub> y el resultado de huella (hag). Para obtener la huella de CO<sub>2</sub> se necesita el factor de absorción de CO<sub>2</sub> de los bosques [AccountGFN:2014] al que se le aplica una reducción de las emisiones debido a la absorción de los océanos, tal como define Broucke [39], a partir de la absorción de los océanos estudiada por Khatiwhala [40] dividida por las emisiones de carbono (antropogénicas) medidas en PgC/año calculadas por Marland [41], de donde se obtiene una absorción entre un 28 y 35 % en el período comprendido entre 1961 y 2008, en nuestro caso se considera el 28 %. Finalmente la HE se obtiene al aplicar el factor de equivalencia de carbono que es igual al de los bosques, ya

que la metodología HE considera que el terreno de bosques cumple ambas funciones. Se recoge todo en la ecuación 5.2.

$$C_{m_i} = Qt_{m_i} C_c \quad (5.1)$$

donde:

$C_{m_i}$ : consumo del material (i) (kg)

$Qt_{m_i}$ : cantidad total del material (i), la unidad de medida es la del propio material (i) (u)

$C_c$ : Coeficiente de paso, peso en kg de la unidad del material (i)

$$HE_{fmat} = \sum_i (C_{m_i} F_{e_i}) \left( \frac{1 - A_{oc}}{A_b} \right) FE_c \quad (5.2)$$

donde:

$HE_{fmat}$ : huella ecológica de materiales de construcción (hag)

$C_{m_i}$ : consumo del material i (kg)

$F_{e_i}$ : factor de emisión del material i (tCO<sub>2</sub>/kg)

$A_{oc}$ : Reducción de emisiones debido a la absorción de los océanos (28 %)[39]

$A_b$ : Factor de absorción de los bosques (3,59 tCO<sub>2</sub>/ha)[42]

$FE_c$ : Factor de equivalencia de absorción de carbono (1,26 hag/ha)[42]

Para el caso de la madera se utiliza la ecuación 5.3, donde se aplica a la cantidad total de madera consumida en obra se le aplica su productividad y el factor de equivalencia de bosques, según definen Broucke et al [39].

$$HE_{mad} = \sum \left( \frac{C_{mad}}{P_{mad}} \right) FE_b \quad (5.3)$$

donde:

$HE_{mad}$ : huella ecológica de madera (hag)

$C_{mad}$ : consumo de madera en obra (m<sup>3</sup>)

$P_{mad}$ : productividad de la madera (m<sup>3</sup>/ha)

$FE_b$ : Factor de equivalencia de los bosques (1,26 hag/ha)[42]

Tabla 5.2: Ejemplo del proceso de conversión de las cantidades de materiales a kg

Código	Ud	Concepto	Dimens. (m)			Volumen (m <sup>3</sup> )	Densidad		Cambio unidad (kg/kN)	Cc (kg/u)
			X	Y	Z		Valor	Ud.		
<i>Áridos</i>										
AA00300	m <sup>3</sup>	ARENA GRUESA	1,00	1,00	1,00	1,00	16,50	kN/m <sup>3</sup>	101,97	1.682,51
<i>Acero</i>										
CA00320	kg	ACERO B 500 S	-	-	-	-	-	-	-	1,00
CM00450	m <sup>2</sup>	PANEL METÁL. REVESTIM. TABLERO FENOLICO	1	1	0,003	0,003	78,50	kN/m <sup>3</sup>	101,97	24,01
<i>Cerámico</i>										
FLO1300	mu	LAD. CERÁM. PERF. TALAD. PEQ. REVESTIR 24x11,5x5 cm	0,24	0,115	0,05	0,0014	780	kg/m <sup>3</sup>	101,970	1.076,40
<i>Hormigón</i>										
CH02920	m <sup>3</sup>	HORMIGÓN HA-25/P/20/IIa, SUMINISTRADO	1,00	1,00	1,00	1,00	2500	kg/m <sup>3</sup>	101,97	2.500,00
<i>Madera</i>										
CM00300	m <sup>3</sup>	MADERA DE PINO EN TABLON	1,00	1,00	1,00	1,00	5,00	kN/m <sup>3</sup>	101,97	509,85

Tabla 5.3: Ejemplo de procedimiento para obtener las emisiones totales de kg de CO2 de cada material

Código	Ud	Concepto	Qt (u)	Cm= Qt*Cc (kg)	Fe[38] (kg CO2/kg)	Emis. totales (kg CO2)
<i>Áridos</i>						
AA00300	m <sup>3</sup>	ARENA GRUESA	578,42	973.194,54	0,002	1.946,39
<i>Acero</i>						
CA00320	kg	ACERO B 500 S	39.903,65	39.903,65	1,344	53.630,51
CM00450	m <sup>2</sup>	PANEL METÁL. REVESTIM. TAB.FEN.	388,54	9.330,25	1,781	16.617,18
<i>Cerámico</i>						
FL01300	mu	LAD. PERF. TAL. PEQ. REV. 24x11,5x5 cm	285,05	306.823,44	0,212	65.046,57
<i>Hormigón</i>						
CH02920	m <sup>3</sup>	HORM. HA-25/P/20/IIa, SUM.	228,68	571.701,50	0,11	62.887,17
<i>Madera</i>						
CM00300	m <sup>3</sup>	MADERA DE PINO EN TABLON	47,01	23.969,44	-0,992	-23.777,69

## Transporte de materiales

Para poder incluir el transporte de los materiales en el análisis del impacto que producen hay que tomar una serie de decisiones a modo de hipótesis complementarias, las cuales son las siguientes:

- Familias de materiales: se decide contabilizar el transporte de materiales agrupándolos por familias, se respetan las definidas al principio del apartado.
- Procedencia del material: se considera que el empleo de materiales sea autóctono disminuye el impacto ambiental y genera un beneficio social al seleccionar materiales y fábricas cercanas a la obra a realizar. En este caso se supone que los proyectos se sitúan en Sevilla capital y los materiales se dispensarán desde la provincia y el resto de Andalucía, el material cerámico puede provenir de Córdoba o Jaén y los revestimientos de piedra natural pueden provenir de Almería. Para el acero se realiza un estudio sobre las empresas que lo fabrican en España [43], y la ciudad española donde existen más empresas que lo fabrican es Barcelona (734), en segundo lugar Madrid (587) y en séptimo lugar Sevilla (144), se opta por Madrid que es la segunda más cercana, para no encarecer demasiado el producto.
- Distancia desde la fábrica hasta el punto de puesta en obra: se considera desde Sevilla el punto más alejado que sería Almería a 412 km. excepto para el hormigón y el acero. El hormigón sigue el cumplimiento de la EHE-08. Art. 71,4. y por tanto, se considera una distancia máxima de 20 km. El acero proviene de Madrid a 530 km. Se contabiliza para todos los casos, ida y vuelta del vehículo de transporte.
- Medio de transporte: en nuestro caso se supone un camión, del cual se definen su capacidad, 24 t y el rendimiento se mide en l/100km, se considera para nuestro caso un consumo medio de gasoil: 26 l/100 km [44].

A partir de estos datos y el peso de cada material se obtendrán el número de camiones necesarios, a los cuales se les aplica además el factor de emisión del combustible, ya sea gasolina o gasoil [44], lo cual se define en la expresión 5.4.

$$HE_{tmat} = \sum_i \left( \frac{P_{m_i}}{V_{cam}} D_m \right) C_{cam} E_g \left( \frac{1 - A_{oc}}{A_b} \right) F E_b \quad (5.4)$$

donde:

$HE_{tmat}$ : Huella Ecológica del transporte de materiales (hag/año)

$P_{m_i}$ : Peso del consumo de materiales  $i$  (t/año)

$V_{cam}$ : Capacidad camión (24 t)

$D_m$ : Distancia media (km), ida y vuelta

$C_{cam}$ : Rendimiento del camión (26l/100 km)[44]

$E_g$ : Factor de emisión del gasoil (0,0026 tCO<sub>2</sub>/l)[44]

$A_{oc}$ : Reducción de emisiones debido a la absorción de los océanos (28 %) (0,28)[39]

$A_b$ : Factor de absorción de los bosques (3,59 tCO<sub>2</sub>/ha)[42]

$FE_c$ : Factor de equivalencia de absorción de carbono (1,26 hag/ha)[42]

## RCDs

Para la gestión de residuos hay que cumplir el RD.105/2008 [45], y a partir del mismo se realiza el capítulo 17 de Gestión de residuos del BCCA [46], incorporando así su evaluación en el presente modelo. El impacto generado por los RCDs que se cuantifica de forma novedosa en el presente modelo es el transporte de los mismos de la obra a la planta gestora de residuos, contabilizándose la ida y vuelta del vehículo. Se deja de utilizar, por tanto, la metodología anterior. Para el desarrollo del nuevo procedimiento en el modelo y la cuantificación del impacto ambiental de los RCDs se necesita, definir cómo obtener la cantidad de residuos de los materiales extraídos del BCRR, además de establecer diferentes hipótesis, las cuales describimos a continuación:

- Porcentaje de reciclado de cada material. A partir de las familias de clasificación de los materiales se determina el porcentaje de reciclado, lo cual se recoge en la Tabla 5.4. Cada familia tiene unos requisitos y condiciones diferentes y en función de esto se determinan los porcentajes de reciclados, varían entre el 0 al 6 %, en el caso de las familias de la pintura se considera que no existe desperdicio de material, solo del envase, el cual no se considera en este planteamiento, algunos metales como el acero o el cobre tienen un 1 % de residuo y otros como el aluminio tienen el 5 %, y por ejemplo la piedra natural tiene un 2 y el 6 % el material cerámico.

- Definir la agrupación de familias de materiales en función del tipo de reciclado. Las cuales se definen y se agrupan según su similitud en el proceso de reciclaje, y estos serán los diferentes tipos de RCDs que deben separarse en obra para su posterior transporte a la gestora de residuos. La unidad de medida corresponde con los PUS del BCCA del capítulo 17 de Gestión de RCDs seleccionados, son los siguientes:
  - Metales y aleaciones: acero, aluminio, cobre, latón y zinc. Medido en t.
  - Áridos y piedras naturales ( $m^3$ )
  - Cerámicos ( $m^3$ ).
  - Madera (t).
  - Plásticos y sintéticos: polietileno, poliestireno, poliéster, poliuretano, PVC (t).
  - Hormigón, cemento y cales ( $m^3$ ).
  - Mezclados: asfalto, escayolas y yesos, fibra de vidrio, fibrocemento NT, lana mineral, porcelana y vidrios ( $m^3$ ).
- Tipo de vehículo para realizar el transporte de los diferentes grupos de RCDs a la planta gestora. Se considera que el camión utilizado tiene una capacidad de 24t y un rendimiento de 26 l/100 km y se alimenta con gasoil.

Tabla 5.4: Porcentaje de residuo por familias de materiales

Familias de materiales	Porcentaje residuo (%)
Pintura y viscolástica	0
Acero, áridos, asfalto cobre, latón y PVC	1
Piedra, porcelana y vidrios	2
Aluminio, bituminosos, cal cemento, escayolas y yeso, fibra vidrio, fibrocem. NT, hormigón, lana mineral madera, polietileno poliestireno, poliéster, poliuretano y zinc.	5
Cerámico	6

Según estos datos se aplica el porcentaje de reciclaje determinado a la cantidad de material procedente del BCRR y en consecuencia se obtiene la cantidad de residuo clasificado según su reciclaje. A partir de estos datos se determinan el número de camiones, según la cantidad de RCDs y la capacidad de carga del camión, con lo que a partir del rendimiento del motor se consiguen los datos totales de consumo de combustible, que finalmente es el dato buscado para determinar las emisiones totales y finalmente la HE, para lo cual se aplican en primer lugar los factores de emisión y en segundo lugar los de absorción de la misma forma que se plantea en el caso del transporte, empleando para ello la expresión 5.5 y se representa en la Fig. 5.8, donde se incluyen los tres impactos producidos por los materiales.

$$HE_{rcd} = \sum_i \left( \frac{P_{rcd_i}}{V_{cam}} D_m \right) C_{cam} E_g \left( \frac{1 - A_{oc}}{A_b} \right) FE_b \quad (5.5)$$

donde:

$HE_{rcd}$ : Huella Ecológica del transporte de residuos RCD (hag/año)

$P_{rcd_i}$ : Peso de los RCD  $i$  procedentes del consumo de materiales (t/año)

$V_{cam}$ : Capacidad camión (24 t)

$D_m$ : Distancia media (km), ida y vuelta

$C_{cam}$ : Consumo de gasoil del camión (26l/100 km)

$E_g$ : Factor de emisión del gasoil (0,0026 tCO<sub>2</sub>/l)

$A_{oc}$ : Reducción de emisiones debido a la absorción de los océanos (28 %) (0,28)[39]

$A_b$ : Factor de absorción de los bosques (3,59 tCO<sub>2</sub>/ha)[42]

$FE_c$ : Factor de equivalencia de absorción de carbono (1,26 hag/ha)[42]

### 5.6.2. Mano de obra

La mano de obra representa uno de los principales recursos para la ejecución del proyecto, por lo que no se puede quedar fuera del análisis económico ni del ambiental. Las fuentes de impacto son la alimentación, considerando los alimentos que se consumen durante la jornada laboral y los RSU producto de su actividad. En las figuras Fig. 5.9 y 5.11 se



representa el cálculo de ambos impactos a través de diagramas donde se expresan las entradas y salidas de datos del sistema.

En el planteamiento anterior se incluía además la movilidad, pero al completar las fases del ciclo de vida del edificio y aplicar la norma UNE-EN ISO14040 [31] que establece que no deben incluirse en el AVC los desplazamientos de operarios fuera del lugar de trabajo, se eliminan de la metodología actual.

Por otro lado, la alimentación se considera una parte de la actividad de los trabajadores ya que se realiza durante la jornada laboral y además gracias a los alimentos ingeridos tienen la energía suficiente para poder realizar las tareas de obra, es como el "combustible" de los operarios. Este planteamiento ya lo incluyen otros autores como Domenech Quesada en el cálculo de la huella corporativa [35], donde incluye el almuerzo de los trabajadores y plantea una hipótesis de menú al que le calcula la huella asociada a los alimentos que lo integraban y su coste, que se fijaba en 10€. Este era el planteamiento que se consideraba igualmente en la metodología anterior al presente modelo, la cual se publica por Solís, Marrero [12] y González-Vallejo (autora de la presente tesis), [13] y [14]. En el modelo actual se quiere tener en cuenta no sólo la cantidad de alimento consumido en un menú sino todo el alimento que no se ingiere pero sí se consume, porque se desperdicia, pudre o elimina por el consumidor u otros intermediarios en el proceso desde la cosecha hasta que llega a nuestro plato. Además de independizar la huella del precio ya que se pretende que el modelo sirva para cualquier país, para lo cual habría que tener en cuenta la devaluación de precios, diferentes monedas, otros menús, etc.

En cuanto a los RSU en la metodología anterior se partía del dato de emisión de residuos por persona y año en España. A continuación se consideraban en primer lugar los porcentajes de reciclado según la clasificación de los residuos ya fueran orgánicos, papel, plástico o vidrio, y siendo los porcentajes: 44, 21, 11 y 7% respectivamente, a los que se aplican a la cantidad de RSU obteniendo así cantidades de RSU diferenciados. Finalmente se convertían a hectáreas globales gracias a los índices de conversión (hag/t), como desarrolla Solís-Guzmán et al. [12] y se aplica en las investigaciones iniciales a la presente tesis de González-Vallejo, Marrero, Solís-Guzmán et al. [13] [14], resultando la huella de energía de los RSU.

Además de la mano de obra directa procedente de los PUS desarrollados en el BCCR también se contabiliza en este apartado: la mano de obra que maneja la maquinaria definida en los PUS del BCCR, es decir las horas de maquinaria son las mismas horas del operario correspondiente. También se incluye la mano de obra del transporte de los RCDs

obtenidos igualmente del BCCR, del capítulo 17 de Gestión de residuos. Finalmente, se contabiliza la calculada como costes indirectos, tales como encargado, técnicos de obra, administrativos u operarios para trabajos auxiliares, etc., ya que este tipo de personal se necesita durante toda la obra o un plazo determinado de ella y no se puede asociar a una partida en concreto.

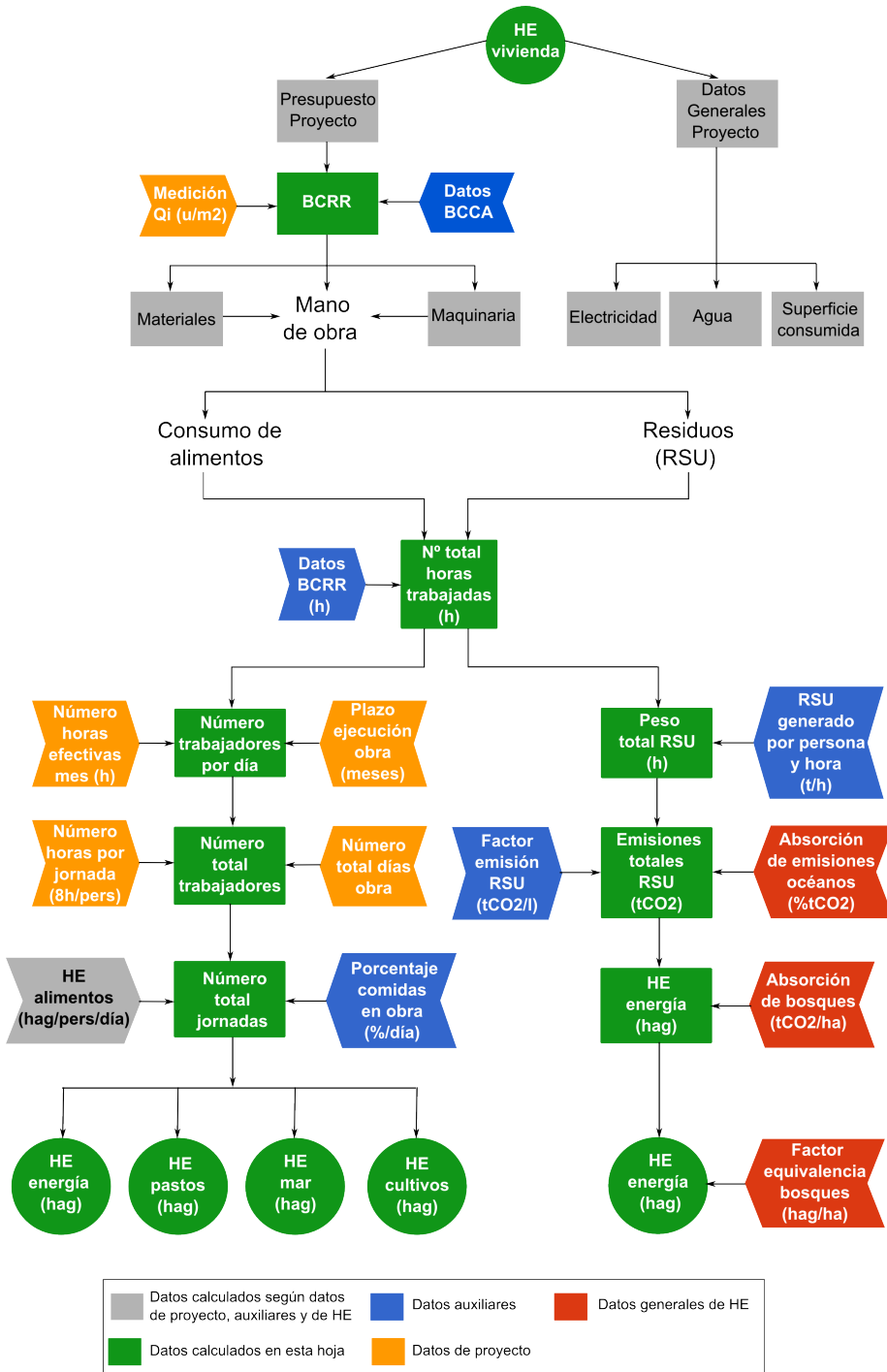


Figura 5.9: HE según fuentes de impacto: alimentación y RSU de la mano de obra

## Alimentos

Para desarrollar el nuevo procedimiento para el cálculo de la huella cabe destacar que se consigue independizar de un menú en particular y del coste, contabilizándose todos los alimentos consumidos, no sólo los ingeridos, como novedad se incluye la metodología que propone la GFN [39] para obtener la huella de los alimentos, lo cual no se incluía en la metodología anterior. Con lo que se consigue asimilar el modelo a los estándares del indicador HE y poder obtener resultados comparables con los planteados por otros grupos de investigación. Para todo ello se necesitan los siguientes datos:

- Cantidad de mano de obra empleada para la construcción del proyecto analizado expresada en horas, lo cual se obtiene del BCRR.
- Cantidad de alimentos consumidos en kg, por persona y día en el país de estudio, que se obtienen de la FAO [47], y aplicado para obtener la alimentación en España y otros países como Chile y México como aplicación de la presente tesis [16].
- Metodología para el cálculo de las huellas parciales que producen el impacto de los alimentos: energía, cultivos, mar y pastos. Se utiliza la metodología propuesta por la GFN en [39] y es aplicada por Galli para obtener la huella de la alimentación de países mediterráneos, incluso España [48].
- Se obtiene por tanto la huella de los alimentos consumidos por persona y día en España y se aplican a los trabajadores de la obra.
- Hay que determinar el porcentaje de alimentos diarios del operario que se atribuyen a la actividad de la obra.

El procedimiento de cálculo completo de la huella de los alimentos se explica de forma esquemática en la Fig. 5.9.

Tabla 5.5: Consumo de alimentos por persona y día en España en el año 2011 [49], a partir de los datos de la FAO [47],

Grupos de alimentos	Total consumo (kg/ persona/ día)	Porcentaje (%)
Cereales - excepto Cerveza	0,30	7,73
Almidón de raíces	0,18	4,73
Cultivos azucareros	0,25	6,41
Azucar y dulcificantes	0,07	1,76
Legumbres secas	0,03	0,67
Nueces	0,02	0,47
Cultivos oleaginosos	0,71	18,45
Aceites vegetales	0,09	2,37
Hortalizas	0,41	10,58
Frutas - excepto vino	0,55	14,37
Estimulantes	0,02	0,54
Espicias	0,00	0,03
Bebidas alcohólicas	0,30	7,87
Carne	0,26	6,63
Vísceras	0,01	0,19
Grasas animales	0,01	0,35
Huevos	0,04	1,01
Leche - excepto mantequilla	0,49	12,81
Pescado y frutos de mar	0,12	3,02
Prod acuáticos, otros	0.002	0,04
<b>Total (kg/persona/día)</b>	<b>3,84</b>	<b>100</b>

Se necesita saber la cantidad de alimentos que se consumen al día, en el país de estudio, en este caso España, lo cual se aplicará posteriormente a Chile [49]. Para ello se necesitan los datos de la FAO [47], de donde se extrae la cantidad total de alimentos que se consumen por persona y día, se selecciona el país y el año. Se incluye, por tanto, en la Tabla 5.5 los alimentos consumidos en España en 2011, por persona y día, clasificados por las familias alimenticias propuestas por la FAO, lo cual se incluye en la Tabla 5.5. En dicha cuantificación se incluye todo el alimento que se produce, exporta e importa, además de los alimentos procesados y los desperdicios, es decir, no se limita por tanto sólo a un plato de comida, siendo una cuantificación del impacto más real. El resultado es de 3,84 kg por persona y día.

El procedimiento para el cálculo de la huella de los alimentos consumidos sigue la metodología propuesta por la GFN en 2014, *Working Guidebook to the National Footprints Accounts* [48], y que además Galli et al. aplican para calcular la huella de los alimentos en los países me-

diterráneos [50] a nivel de país y según las principales categorías de la COICOP (*Classification of Individual Consumption according to Purpose*) [51]. Esta investigación no diferencia la huella de los alimentos por categorías de cultivos, mar y pastos, sólo arroja el dato final, el cual servirá para comparar los resultados que se obtengan de la presente investigación.

Para aplicar la metodología de cálculo se utiliza la hoja de cálculo aportada por la GFN donde incluye el ejemplo para obtener la huella mundial y el caso de Hungría en el año 2010, en la Guía del procedimiento se incluyen las fuentes de dónde obtener los datos necesarios para cada huella, aparte de los datos de la FAO, tales como productividades o intensidades y energía de los alimentos. Para el cálculo de todas las huellas parciales se aplica la expresión 5.6:

$$\text{Consumo} = \text{Producción} + \text{Importación} - \text{Exportación} \quad (5.6)$$

Tras aplicar la metodología se obtienen los datos de las distintas huellas parciales, se incluyen en la Tabla 5.6 los totales de la HE de alimentos en España en 2011, y en la Tabla 5.7 los totales por persona y año. Los porcentajes que representan cada una de las huellas de cultivos, mar, pastos y carbono en la Fig. 5.10, la mayor huella producida es la de los cultivos con un 56 % sobre el total, seguida del mar con 23 % y de los pastos con 15 %, finalmente la huella de carbono representa el 6 %, estos porcentajes representan además la dieta española, rica sobre todo en frutas y verduras, teniendo en cuenta que su huella es menor que el resto, el consumo tiene que ser alto, pescado y carne, esta última tiene un alto impacto, por tanto el consumo es bastante menor que el resto de alimentos.

Tabla 5.6: Datos de huella ecológica de los alimentos totales para España en 2011 a partir de la metodología de la GFN [48]

Tipos de huella [-]	HE Producción [hag]	HE Importaciones [hag]	HE Exportaciones [hag]	HE Consumo [hag]
Cultivos	25.607.106	27.129.500	15.105.974	37.630.662
Pastos	587.442	9.580.489	515.044	9.652.887
Bosques	-	-	-	-
Mar	11.305.125	25.788.779	21.569.814	15.524.089
Carbono	23.482	10.031.508	6.120.162	3.934.828
<b>TOTAL</b>	<b>37.523.154</b>	<b>72.530.276</b>	<b>43.310.964</b>	<b>66.742.466</b>

Tabla 5.7: Huella ecológica por persona en España en el año 2011[48]

Tipos de huella [-]	HE producción [hag person-1]	HE Importaciones [hag person-1]	HE Exportaciones [hag person-1]	HE Consumo [hag person-1]
Cultivos	0,55	0,58	0,32	0,81
Pastos	0,01	0,21	0,01	0,21
Bosques	-	-	-	-
Mar	0,24	0,55	0,46	0,33
Carbono	0,00	0,22	0,13	0,08
<b>TOTAL</b>	<b>0,81</b>	<b>1,56</b>	<b>0,93</b>	<b>1,43</b>

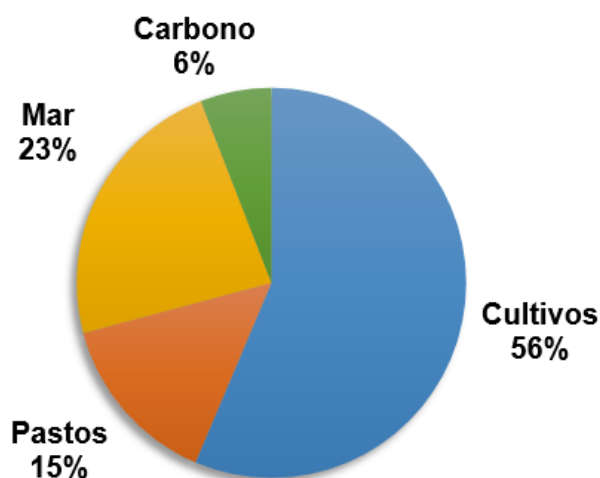


Figura 5.10: Huella ecológica del consumo de alimentos en España según los tipos de huellas parciales

Se considera que la jornada laboral es de 8 horas a tiempo continuo, por tanto, se toma como hipótesis que durante la jornada laboral el operario realiza en el lugar de trabajo el desayuno y el almuerzo, que según un informe editado por Ministerio de Sanidad y Consumo[52] y otros autores [53] representan un 25 % y entre un 35 a 40 % respectivamente de la ingesta diaria de alimentos, es decir, entre un 60 y 65 %. En el modelo se considera computable al operario durante su jornada laboral un 61 % del consumo de los alimentos diarios. Este dato es el factor de consumo que se aplica al valor de HE total del alimento/persona/año, y se considera el número de días anuales y la cantidad de horas por jornada laboral para aplicarlo, todo ello se recoge en la expresión 5.7.

$$HE_{alim} = \left( \frac{h_t}{h_d} \right) F_{calim} \left( \frac{HE_{com}}{d} \right) FE_b \quad (5.7)$$

donde:

$HE_{alim}$ : huella ecológica de los alimentos consumidos por la mano de obra (hag)

$h_t$ : horas totales trabajadas por la mano de obra anualmente (h/año)

$h_d$ : horas por jornada laboral (8h/día)

$F_{calim}$ : Factor consumo alimentos en obra, 0,61: Porcentaje correspondiente con el desayuno y el almuerzo sobre el total de alimentos ingeridos diariamente por una persona adulta en España (61

$HE_{com}$ : huella ecológica de la comida ingerida en un año por una persona española (hag/persona/año)

$d$ : días por año (365)

$FE_c$ : Factor de equivalencia de absorción de carbono (1,26 hag/ha)[42]



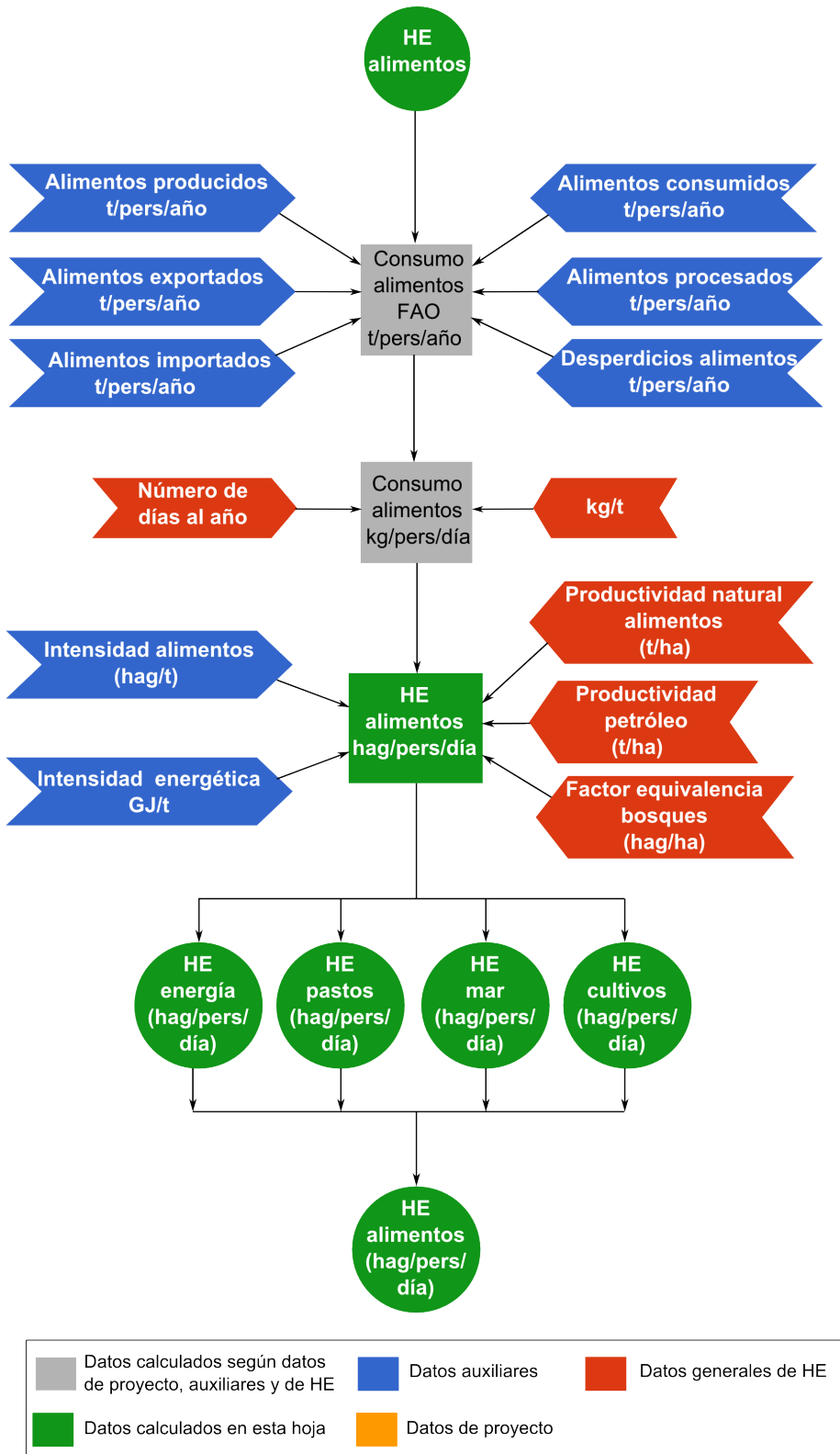


Figura 5.11: HE según fuentes de impacto: alimentos consumidos por los operarios

## RSU

En el desarrollo del modelo de la presente tesis se aplica la nueva metodología, el modelo actual tiene en cuenta que la generación de residuos por persona no se compute al completo a la obra sino igual que en la alimentación se calcula según las horas que comprende la jornada laboral. Para lo cual, se considera el impacto según las emisiones de CO<sub>2</sub> producidas en la gestión de dichos residuos. La cuantificación de los RSU se determina a partir de los siguientes datos:

- Cantidad de RSU generadas por persona al año en España. Se obtiene que en 2013 cada persona genera 449 kg [54].
- Para su aplicación al modelo es necesario saber la cantidad de RSU generado por hora y persona en España. Para ello se considera que la generación de RSU es durante 16 horas (considerando que cada persona duerme 8 horas), como propone Martínez-Rocamora [18], y así se obtiene una generación de 0.077 kg/h.
- Las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas por kg de RSU, según Almasi y Milios [**EuropeaRSU:2013**] el factor de emisiones es 0.244 tCO<sub>2</sub>/t.

La metodología de cálculo se expresa gráficamente en la Fig.5.9 y se calcula a través de la expresión 5.8:

$$HE_{RSU} = h_t RSU_g \left( \frac{1 - A_{oc}}{A_b} \right) FE_b \quad (5.8)$$

donde:

$HE_{RSU}$ : Huella ecológica de los RSU (gha)

$h_t$ : horas totales trabajadas por la mano de obra anualmente (h/año)

$RSU_g$ : RSU generado por hora (0.000077 t/h) (EUROSTAT 2015)

$A_{oc}$ : Reducción de emisiones debido a la absorción de los océanos (28 %) (0,28)[39]

$A_b$ : Factor de absorción de los bosques (3,59 tCO<sub>2</sub>/ha)[42]

$FE_c$ : Factor de equivalencia de absorción de carbono (1,26 hag/ha)[42]

### 5.6.3. Maquinaria

La maquinaria empleada en obra puede ser de dos tipos: alimentada por combustible, ya sea gasolina o gasóil o con electricidad. En ambos casos se necesita la cantidad de maquinaria empleada en la ejecución de la obra obtenida a partir de los PUS del BCRR. Además se evalúa el impacto producido por la maquinaria asociada a los costes indirectos. En la Fig. 5.12 se adjunta la metodología para el cálculo de su huella de forma gráfica.

En la metodología anterior, se incluía el impacto sólo de la maquinaria alimentada por combustible, de la cual se obtenía el coste total procedente del BCCR y se consideraba que un 20 % del mismo era destinado a combustible, y a partir del dato del coste en €/l se calculaba el consumo total en litros.

Como ya se ha comentado en el apartado de mano de obra también se evalúa el impacto de los operarios que manejan la maquinaria, las horas de dicha maquinaria serán, por tanto, las horas de la mano de obra que les corresponde.

#### Maquinaria de combustible

Para evaluar el impacto producido por la maquinaria de este tipo empleada en la construcción del proyecto se necesitan determinar los siguientes datos:

- Horas de maquinaria que se extrae de los PUS del BCRR.
- Potencia del motor de la máquina (kW) [20].
- Rendimiento de la máquina medido en l/kWh, siendo para motor de gasolina 0.30 a 0.40 l/kWh, y entre 0.15 y 0.20 l/kWh para gasoil [20].
- Consumo total de combustible de cada máquina en el cómputo global de la obra. En función de estos datos se obtiene, en primer lugar el consumo en kWh y finalmente el resultado del consumo total en litros, como desarrollan Freire y Marrero [20], y se representa en la Tabla 5.8.
- Factor de emisión del combustible (tCO<sub>2</sub>/l), definido anteriormente para el transporte. Al consumo total de combustible se le aplica el factor de emisión de tCO<sub>2</sub>/l que nos arroja las emisiones de CO<sub>2</sub> totales.

- Determinar las emisiones totales de CO<sub>2</sub> y obtener su resultado de huella medido en hag. Para obtener la huella se aplican los factores de emisión de bosques, descontando la absorción de los océanos, como ya se ha definido en los apartados anteriores y el factor de equivalencia de absorción de carbono para obtener el dato de HE en hag, lo cual se recoge en las expresiones 5.10 y 5.9.

Tabla 5.8: Ejemplo de cálculo del consumo de combustible de maquinaria

Código	Ud.	Maquinaria combustible CD	Cant. (h)	Pot. (kW)	Cons. (kWh)	Rend. (l/kWh)	Cons. (l)
ME00300	h	Pala cargadora	294	120	30.313	0,20	6.063
ME00400	h	Retroexcavadora	78	67	5.226	0,20	1.045
MK00100	h	Camión bascul.	711	250	177.747	0,20	35.549
MK00300	h	Carr. mec. bascul.	41	90,00	3.686	0,20	737
MR00200	h	Pisón mec. manual	51	2,60	133	0,40	53
<b>Total (BCRR)</b>			<b>1.134</b>		<b>217.104</b>		<b>43.447</b>
<b>Total mano obra maq.</b>			<b>1.134</b>				

$$C_{comb} = T_u P R \quad (5.9)$$

donde:

$C_{comb}$ : consumo de combustible en litros

$T_u$ : tiempo de uso de la maquinaria en los trabajos de obra (h)

$P$ : potencia del motor de la maquinaria (kW)

$R$ : rendimiento del motor de gasoil o gasolina (l/kWh)

$$HE_{mcomb} = C_{comb} E_g \left( \frac{1 - A_{oc}}{A_b} \right) FE_b \quad (5.10)$$

donde:

$HE_{mcomb}$ : huella del consumo de combustible (fósil) por la maquinaria (hag)

$C_{comb}$ : consumo de combustible en litros

$E_g$ : Factor de emisión del gasoil (0,0026 tCO<sub>2</sub>/l)

$A_{oc}$ : Reducción de emisiones debido a la absorción de los océanos (28 %) (0,28)[39]

$A_b$ : Factor de absorción de los bosques (3,59 tCO<sub>2</sub>/ha)[42]

$FE_c$ : Factor de equivalencia de absorción de carbono (1,26 hag/ha)[42]

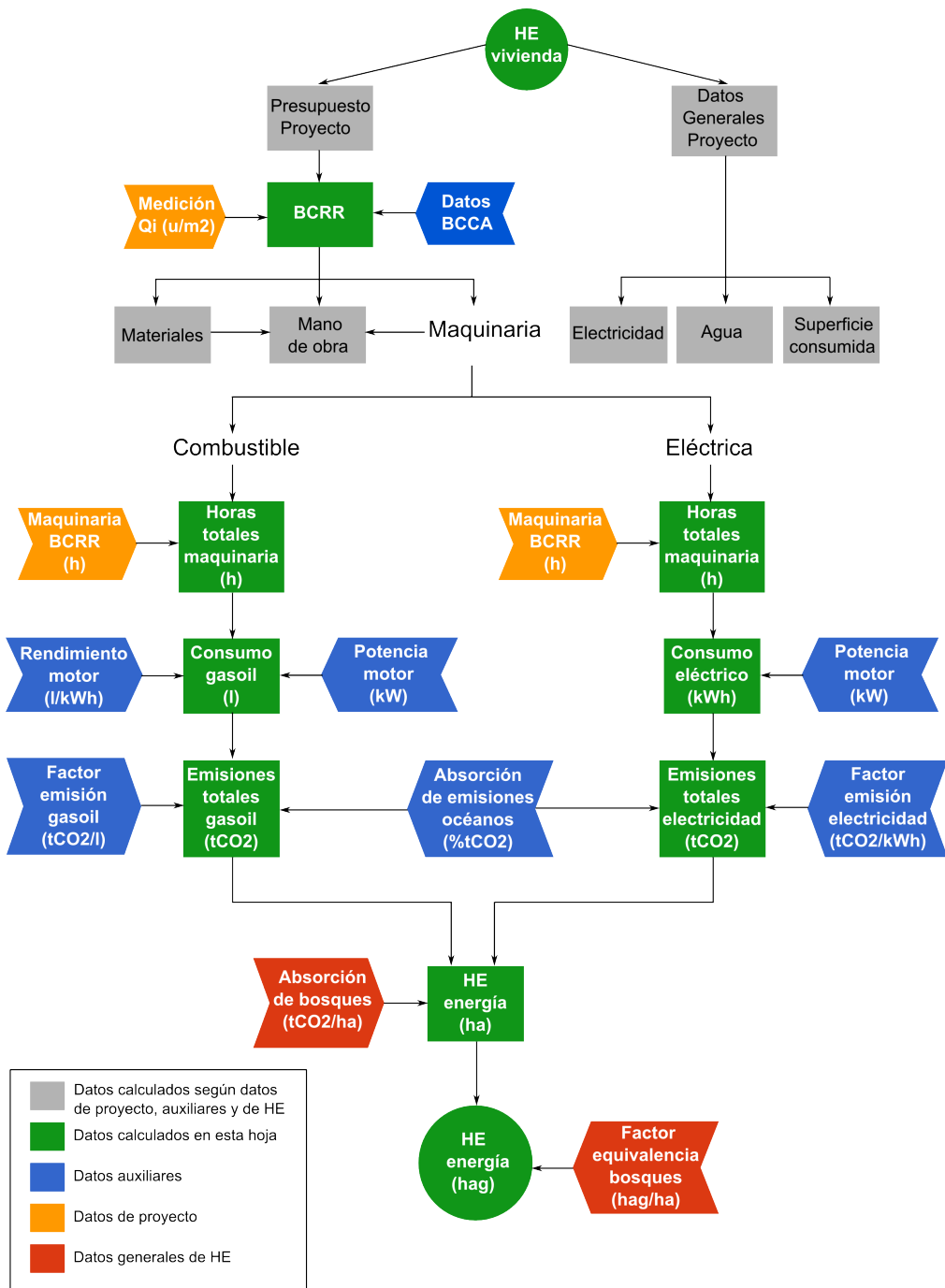


Figura 5.12: HE según fuentes de impacto: maquinaria

### Maquinaria eléctrica

Para obtener la huella de la maquinaria eléctrica utilizada para la ejecución del proyecto se necesitan los siguientes datos:

- Tiempo de empleo de la maquinaria, expresado en horas, que se extrae de los descompuestos de los PUS del BCCR.
- Potencia del motor de la máquina (kW) [20].
- Consumo total de cada maquinaria expresados en kWh. El proceso es similar al de la maquinaria de combustible, aplicamos las horas consumidas a la potencia del motor y se obtiene el consumo total en kWh, lo cual se desarrolla por Freire y Marrero [20] y se expresa en la ecuación 5.11. En la Tabla 5.9 se muestra un ejemplo de proyecto, dónde además del consumo de la maquinaria se muestran las horas totales de mano de obra asociada a ella.
- Factor de emisión de la electricidad (tCO<sub>2</sub>/kW). A partir del dato de consumo se aplica el factor de emisión de la electricidad para obtener las emisiones de tCO<sub>2</sub> totales, las cuales las define la Rede Eléctrica Española a partir del mix energético de la electricidad [55], lo cual se explica más detenidamente en el apartado de electricidad.
- Emisiones totales de CO<sub>2</sub> y el impacto producido de huella energética expresada en hag. Para obtener dicha huella se sigue el mismo procedimiento que en el resto de recursos, como se define en la expresión 5.12.

$$C_{elec} = T_u P \quad (5.11)$$

donde:

$C_{elec}$ : consumo eléctrico (kWh)

$T_u$ : tiempo de uso de la maquinaria en los trabajos de obra (h)

$P$ : potencia del motor de la maquinaria (kW)

$$HE_{melec} = C_{elec} E_{elec} \left( \frac{1 - A_{oc}}{A_b} \right) F E_b \quad (5.12)$$

donde:

Tabla 5.9: Ejemplo de cálculo del consumo de maquinaria eléctrica

Código	Ud.	Maquinaria eléctrica CD	Cantidad (h)	Potencia (kW)	Consumo (kWh)
MC00200	h	Compresor para proyectar	184	35,00	6.440
MV00100	h	Vibrador	709	0,50	355
<b>Total (BCRR)</b>			<b>893</b>		<b>6.795</b>
<b>Mano de obra maq.(h)</b>			<b>893</b>		

$HE_{melec}$ : huella ecológica de la maquinaria eléctrica (hag)

$C_{elec}$ : consumo eléctrico (kWh)

$E_{elec}$ : Factor de emisión de la electricidad (0.000248 tCO<sub>2</sub>/kWh) [55]

$A_{oc}$ : Reducción de emisiones debido a la absorción de los océanos (28 %) (0,28)[39]

$A_b$ : Factor de absorción de los bosques (3,59 tCO<sub>2</sub>/ha)[42]

$FE_c$ : Factor de equivalencia de absorción de carbono (1,26 hag/ha)[42]

#### 5.6.4. Electricidad

Determinar el consumo eléctrico de la obra en fase de proyecto, no es tarea fácil, por tanto hay que tener en cuenta que los valores determinados son siempre hipótesis de proyecto, que intentan acercarse el máximo a la realidad de la obra.

En la metodología anterior se utilizaban las fórmulas polinómicas [56] para determinar la energía de la obra, formada por combustible para maquinaria y el resto electricidad. Se aplicaba la productividad energética de las fuentes de energía y se deducía un 30 % por pérdidas energéticas desde que se produce la energía hasta que llega al punto de consumo [14].

En el modelo actual se cambia la estrategia para cuantifica el consumo de electricidad de la obra. Los datos necesarios para obtener el impacto producido por la electricidad aplicando la nueva metodología son los siguientes:

- Consumo eléctrico de la obra. En la nueva metodología se cuantifica a través de los costes indirectos, como desarrollan Freire y Marrero [21]. Para el cálculo del consumo eléctrico se utiliza el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT), según lo establecido en la ITC-BT-10 (RD842/2002) [57], dónde para uso comercial y de



oficinas se define un consumo de  $10 \text{ kW/m}^2$ . Se considera como hipótesis que la iluminación funciona 8 horas al día, 5 días por semana y 52 semanas al año. A partir de estos datos se obtiene el consumo total de electricidad en la obra, para ello se contabilizan:

- Consumos de casetas de obra: oficinas, comedor, vestuarios y aseos, comedor y almacenes.
  - Iluminación de la obra, lo cual se asocia a la superficie construida del proyecto y se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud definidas en el RD 486/1997, para los lugares de trabajo, considerando un nivel de iluminación mínimo de  $100 \text{ lumen/m}^2$  o  $0,0143 \text{ W/m}^2$  ( $\text{lumen} = 70 \text{ W}$ )
  - Pruebas de instalaciones, para lo cual se han analizado las facturas eléctricas de 30 proyectos facilitados por la compañía ENDESA, obteniendo los kWh totales consumidos por tipo de obra y superficie de parcela.
- Factor de emisión de kg de CO<sub>2</sub> por cada kWh de electricidad consumida. Una vez que obtiene el consumo en kW, se necesita el factor de emisiones de la electricidad, esto dependerá del mix energético de la electricidad de cada año y en cada país. En España en el año 2015 según la Red Eléctrica Española y como se representa en la Fig 5.13, donde se representan los porcentajes de las fuentes de producción de energía, siendo el porcentaje más alto la energía nuclear con 21.7 %, seguido del carbón con un 20.3 y la eólica con un 19,1 %, la hidráulica un 11.1 y ciclo combinado representa un 10 %, co-generación y resto suponen un 10.6 y en bastante menor proporción solar fotovoltaica, solar térmica y térmica renovable con valores de 3.1, 2.1 y 2 % respectivamente. Y las emisiones correspondientes son de  $0.000248 \text{ tCO}_2/\text{kW}$  final, este dato tiene en cuenta las pérdidas en el proceso de transporte de energía desde el origen hasta el punto de consumo final, por tanto ya no se utiliza el factor de reducción del 30 %.
- Huella de CO<sub>2</sub> y HE. Se obtienen los consumos totales a partir de las emisiones y aplicando la reducción del factor de absorción de océanos, finalmente a partir del factor de equivalencia de bosques o absorción de carbono, se obtiene el valor de la huella eléctrica, en huella energética expresada en hag, como se expresa en la fórmula 5.13.

El procedimiento para el cálculo de la huella de la electricidad se incluye además de forma gráfica en la Fig 5.14.

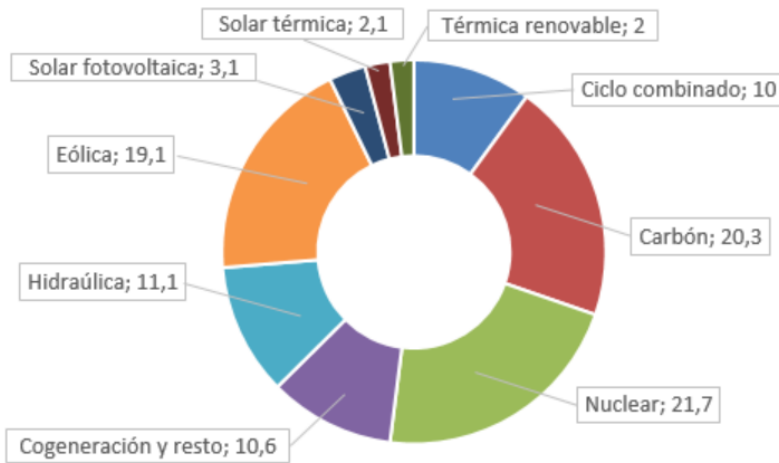


Figura 5.13: Mix energético de la electricidad en España en el año 2015

$$HE_{elec} = C_{elec}E_{elec} \left( \frac{1 - A_{oc}}{A_b} \right) FE_b \quad (5.13)$$

donde:

$HE_{elec}$ : huella ecológica de la electricidad (hag)

$C_{elec}$ : consumo eléctrico (kWh)

$E_{elec}$ : Factor de emisión de la electricidad (0.000248 tCO<sub>2</sub>/kWh) [55]

$A_{oc}$ : Reducción de emisiones debido a la absorción de los océanos (28 %) (0,28)[39]

$A_b$ : Factor de absorción de los bosques (3,59 tCO<sub>2</sub>/ha)[42]

$FE_c$ : Factor de equivalencia de absorción de carbono (1,26 hag/ha)[42]

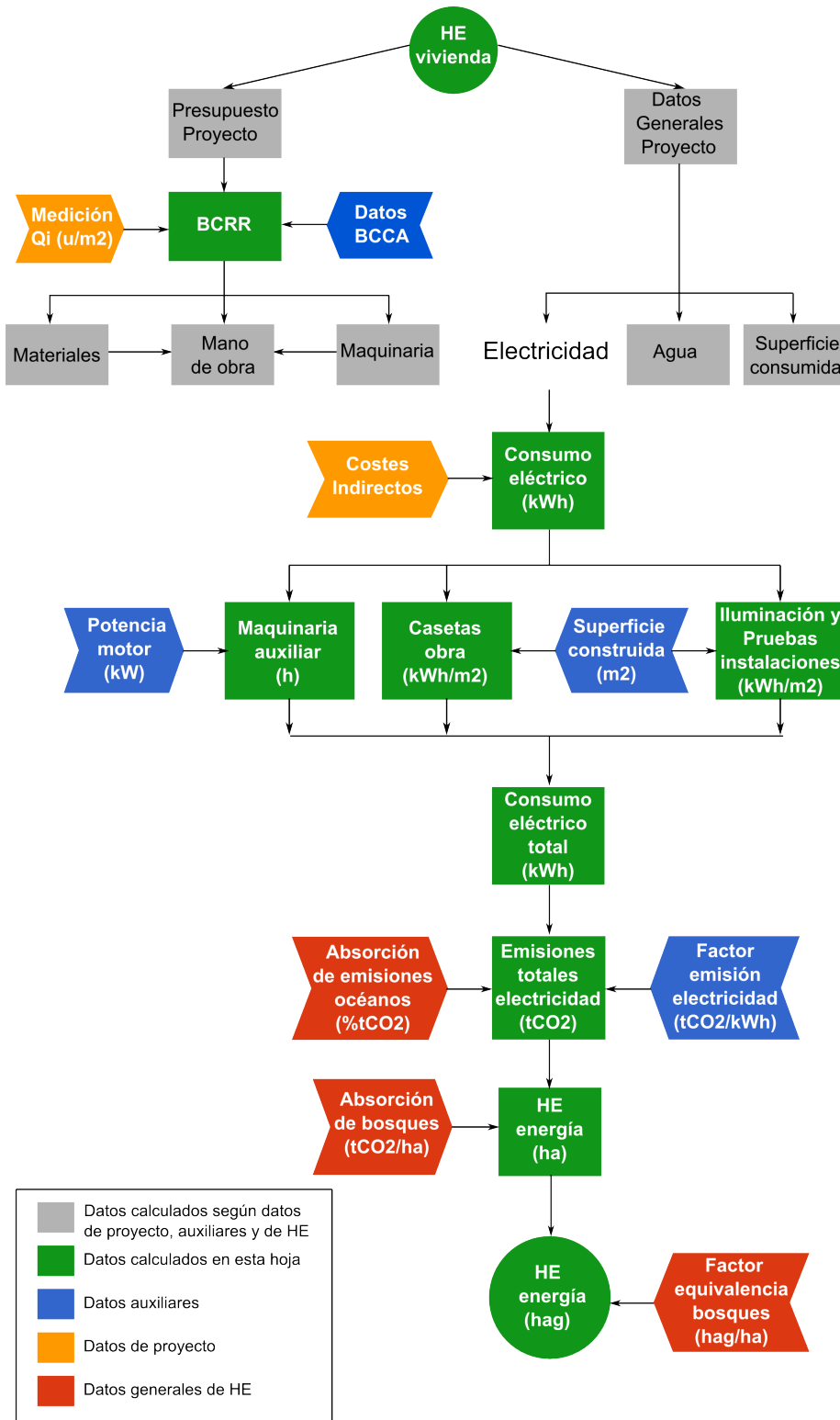


Figura 5.14: HE según fuentes de impacto: consumo de electricidad

### 5.6.5. Agua

La huella derivada del consumo del agua, en la metodología inicial propuesta por Solís-Guzmán et al., partía de los datos aportados por la factura de consumo de agua en obra y su importe. A partir de la misma se obtenía el consumo en  $\text{m}^3$  [12], en una revisión posterior realizada por González-Vallejo et al [13] se incluyen los datos de una investigación realizada que nos aporta los consumos reales de consumo de agua en obras de la tipología estudiada, se consiguen unos coeficientes de consumo de volumen de agua consumida ( $\text{m}^3$ ) por unidad de superficie construida ( $\text{m}^2$ ), durante el período de un año y en función de la tipología según el número de plantas.

En ambas investigaciones al dato de consumo se le aplicaba la productividad de los bosques ( $\text{m}^3/\text{ha}$ ), considerando que 1 ha de bosque produce  $1500 \text{ m}^3$  de agua dulce anualmente.

Sin embargo esta forma de imputar el agua al terreno de bosque no coincide con la metodología general de cálculo de HE desarrollado por la GFN [39], por tanto se propone cambiar el procedimiento, contabilizando la energía producida para poder consumir dicho recurso. Lo cual se desarrolla a continuación, para la nueva propuesta se requieren los siguientes datos:

- Consumo de agua en obra ( $\text{m}^3$ ), se mantiene el proceso de cálculo del consumo a partir de los  $\text{m}^3/\text{m}^2$  según los datos reales de obras de edificios de tipologías clasificados según el número de plantas sobre rasante [13], lo cual se adjunta en la Tabla 5.10.
- Energía consumida en las infraestructuras necesarias para que el agua llegue al punto final de consumo ( $\text{kWh}/\text{m}^3$ ), lo cual desarrolla Martínez-Rocamora [18], incluyendo los tratamientos previos y posteriores a su uso, como se especifica en la norma UNE-EN 15978:2012 [58]. Para obtener el dato final y tomando los datos de la factura que emite la compañía suministradora de aguas de Sevilla (EMASESA), el consumo de agua en el punto final incluye tres conceptos diferentes: abastecimiento, depuración y vertido, a cada de los cuales la misma compañía en el Informe de sostenibilidad [59], les asocia 0.05 al abastecimiento,  $0.07 \text{ kWh}/\text{m}^3$  para la potabilización y  $0.32 \text{ kWh}/\text{m}^3$  a la depuración de aguas residuales, por lo tanto el total sería la suma de los tres conceptos, es decir  $0.44 \text{ kWh}/\text{m}^3$ .
- Emisiones de la energía consumida ( $\text{tCO}_2/\text{kWh}$ ), correspondiente a la electricidad ya definida anteriormente.

Tabla 5.10: Cálculo del consumo del agua en obra según tipologías[13]

Tipologías según número de plantas sobre rasante	Media consumos (m <sup>3</sup> /año/m <sup>2</sup> )
1	0,297
2	0,240
3	0,129
4	0,150
5	0,150
10	0,068

Todo el procedimiento se representa gráficamente en la Fig. 5.15, y se calcula a través de las expresiones 5.14 y 5.15.

$$C_{agua} = F_{cagua} S_c \quad (5.14)$$

donde:

$C_{agua}$ : consumo de agua (m<sup>3</sup>)

$S_c$ : superficie construida (m<sup>2</sup>)

$F_{cagua}$ : Factor de consumo de agua por tipologías (m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>)

$$HE_{agua} = C_{agua} IE_{agua} E_{elec} \left( \frac{1 - A_{oc}}{A_b} \right) FE_b \quad (5.15)$$

donde:

$HE_{agua}$ : huella ecológica de la electricidad (hag)

$C_{agua}$ : consumo de agua (m<sup>3</sup>)

$IE_{agua}$ : Intensidad energética para el consumo de agua (0,44 kWh/m<sup>3</sup>)

$E_{elec}$ : Factor de emisión de la electricidad (tCO<sub>2</sub>/kWh)

$A_{oc}$ : Reducción de emisiones debido a la absorción de los océanos (28 %) (0,28)[39]

$A_b$ : Factor de absorción de los bosques (3,59 tCO<sub>2</sub>/ha)[42]

$FE_c$ : Factor de equivalencia de absorción de carbono (1,26 hag/ha)[42]

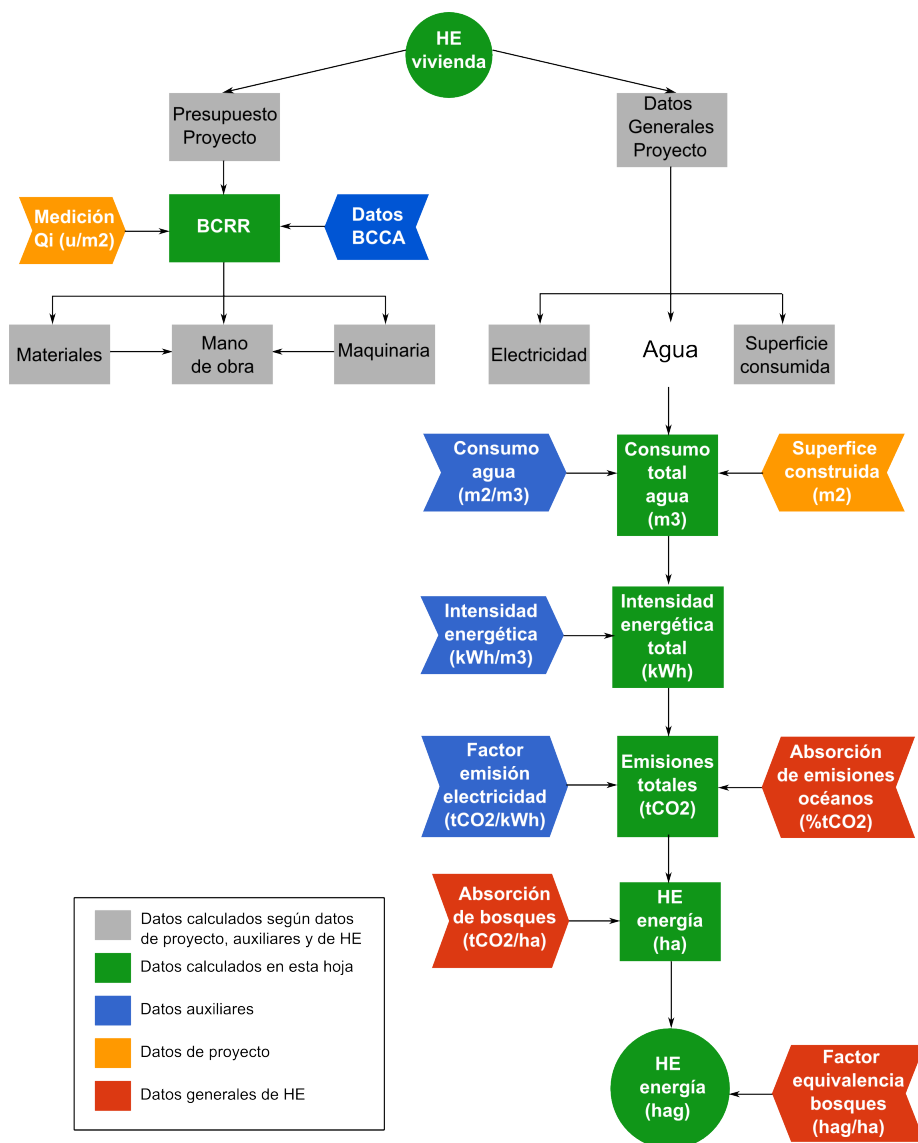


Figura 5.15: HE según fuentes de impacto: consumo de agua

### 5.6.6. Superficie consumida

La huella de ocupación directa se calcula en función de la superficie consumida por el edificio, en nuestro caso se obtiene de la base de datos de los 97 proyectos, a la cual se le aplica el factor de equivalencia de absorción de carbono. Ésta se cuantifica en la fase de construcción del edificio se contabiliza una vez y permanece constante a lo largo de toda la vida útil del edificio. Se evalúa el impacto por utilizar un terreno de

cultivos y transformarlo para la construcción de infraestructuras [5], no se considera la posibilidad de que pueda ser un terreno no fértil, lo cual podría ser una opción.

Se representa gráficamente en la Fig. 5.16 y se calcula mediante la expresión 5.16.

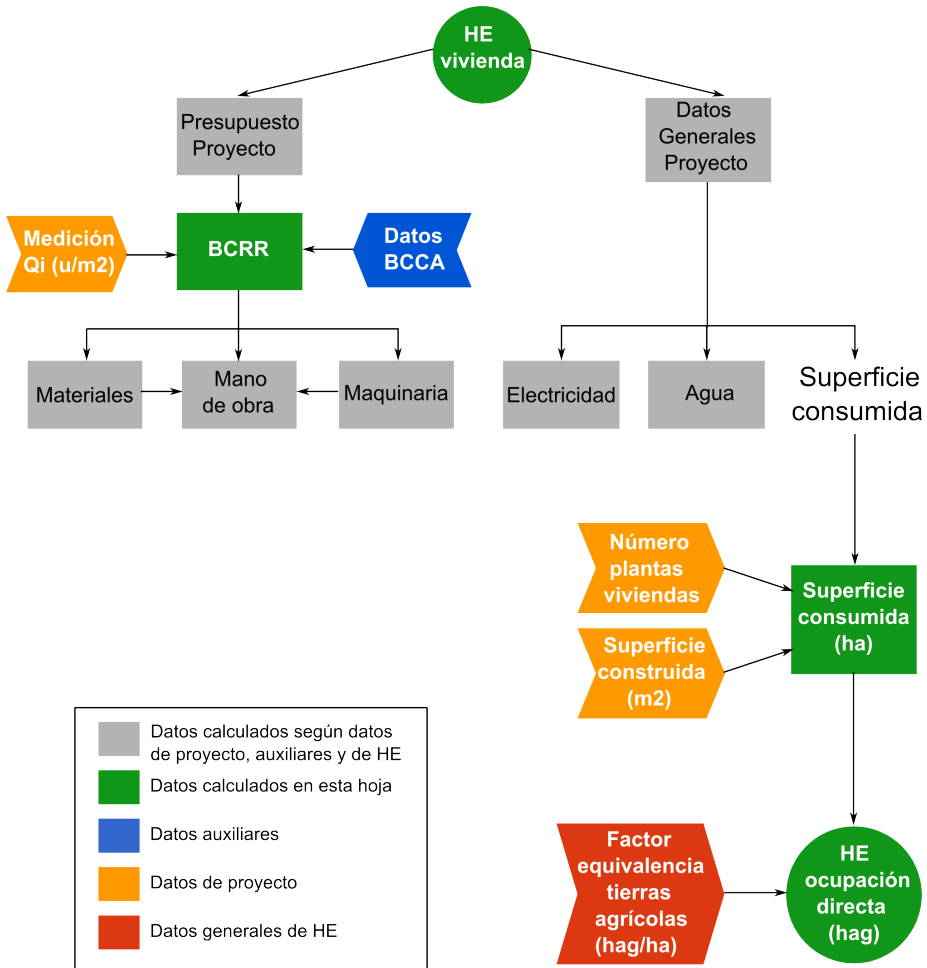


Figura 5.16: HE según fuentes de impacto:superficie consumida

$$HE_{sup} = SFE_b \quad (5.16)$$

donde:

$HE_{sup}$ : huella ecológica de la superficie consumida (hag)

$S$ : superficie ocupada ( $m^2$ )

$FE_c$ : Factor de equivalencia de absorción de carbono (1,26 hag/ha)[42]



## Capítulo 6

# Aplicación a España

Partiendo del desarrollo del modelo aplicado al caso de España se pretende que éste además sea lo suficientemente versátil como para poder utilizarlo en la evaluación de diferentes tipologías y sistemas constructivos, así como aplicarlo a edificaciones localizadas en otros países.

## 6.1. Selección de tipologías de viviendas

Como el objetivo del modelo es que sea aplicable a diferentes tipologías de proyectos, se introduce esta primera etapa de selección de tipología de viviendas localizando qué es lo que más se ha construido en España estos últimos años y poder así basar el presente modelo según los resultados de este análisis. Los pasos a seguir son los siguientes:

- Situación del sector de la construcción.
- Cuales son los edificios que se han construidos entre los años 2007 y 2010 en España, lo cual se estudiará a partir de datos estadísticos.
- Definición del modelo constructivo, lo cual es imprescindible para el modelo.
- Finalmente, con todo el estudio realizado, se determinan una selección de tipologías de viviendas, en función fundamentalmente de características tipológicas y constructivas.

Todo este proceso se desarrolla con detalle en los siguientes apartados.

### 6.1.1. Situación sector de la construcción.

Es preciso situar el marco de la construcción actual, para identificar los sistemas constructivos más utilizados y así poder definir una tipología de vivienda que represente la más construida de España en los últimos años.

No es fácil unificar las tipologías constructivas por Comunidades Autónomas (CC.AA.), ya que las diferentes climatologías y topografías tan dispares de nuestro país hacen tener que adaptar materiales y sistemas constructivos a cada lugar. Por esta razón seleccionar diez tipologías de viviendas representativas en España y así tener una visión más general, no es tarea sencilla.

Para llevar a cabo esta tarea se analizan varias fuentes, por un lado documentación procedente de organismos oficiales y por otro estudiar tesis doctorales y otros proyectos que han necesitado igualmente realizar un análisis previo para obtener una clasificación de edificios construidos

en España o en alguna Comunidad Autónoma (C.A.). o provincia en concreto, según tipologías, características constructivas o instalaciones, dependiendo de lo que requiera cada estudio. Los documentos estudiados son los siguientes:

- **Cuantificación de los recursos consumidos y emisiones de CO<sub>2</sub> producidas en las construcciones de Andalucía y sus implicaciones en el Protocolo de Kioto; 2010.** M<sup>a</sup> del Pilar Mercader Moyano.[60]

Este trabajo basa su estudio en la CCAA de Andalucía y en la primera fase tienen que elegir una muestra de tipo de edificio construido, en concreto, en la provincia de Sevilla, para lo cual utilizan las estadísticas del Ministerio de Fomento referentes a construcción de edificios, además de información obtenida de la Gerencia de Urbanismo de Sevilla. Una vez estudiada la documentación de referencia hace un tratamiento muy concreto de la información, el cual es muy similar al que necesitamos realizar en el presente trabajo, y por tanto nos ha facilitado el entendimiento de organización y exposición de la información que igualmente tenemos que analizar.

- **Instituto Nacional de Estadística (INE): Censo de población y viviendas. 2001.**[61]

En el INE se localiza la información tabulada, se selecciona la referente a viviendas y dentro de este apartado hay múltiples opciones donde finalmente se obtienen los siguientes datos interesantes para nuestro estudio:

- Localización: Comunidad Autónoma, municipio, datos sobre el municipio, provincia, tipo de zona y ámbito territorial.
- Régimen de tenencia: si es de propiedad o alquiler.
- Instalaciones en viviendas: si tienen o no calefacción, qué combustible se utiliza para la misma, si tiene refrigeración o no, el número de habitaciones y la superficie útil.
- Datos básicos del edificio: número de plantas bajo y sobre rasante, tipo de edificio, año de construcción, estado de conservación y clase de propietario.
- Datos de los contadores del edificio, se cuantifican: los huecos para la instalación de contadores, cantidad de viviendas, contadores colectivos, y locales.
- Datos de instalaciones del edificio: define si dispone o no de las instalaciones de ascensor, si es correcta la accesibilidad,

portería, disponibilidad o no de garaje y número de plazas de aparcamiento, gas, tendido telefónico, agua corriente, agua caliente y evacuación de aguas residuales.

Esta herramienta nos aporta datos importantes que podrían ayudar en nuestro estudio, sin embargo tiene dos inconvenientes: primero faltan datos para definir la tipología constructiva, ya que sólo se obtienen datos del número de plantas y de las instalaciones del edificio y parte de la vivienda; y el segundo inconveniente es que son datos hasta el año 2001, sin que estos hayan sido actualizados hasta el día de hoy. Por tanto, se necesita otra herramienta que aporte más información y más actualizada.

■ **Estadísticas del Ministerio de Fomento. Obras en edificación entre los años 2001-2005**, [62]

Estas estadísticas se obtienen a partir de los datos de visados de dirección de obra de los Colegios de Arquitectos Técnicos de España. La herramienta recoge la información estadística a nivel nacional y por CC.AA., está igualmente tabulada y se pueden obtener los siguientes datos:

- Tipo de obra, (nueva, ampliación y/o reforma o rehabilitación),
- Número edificios,
- Uso residencial o no residencial,
- Tipologías del uso residencial (unifamiliar, adosadas o aisladas, en bloque, o colectivos),
- Superficie a construir ( $m^2$ )
- Presupuesto de ejecución material.

La información que aporta este documento es interesante, y un dato importante que se puede obtener de esta fuente es el número de edificios construidos en España en ese período, y poder compararlos con los datos de los no residenciales. De esta manera se concluye, por ejemplo, que la mayor parte de edificios construidos han sido de tipo residencial, lo cual hace ver lo importante que es este tipo de edificios en España y justifica que el presente estudio de evaluación de la fase de construcción de edificios sea para el uso residencial. Sin embargo este documento es insuficiente, ya que no aporta datos referentes a sistemas constructivos, lo cual es imprescindible para el desarrollo del modelo y además existe otra fuente

que sí aporta estos datos pero más completos y actualizados. Se define a continuación:

- **Estadísticas del Ministerio de Fomento. Construcción de edificios entre los años 2007-2010 en España [26].**

De todas las fuentes que se analizan se decide utilizar las Estadísticas del Ministerio de Fomento y en particular la *Construcción de edificios entre los años 2007-2010 en España*, por ser la más completa y actualizada. Estos datos proceden de las licencias municipales de obra mayor concedidas por los ayuntamientos y para la redacción del mismo han colaborado: Delegaciones de Gobierno, algunas CC.AA., ayuntamientos y colegios profesionales y técnicos. Todo ello permite disponer de un conjunto de valiosos indicadores de la actividad de la edificación, así como la evolución del parque residencial. Esta información se presenta tabulada, como en las dos anteriores, son de nuestro interés los edificios de uso residencial que reflejan el número de viviendas total construidas en España por CC.AA. y provincias, clasificando la información según distintos indicadores como son el número de plantas o las tipologías constructivas.

Para concluir se destaca que esta última herramienta es la más completa y actualizada y engloba la información de los documentos anteriormente estudiados, además de ser la única que define la tipología constructiva de las viviendas.

También han sido objeto del estudio otros trabajos que igualmente han realizado una labor de selección inicial de tipologías de edificios, los cuales se enumeran a continuación:

- Escala de calificación energética para edificios existentes; 2011. IDAE [63].
- Obtención de las estadísticas necesaria para la escala de calificación de edificios existentes; 2011. AICIA Grupo Termotecnia [64].
- Situación del parque edificatorio en España, Proyecto CEREX [65].

### **6.1.2. Construcción de edificios entre los años 2007-2010 en España. Estadísticas del Ministerio de Fomento. Tratamiento de información.**

En este apartado se expondrá la información estudiada y seleccionada como hemos descrito anteriormente, y la cual hemos tratado según los

datos que se necesitan de la *Construcción de edificios 2007-2010*, de las Estadísticas del Ministerio de Fomento [26] y se presenta tabulada o en forma de gráficos, y a partir de la misma se avanza en la selección de las viviendas tipo más construidas en España.

Las hojas de estadísticas de las que se obtienen los datos constan de cuatro apartados principales. En primer lugar se cumplimenta el correspondiente a los datos generales, y en segundo lugar según la tipología de obra a la que se refiera. Los apartados se definen a continuación:

- A. Datos generales de la obra y del promotor.
- B. Edificación nueva planta.
- C. Obras rehabilitación (ampliación, reforma y/o restauración)
- D. Demolición

El estudio se centra en los dos primeros apartados, es decir, datos generales y edificaciones de nueva planta, y dentro de cada uno de ellos se desarrollan los puntos que nos interesan en la presente tesis.

- **Datos generales:**

- Datos promotor.
- Datos obra: situación, emplazamiento, plazos ejecución, etc.
- Número edificios construidos según uso y tipologías: Residencial o no residencial, etc.
- Tipo de obra: rehabilitación, demolición, nueva planta.
- Presupuesto de la obra.

- **Edificación de nueva planta:**

- Características edificios.
- Tipología constructiva
- Instalaciones edificios a construir.
- Energía instalada.
- Características de las viviendas.

Todos estos indicadores van a entregar la información necesaria para poder confeccionar la tipología de vivienda más construida en España. Para no extender demasiado este apartado, se presenta la información tabulada y en gráficos de los puntos más importantes y que después tienen aplicación directa en el novedoso modelo de evaluación económico y ambiental. Son los siguientes:

- Tipo de obra, según uso y tipología
- Características de los edificios
- Tipología constructiva
- Instalaciones
- Características de las viviendas

Estos son los cinco indicadores que se consideran de mayor importancia, los cuales se detallan a continuación. El resto de la información que se recoge a partir de las Estadísticas de Fomento en los apartados: obra de nueva planta y uso residencial, se han estudiado y tratado, sin embargo no se desarrollan en esta sección para no extender demasiado el análisis, todo ello se refleja en las tablas finales para la definición de características de las viviendas construidas y la selección de las viviendas tipo.

- **Tipo de Obra según uso y tipología:**

Según el tipo de obra tenemos la siguiente clasificación:

- Rehabilitación
- Demolición
- Nueva planta

En este caso se estudian los edificios de uso residencial, los cuales a su vez se clasifican:

- Destinados a vivienda: con una vivienda (aislados, adosados o pareados), con dos o más viviendas.
- Destinados a vivienda colectiva: permanente (residencias, colegios mayores, etc.) o eventual (hoteles, hostales, etc.)

En la tabla 6.1 se reflejan los datos referentes a los edificios construidos tanto de nueva planta como de rehabilitación y demolición. Los edificios a rehabilitar y los que hay que demoler representan un número muy inferior a los construidos de nueva planta, por lo tanto se justifica así que el estudio verse sobre los edificios de nueva planta.

NÚMERO DE EDIFICIOS SEGÚN TIPO DE OBRA.								
AÑO	EDIFICIOS DE NUEVA PLANTA					EDIFICIOS A DEMOLER O REHABILITAR		
	Total edificios nueva planta	EDIFICIOS USO RESIDENCIAL				Edificios uso no residenc.	Edificios a rehabilitar	Edificios a demoler
		Total edificios uso residenc.	Vivienda familiar	Residencia colectiva permanente	Residencia colectiva eventual			
2006	230.044	208.631	208.016	306	309	21.413	35.856	2.848
2007	187.147	166.322	165.833	197	292	20.825	33.359	26141
2008	93.678	79.752	79.467	126	159	13.926	34.807	14.573
2009	51.744	39.564	39.349	102	113	12.180	33.267	7.984
2010	44.781	35.110	34.317	183	610	9.671	31.910	8.084
TOTAL	607.394	529.379	526.982	914	1.483	78.015	169.199	59.630

Tabla 6.1: Número de edificios según tipo de obra. Elaboración propia a partir de los datos obtenidos del Ministerio de Fomento.

En la tabla 6.2 se refieren los porcentajes de los datos presentados en la primera, representando sólo los datos de los edificios de nueva planta. Así se puede observar que los edificios residenciales presentan un 84 % frente al 16 % de los edificios no residenciales, lo cual justifica porque se centra en ellos el presente estudio como ya se dijo anteriormente en los edificios de nueva planta a partir de los datos de esta tabla de uso residencial.

PORCENTAJE NÚMERO DE EDIFICIOS SEGÚN TIPO DE OBRA.						
EDIFICIOS DE NUEVA PLANTA						
AÑO	Total edificios nueva planta	EDIFICIOS USO RESIDENCIAL				Edificios uso no residencial
		Total edificios uso residencial	Vivienda familiar	Residencia colectiva permanente	Residencia colectiva eventual	
2006	100%	90,69%	90,42%	0,13%	0,13%	9,31%
2007	100%	88,87%	88,61%	0,11%	0,16%	11,13%
2008	100%	85,13%	84,83%	0,13%	0,17%	14,87%
2009	100%	76,46%	76,05%	0,20%	0,22%	23,54%
2010	100%	78,40%	76,63%	0,41%	1,36%	21,60%
MEDIA	100%	83,91%	83,31%	0,20%	0,41%	16,09%

Tabla 6.2: Porcentajes de número de edificios según tipo de obra. Elaboración propia a partir de los datos obtenidos del Ministerio de Fomento.

- **Características edificios:**



En primer lugar vamos a definir cómo son los edificios de tipo residencial, destinados a viviendas más construidos en España, para más adelante describir las viviendas. Estas son las características a partir de las cuales se definen dichos edificios:

- Número de edificios
- Número plantas sobre y bajo rasante
- Superficie total a construir ( $m^2$ )
- Volumen total a construir ( $m^3$ )
- Número total de viviendas
- Número total de plazas de garaje

El número de plantas sobre y bajo rasante, es la característica más importante dentro de este apartado ya que define la tipología de los edificios que se construyen en España, los cuales a su vez, definen el urbanismo y la morfología de los núcleos urbanos, y es un factor que como se verá se justificará más adelante en el presente trabajo, es determinante para evaluación económica y ambiental de cada edificio. Por tanto, se reflejan los datos obtenidos en la tabla 6.3 y en dos gráficas donde se diferencian el número de plantas sobre rasante, en la figura 6.4 y el número de plantas bajo rasante, en la figura 6.5.

Como conclusión importante a partir de los datos de este indicador y que se reflejan en la tabla 6.3 y en la figura 6.4, se puede afirmar que hay un mayor porcentaje de edificios construidos en España que tienen entre 4 y 5 plantas de altura sobre rasante con valores del 31 % y a continuación le siguen las viviendas en edificios de 2 plantas sobre rasante (24 %), los edificios que tienen 6 plantas o más sobre rasante (21 %) y los de 3 plantas sobre rasante (19 %) tienen valores muy similares, y en mucha menor proporción (6 %) las viviendas de 0 a 1 plantas sobre rasante.

VIVIENDAS SEGÚN NÚMERO DE PLANTAS SOBRE Y BAJO RASANTE DEL EDIFICIO								
AÑOS	Plantas sobre rasante					Plantas bajo rasante		
	0 y 1	2	3	4 y 5	6 ó más	0	1	2 ó más
2007	3,72%	23,96%	22,82%	33,13%	16,38%	22,36%	51,87%	25,77%
2008	5,23%	23,81%	19,63%	32,31%	19,01%	24,90%	45,08%	30,02%
2009	5,94%	21,19%	19,16%	29,50%	24,20%	23,37%	45,44%	31,19%
2010	8,16%	26,30%	14,87%	28,00%	22,67%	27,51%	40,69%	31,80%
MEDIA	5,76%	23,81%	19,12%	30,74%	20,56%	24,54%	45,77%	29,69%

Tabla 6.3: Viviendas según número de plantas sobre y bajo rasante del edificio. Elaboración propia a partir de los datos obtenidos del Ministerio de Fomento

En los edificios con plantas bajo rasante construidos en España en el período estudiado como se ve en la figura 6.5, dónde se refleja que la mayor parte de los edificios tienen al menos una planta bajo rasante (46%) y también que hay un porcentaje alto de edificios que tienen 2 plantas o más bajo rasante (30%) y un 25% que no tienen ninguna planta bajo rasante. Estos datos servirán más adelante para los primeros cálculos de evaluación económica y ambiental.

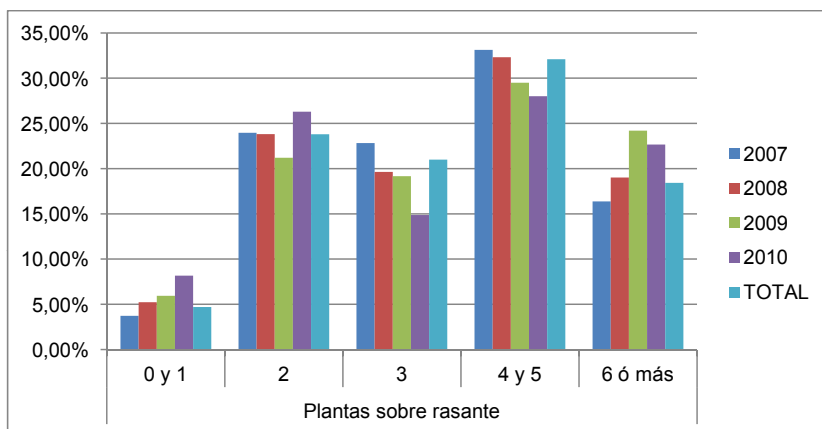


Tabla 6.4: Porcentajes de número de viviendas según número de plantas sobre rasante del edificio. Elaboración propia a partir de los datos obtenidos del Ministerio de Fomento

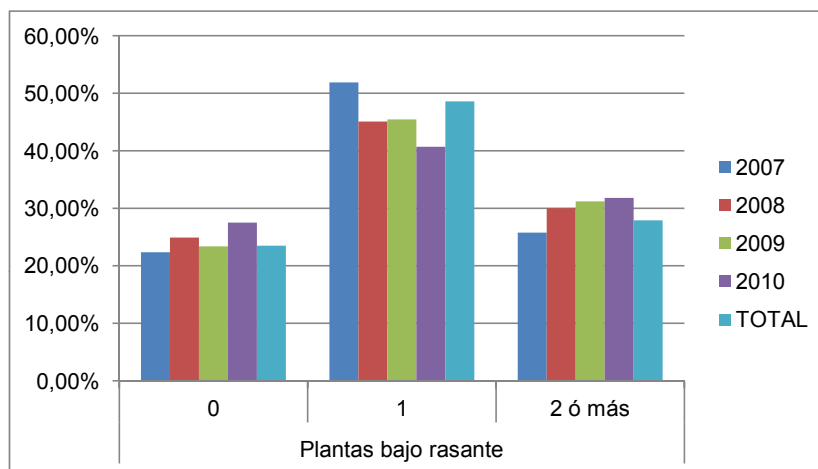


Tabla 6.5: Porcentajes número de viviendas según número de plantas bajo rasante del edificio. Elaboración propia a partir de los datos obtenidos del Ministerio de Fomento

#### ■ Tipología constructiva:

A continuación se presenta la documentación analizada y tratada para definir la tipología constructiva de los edificios más utilizada en España en el periodo estudiado. La información se irá presentando tabulada según los datos seleccionados, para edificios de uso residencial y de nueva planta como ya se ha definido, está clasificada según los siguientes apartados:

- Estructuras
- Cubiertas
- Cerramientos exteriores
- Carpintería exterior

Se comienza definiendo la tipología constructiva según estructura y cubierta, lo cual se representa en la tabla 6.6, y que a su vez se clasifica:

- Estructura:
  - Vertical: hormigón armado, metálica, muros de carga, mixtas y otros.
  - Horizontal: unidireccional, otros.
- Cubierta:

- Plana
- Inclínada

En la tabla 6.6 se presentan los porcentajes de edificios de uso residencial según su tipología constructiva, en particular según estructura y tipo de cubierta. Se observa que en el periodo de años estudiados los valores son muy similares, y así se puede ir definiendo la tipología constructiva más común en España los últimos años. En estructura vertical la más utilizada es el hormigón armado, con valores del 73 % , muy superiores a los valores de los otros sistemas. En estructura horizontal se construye con forjados unidireccionales en un valor muy superior a otros tipos, 84 %. En cubierta se construye más la inclinada con unos valores del 67 %, aunque este es un indicador que depende sobre todo de la zona de España en la que se esté construyendo.

EDIFICIOS DE NUEVA PLANTA SEGÚN TIPOLOGÍA CONSTRUCTIVA. USO RESIDENCIAL								
AÑO	ESTRUCTURA VERTICAL				ESTRUCTURA HORIZONTAL		CUBIERTA	
	Hormigón armado	Metálica	Muros de carga	Mixta y otros	Unidirec.	Otros	Plana	Inclinada
2007	75,18%	4,79%	14,94%	5,09%	82,74%	17,26%	32,26%	67,73%
2008	74,44%	4,99%	15,46%	5,11%	84,44%	15,56%	31,91%	68,09%
2009	71,02%	6,62%	15,57%	6,79%	86,83%	13,17%	33,17%	66,83%
2010	72,38%	5,74%	14,73%	7,15%	83,38%	16,62%	35,31%	64,69%
MEDIA	73,26%	5,54%	15,17%	6,03%	84,34%	15,66%	33,16%	66,83%

Tabla 6.6: Porcentajes de número de edificios según tipología constructiva. Uso residencial. Estructuras. Elaboración propia a partir de los datos obtenidos del Ministerio de Fomento.

Para terminar de definir la tipología constructiva según las estadísticas del Ministerio de Fomento presentamos los datos sobre cerramiento exterior y carpintería exterior, que se define a su vez en los siguientes tipos:

- Cerramiento exterior:
  - Cerámico.
  - Pétreos.
  - Revestimiento continuo.
  - Otros.

- Carpintería exterior:
  - Madera.
  - Aluminio.
  - Plástico.
  - Chapa y otros.

Lo cual se define en la siguiente tabla 6.7 donde se refleja el porcentaje del número de edificios de uso residencial clasificados según la tipología constructiva y según el cerramiento exterior y la carpintería exterior utilizada. Así se puede observar que el cerramiento exterior más utilizado, es el cerámico con valores de un 50 %, a continuación el revestimiento continuo 34 %, y en tercer lugar el cerramiento de tipo pétreo 12 %, se observa, por tanto, que en cuanto a los cerramientos exteriores hay más variedad, ya que los valores están más repartidos, esto también está influido según la zona de España en función de la climatología, material propio de la zona, etc. En cuanto a carpintería exterior no sucede igual, ya que el aluminio se coloca en la mayor parte de los edificios con valores entre el 84 % frente a la madera, plásticos y otros tipos de material que no alcanzan valores superiores al 9 %.

EDIFICIOS DE NUEVA PLANTA SEGÚN TIPOLOGÍA CONSTRUCTIVA. USO RESIDENCIAL								
AÑO	CERRAMIENTO EXTERIOR				CARPINTERÍA EXTERIOR			
	Cerámico	Pétreos	Revestim. continuo	Otros	Madera	Aluminio	Plástico	Chapa de acero y otros
2007	53,58%	10,14%	32,73%	3,55%	7,90%	86,02%	5,42%	0,60%
2008	48,56%	13,85%	34,05%	3,53%	9,16%	83,90%	6,26%	0,68%
2009	46,53%	12,31%	36,75%	4,41%	8,69%	81,77%	8,78%	0,76%
2010	49,97%	12,90%	31,89%	5,24%	7,47%	82,68%	8,61%	1,24%
MEDIA	49,66%	12,30%	33,86%	4,18%	8,30%	83,59%	7,27%	0,82%

Tabla 6.7: Porcentajes de número de edificios según tipología constructiva. Uso residencial. Cerramiento y Carpintería. Elaboración propia a partir de los datos obtenidos del Ministerio de Fomento.

#### ■ Instalaciones:

Es igualmente importante para determinar el impacto económico y ambiental, y para definir la tipología de las viviendas construidas, caracterizar sus instalaciones. Las cuales se definen a continuación:

- Evacuación de aguas residuales

- Suministro de agua potable
- Agua caliente
- Calefacción
- Refrigeración
- Ascensores y/o montacargas
- Tratamiento aguas residuales
- Tratamiento otros residuos

La última tabla que se presenta, por tanto, en este apartado se refiere a las instalaciones, tabla 6.8 donde se pueden obtener conclusiones interesantes ya que hay instalaciones que se colocan casi en el 100 % de los casos, es decir, que se consideran básicas e indispensables para una vivienda, tales como evacuación de aguas residenciales, suministro de agua potable y agua caliente. Otras instalaciones se colocan en menos casos, pero igualmente tienen un porcentaje alto, como la calefacción, con valores de un 65 % y ascensor y/o montacargas (68 %). El resto de instalaciones se van colocando en menor cantidad, considerándose para viviendas y edificios de mayor calidad, tales como la refrigeración (18 %), o tratamientos de aguas residuales (7 %) y residuos (2 %). Hay instalaciones como la calefacción y la refrigeración que dependiendo de la zona de España donde se encuentre el edificio será de mayor prioridad una u otra, como por ejemplo en Burgos la calefacción o en Sevilla la refrigeración. Las instalaciones de tratamientos de aguas residuales y de residuos, presentan unos valores muy bajos, sin embargo se observa como aspecto positivo, que al menos el valor ha ido subiendo a lo largo de los años estudiados, aunque no lo suficiente.

PORCENTAJE DE NUMERO DE VIVIENDAS EN EDIFICIOS SEGÚN INSTALACIONES								
AÑO	Evacuación aguas residuales	Suministro agua potable	Agua caliente	Calefacción	Refrigeración	Ascensores y/o montacargas	Tratamiento aguas residuales	Tratamiento otros residuos
2007	100%	100%	95,13%	60,85%	17,74%	70,90%	3,88%	1,10%
2008	99,94%	99,93%	96,19%	64,06%	19,15%	69,43%	6,28%	1,67%
2009	99,89%	99,90%	96,95%	67,43%	14,23%	69,78%	7,90%	3,79%
2010	100%	99,99%	97,08%	66,12%	20,65%	63,27%	8,41%	2,34%
MEDIA	99,96%	99,95%	96,34%	64,62%	17,94%	68,34%	6,62%	2,22%

Tabla 6.8: Porcentajes de número de edificios según tipología constructiva. Uso residencial. Cerramiento y Carpintería. Elaboración propia a partir de los datos obtenidos del Ministerio de Fomento

### ■ Características de viviendas

En las hojas estadísticas hay que indicar, en el caso de edificios de 2 ó más viviendas, el número de viviendas que se construyen en cada edificio y cuantas de ellas con las mismas características se repiten. Así se aportan además de datos del número de edificios construidos, otros como el número de viviendas construidas tanto si son unifamiliares como si pertenecen a edificios plurifamiliares.

Para tener una visión más completa, en este último apartado se aportan aspectos que definen mejor la tipología de viviendas construidas, se enumeran a continuación:

- Superficie útil por vivienda
- Número de habitaciones por vivienda (incluidos cocina y baños)
- Número de baños y aseos
- Número de viviendas iguales
- Acabados interiores

Con estos datos se pueden definir la tipología de viviendas, a continuación se presentan los datos del acabado interior, que influyen en la tipología constructiva que se quiere definir.

- Los acabados interiores se definen según:
  - Solería: puede ser cerámica, pétreo, madera y otros. La más utilizada es la solería cerámica (%53), en más de la mitad de las viviendas, en segundo lugar se instala madera (%29) y en tercer lugar la pétreo(%15), otros materiales se colocan en muy pocos casos (%3).
  - Carpintería interior: madera y otros. Casi en el 100% de los casos se coloca carpintería de madera.
  - Falso techo: si tiene o no. Un 76% de las viviendas tienen falso techo.
  - Instalación de persianas: si se instalan o no. Prácticamente todas las viviendas tienen persianas (93%).

PORCENTAJE DE NÚMERO DE VIVIENDAS SEGÚN ACABADO INTERIOR								
AÑO	Solería				Carpintería Interior		Con falso techo	Con instalación de persianas
	Cerámico	Pétreo	Madera	Otros	Madera	Otros		
2007	57,28%	14,49%	27,25%	0,98%	98,47%	1,53%	75,81%	94,32%
2008	51,88%	16,41%	28,76%	2,96%	98,49%	1,51%	75,38%	93,20%
2009	53,16%	15,76%	28,14%	2,94%	97,58%	2,42%	75,90%	93,04%
2010	51,23%	14,72%	30,55%	3,50%	97,62%	2,38%	77,96%	93,10%
MEDIA	53,39%	15,34%	28,68%	2,60%	98,04%	1,96%	76,26%	93,42%

Tabla 6.9: Acabado interior viviendas. Elaboración propia a partir de los datos obtenidos del Ministerio de Fomento

Como conclusión de este apartado de estudio y tratamiento de información, se puede decir que las tablas del Ministerio de fomento aportan mucha información, aunque en algunos casos la información no es de utilidad para esta investigación al no diferenciar las tipologías de viviendas unifamiliar y edificios plurifamiliares, lo cual nos lleva a obtener datos porcentuales erróneos. Por tanto se ha realizado la selección de la información que se ajusta al indicador estudiado en cada caso.

Es clara la mayor construcción de edificios de nueva planta y de uso residencial, también se puede observar como en el último año que reflejan los datos, que es el 2010, ya se comienza a notar el descenso en la construcción no sólo de esta tipología sino también del resto, lo cual refleja el comienzo de la crisis en el sector, de la cual todavía se está recuperando.



### 6.1.3. Definición del modelo constructivo

A continuación, y a partir de los datos analizados de las Estadísticas del Ministerio de Fomento se puede definir el modelo constructivo “más típico” de España, lo cual se refleja en las tablas 6.10 y 6.11, 6.12.6.13, 6.14, 6.15.

Primero se representan los datos que definen las tipologías de viviendas, tales como tipología de edificio, superficie, número de plantas, número de habitaciones y baños, plazas de garaje y el tipo de promoción y en segundo lugar los datos que definen la tipología constructiva, estructuras, cerramientos, cubiertas, carpintería, instalaciones, energía y acabado interior.

A partir del modelo constructivo y los otros datos obtenidos de las tablas Estadísticas de Ministerio de Fomento, que se han presentado en este apartado hace que se consiga una visión más completa, y a partir de ahí se pueda realizar la selección de los diez tipos de viviendas representativas de la construcción en España. Para realizar esta selección se calculan las medias porcentuales incluyendo la desviación estándar, para descartar las tipologías que se desvíen demasiado de la media.

En primer lugar se presentan la clasificación según el tipo de residencia, tipología del edificio, superficie útil, número de habitaciones y número de baños (ver tabla 6.10 ), la cual servirá para definir la tipología residencial y poder determinar el número de habitantes por vivienda y aplicarlo a los datos de evaluación económica y ambiental que se obtengan por unidad de superficie, lo cual se representará en el capítulo de resultados.

En la tabla 6.11, se clasifican los edificios de tipo residencial según el número de plantas sobre y bajo rasante, si el edificio cuenta o no con garaje y el tipo de promotor. Esta información es fundamental como ya se ha definido anteriormente, ya que el comienzo de nuestro análisis en edificación se basa en la tipología de edificios de viviendas según el número de plantas sobre rasante, ya que es el indicador que se ha considerado de mayor importancia, al que seguirán otros de tipo constructivo en posteriores estudios.

Las características constructivas son fundamentales para definir la tipología edificatoria y el impacto de los mismos en el análisis económico y ambiental, este será por tanto uno de los aspectos a desarrollar en investigaciones posteriores, ya que características como la cimentación, estructura y la envolvente son determinantes. Se definen a continuación en la tabla 6.12.

En la tabla 6.13 se define el acabado interior de las viviendas, estas variables no son tan determinantes, pero igualmente definen la tipología

PLANTILLA DE TIPOLOGÍAS DE VIVIENDAS CON PORCENTAJES Y DESVIACIÓN				
TIPO RESIDENCIA	TIPOLOGÍA EDIFICIO	SUPERFICIE ÚTIL (m <sup>2</sup> )	NÚMERO HABITACIONES	NÚMERO BAÑOS
UNIFAMILIAR (25/5)	AISLADO (10/3)	(181/8) m <sup>2</sup>	6 (100/0)	2 (25/0)
	ADOSADO (13/1)	(143/8) m <sup>2</sup>		3 (75/0)
	PAREADO (2/0)	(151/14) m <sup>2</sup>		
NO UNIFAMILIAR (75/5)	DOS O MÁS VIVIENDAS (75/5)	(72/1) m <sup>2</sup>	4 (100/0)	2 (100/0)
LEYENDA: (MEDIA PORCENTUAL / DESVIACIÓN ESTÁNDAR)				

Tabla 6.10: Variables que definen las viviendas tipo . Elaboración propia a partir de los datos obtenidos del Ministerio de Fomento

PLANTILLA DE TIPOLOGÍAS DE VIVIENDAS SEGÚN DATOS GENERALES CON PORCENTAJES Y DESVIACIÓN			
NÚMERO PLANTAS SOBRE RASANTE	NÚMERO PLANTAS BAJO RASANTE	PLAZAS GARAJE	PROMOCIÓN
1 (6/2)	0 (25/2)	SI (80/2)	SOCIEDAD MERCANTIL (69/12)
2 (24/2)			COOPERATIVAS, COMUNIDADES Y OTROS (7/4)
3 (19/3)	1 (46/5)		USO PROPIO (15/7)
4 y 5 (31/2)		PROMOTOR PRIVADO (7/1)	
6 ó MÁS (21/4)	2 ó MÁS (30/3)	NO (20/2)	PROMOCIÓN PÚBLICA (2/1)
LEYENDA: (MEDIA PORCENTUAL / DESVIACIÓN ESTÁNDAR)			

Tabla 6.11: Variables que definen las viviendas tipo . Elaboración propia a partir de los datos obtenidos del Ministerio de Fomento

PLANTILLA DE TIPOLOGÍAS DE VIVIENDAS CON PORCENTAJES Y DESVIACIÓN				
CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS				
ESTRUCTURA VERTICAL	ESTRUCTURA HORIZONTAL	CUBIERTA	CERRAMIENTO EXTERIOR	CARPINTERÍA EXTERIOR
HORMIGÓN (88/1)	UNIDIRECCIONAL (71/1)	PLANA (55/5)	CERÁMICO (54/2)	ALUMINIO (84/0)
METÁLICA (3/0)			PÉTREO (12/1)	MADERA (8/0)
MUROS CARGA (6/0)	OTROS (29/1)	INCLINADA (45/5)	REVESTIMIENTO (29/2)	PLÁSTICO (7/0)
MIXTA Y OTROS (3/1)			OTROS (5/1)	CHAPA DE ACERO Y OTROS (1/0)
LEYENDA: (MEDIA PORCENTUAL/DESVIACIÓN ESTÁNDAR)				

Tabla 6.12: Variables constructivas que definen las viviendas tipo . Elaboración propia a partir de los datos obtenidos del Ministerio de Fomento

constructiva y se incluyen por tanto en el presente estudio.

En cuanto a las instalaciones que se definen en la tabla 6.14 y la energía colocadas en los edificios de viviendas representada en la tabla 6.15, son fundamentales tanto en la definición de la tipología como para evaluar los impactos que produce.

PLANTILLA DE TIPOLOGÍAS DE VIVIENDAS CON PORCENTAJES Y DESVIACIÓN			
ACABADO INTERIOR			
SOLERÍA	CARPINTERÍA INTERIOR	FALSO TECHO	INSTALACIÓN DE PERSIANAS
CERÁMICA (53/3)	MADERA (98/0)	SI (76/1)	SI (93/1)
PÉTREA (15/1)			
MADERA (29/1)	OTROS (2/1)	NO (24/1)	NO (7/1)
OTROS (3/1)			
LEYENDA: (MEDIA PORCENTUAL/DESVIACIÓN ESTÁNDAR)			

Tabla 6.13: Variables constructivas que definen las viviendas tipo. Elaboración propia a partir de los datos obtenidos del Ministerio de Fomento

PLANTILLA DE TIPOLOGÍAS DE VIVIENDAS CON PORCENTAJES Y DESVIACIÓN							
INSTALACIONES EXISTENTES							
EVACUACIÓN AGUAS RESIDUALES	SUMINISTRO POTABLE	AGUA CALIENTE	CALEFACCIÓN	REFRIGERACIÓN	ASCENSOR Y/O MONTACARGAS	TRATAMIENTO AGUAS RESIDUALES	TRATAMIENTO RESIDUOS
(100/0)	(100/0)	(96/1)	(65/3)	(18/3)	(68/3)	(7/2)	(2/1)
(0/0)	(0/0)	(4/1)	(35/3)	(82/3)	(32/3)	(93/2)	(98/1)
LEYENDA:(MEDIA PORCENTUAL/DESVIACIÓN ESTÁNDAR)							

Tabla 6.14: Variables constructivas que definen las viviendas tipo . Elaboración propia a partir de los datos obtenidos del Ministerio de Fomento

PLANTILLA DE TIPOLOGÍAS DE VIVIENDAS CON PORCENTAJES Y DESVIACIÓN						
ENERGÍA INSTALADA						
ELECTRICIDAD	COMBUSTIBLE SÓLIDO	NATURAL	OTRO COMBUSTIBLE GASEOSO	COMBUSTIBLE LÍQUIDO	SOLAR	ENERGÍA
(100/0)	(2/0)	(44/3)	(5/1)	(5/1)	(60/19)	(1/1)
(0/0)	(98/0)	(56/3)	(95/1)	(95/1)	(40/19)	(99/1)
LEYENDA: (MEDIA PORCENTUAL/DESVIACIÓN ESTÁNDAR)						

Tabla 6.15: Variables constructivas que definen las viviendas tipo. Elaboración propia a partir de los datos obtenidos del Ministerio de Fomento

Como resultado del análisis se define el modelo constructivo más edificado los últimos años en España:

- Características constructivas
  - Estructura vertical de hormigón.
  - Estructura horizontal con forjado unidireccional
  - Cubierta plana, aunque no hay mucha diferencia con la cubierta inclinada
  - Cerramiento exterior cerámico
  - Carpintería exterior de aluminio
- Instalaciones existentes:
  - Evacuación aguas residuales
  - Suministro agua potable
  - Agua caliente
  - Calefacción
  - Ascensor y/o montacargas
- Energía instalada:
  - Electricidad
  - Energía solar
- Acabado interior:
  - Solería cerámica
  - Carpintería interior de madera
  - Falso techo
  - Persianas

#### 6.1.4. Elección de tipologías de viviendas

Se obtienen, por tanto, a partir de toda la información analizada y aquí expuesta la propuesta para las diez viviendas tipo más construidas en España, clasificadas según:

- Tipo de residencia
- Superficie útil
- Número de plantas sobre y bajo rasante
- Características constructivas

- Acabado interior
- Número de habitaciones y baños
- Instalaciones existentes
- Energía instalada
- Si tiene garaje o no
- Tipo de promotor, lo cual queda reflejado en la tabla correspondiente.

Según estas variables se puede concluir que la vivienda que mayoritariamente se ha construido entre los años 2007 y 2010 en España tiene las siguientes características:

- Vivienda plurifamiliar (dos o más viviendas).
- Son parte de un edificio de 4, 5, 6 o más plantas, con una planta bajo rasante (garaje).
- Estructura porticada de hormigón con forjado unidireccional.
- Cubierta inclinada o plana según la localización climática de la vivienda.
- Fachada cerámica vista.
- Solería cerámica.
- Falso techo e instalación de persianas.
- 4 habitaciones y 2 baños.
- Instalaciones: suministro y saneamiento de agua, agua caliente, calefacción y refrigeración, el edificio cuenta con ascensor.
- Energía: electricidad y energía solar.
- Promoción: sociedad mercantil.
- Superficie construida: 72 m<sup>2</sup>.

Con estas condiciones se buscarán proyectos de 10 tipos de viviendas (u otra cantidad pero siempre manteniendo la misma proporción) que reflejen esta tendencia y características, dichas tipologías se recogen en las tablas: Tab.6.16 y Tab.6.17.



PROPUESTA DE VIVIENDAS TIPO						
INDICADORES		VIVIENDAS				
		1	2	3	4	5
TIPO DE RESIDENCIA		UNIFAMILIAR	UNIFAMILIAR	NO UNIFAMILIAR	NO UNIFAMILIAR	NO UNIFAMILIAR
TIPOLOGÍA CONSTRUCTIVA DEL EDIFICIO		AISLADA	ADOSADA	DOS O MÁS VIVIENDAS	DOS O MÁS VIVIENDAS	DOS O MÁS VIVIENDAS
SUPERFICIE ÚTIL		181	143	72	72	72
Nº DE PLANTAS SOBRE RASANTE		1	2	2	3	3
Nº DE PLANTAS BAJO RASANTE		0	0	1	1	1
CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS	ESTRUCTURA VERTICAL	MUROS DE CARGA	HORMIGÓN	HORMIGÓN	HORMIGÓN	HORMIGÓN
	ESTRUCTURA HORIZONTAL	OTROS	OTROS	UNIDIRECCIONAL	UNIDIRECCIONAL	UNIDIRECCIONAL
	CUBIERTA	INCLINADA	PLANA	PLANA	INCLINADA	PLANA
	CERRAMIENTO EXTERIOR	REVESTIMIENTO	PÉTREO	OTROS	CERÁMICO	CERÁMICO
	CARPINTERÍA EXTERIOR	REVESTIMIENTO	PÉTREO	OTROS	CERÁMICO	CERÁMICO
ACABADO INTERIOR	SOLERÍA	CERÁMICA	CERÁMICA	PÉTREO	MADERA	CERÁMICA
	CARPINTERÍA INTERIOR	MADERA	MADERA	MADERA	MADERA	MADERA
	FALSO TECHO	NO	NO	SÍ	SÍ	SÍ
	INSTALACIÓN DE PERSIANAS	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ
Nº DE HABITACIONES		6	6	4	4	4
Nº DE BAÑOS		3	2	2	2	2
INSTALACIONES EXISTENTES	EVACUACIÓN AGUAS RESIDUALES	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ
	SUMINISTRO AGUA POTABLE	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ
	AGUA CALIENTE	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ
	CALEFACCIÓN	SÍ	SÍ	SÍ	NO	SÍ
	REFRIGERACIÓN	SÍ	NO	NO	NO	NO
	ASCENSOR / MONTACARGAS	NO	NO	NO	SÍ	SÍ
	TRATAMIENTO AGUAS RESIDUALES	NO	NO	NO	NO	NO
TRATAMIENTO OTROS RESIDUOS	NO	NO	NO	NO	NO	
ENERGÍA INSTALADA	ELECTRICIDAD	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ	SÍ
	COMBUSTIBLE SÓLIDO	NO	NO	NO	NO	NO
	GAS CIUDAD O NATURAL	NO	SÍ	NO	SÍ	NO
	OTRO COMBUSTIBLE GASEOSO	NO	NO	NO	NO	NO
	COMBUSTIBLE LÍQUIDO	NO	NO	NO	NO	NO
	ENERGÍA SOLAR	SÍ	NO	SÍ	NO	SÍ
	OTRO TIPO DE ENERGÍA	NO	NO	NO	NO	NO
PLAZAS DE GARAJE		NO	NO	SÍ	SÍ	SÍ
PROMOCIÓN		USO PROPIO	SOCIEDAD MERCANTIL	PRIVADO	COOP. Y OTROS	SOCIEDAD MERCANTIL

Tabla 6.16: Propuesta de viviendas tipo. Elaboración propia a partir de los datos obtenidos del Ministerio de Fomento

PROPUESTA DE VIVIENDAS TIPO						
INDICADORES		VIVIENDAS				
		6	7	8	9	10
TIPO DE RESIDENCIA		NO UNIFAMILIAR	NO UNIFAMILIAR	NO UNIFAMILIAR	NO UNIFAMILIAR	NO UNIFAMILIAR
TIPOLOGÍA CONSTRUCTIVA DEL EDIFICIO		DOS O MÁS VIVIENDAS	DOS O MÁS VIVIENDAS	DOS O MÁS VIVIENDAS	DOS O MÁS VIVIENDAS	DOS O MÁS VIVIENDAS
SUPERFICIE ÚTIL		70	72	72	72	72
Nº DE PLANTAS SOBRE RASANTE		4	5	5	6 ó MÁS	6 ó MÁS
Nº DE PLANTAS BAJO RASANTE		2	1	2	1	2
CARACTERÍSTICAS CONSTRUCTIVAS	ESTRUCTURA VERTICAL	HORMIGÓN	HORMIGÓN	HORMIGÓN	HORMIGÓN	HORMIGÓN
	ESTRUCTURA HORIZONTAL	OTROS	UNIDIRECCIONAL	UNIDIRECCIONAL	UNIDIRECCIONAL	UNIDIRECCIONAL
	CUBIERTA	PLANA	PLANA	INCLINADA	PLANA	INCLINADA
	CERRAMIENTO EXTERIOR	REVESTIMIENTO	PÉTREO	OTROS	CERÁMICO	CERÁMICO
	CARPINTERÍA EXTERIOR	REVESTIMIENTO	PÉTREO	OTROS	CERÁMICO	CERÁMICO
ACABADO INTERIOR	SOLERÍA	PÉTREA	CERÁMICA	MADERA	CERÁMICA	MADERA
	CARPINTERÍA INTERIOR	MADERA	MADERA	MADERA	MADERA	MADERA
	FALSO TECHO	SI	SI	SI	SI	SI
	INSTALACIÓN DE PERSIANAS	SI	SI	SI	SI	NO
Nº DE HABITACIONES		6	4	4	4	4
Nº DE BAÑOS		2	2	2	2	2
INSTALACIONES EXISTENTES	EVACUACIÓN AGUAS RESIDUALES	SI	SI	SI	SI	SI
	SUMINISTRO AGUA POTABLE	SI	SI	SI	SI	SI
	AGUA CALIENTE	SI	SI	SI	SI	SI
	CALEFACCIÓN	SI	SI	NO	SI	NO
	REFRIGERACIÓN	NO	NO	NO	SI	NO
	ASCENSOR / MONTACARGAS	SI	SI	SI	SI	SI
	TRATAMIENTO AGUAS RESIDUALES	NO	NO	NO	NO	SI
TRATAMIENTO OTROS RESIDUOS	NO	NO	NO	NO	NO	
ENERGÍA INSTALADA	ELECTRICIDAD	SI	SI	SI	SI	SI
	COMBUSTIBLE SÓLIDO	NO	NO	NO	NO	NO
	GAS CIUDAD O NATURAL	NO	NO	SI	NO	SI
	OTRO COMBUSTIBLE GASEOSO	NO	NO	NO	NO	NO
	COMBUSTIBLE LÍQUIDO	NO	NO	NO	NO	NO
	ENERGÍA SOLAR	¿SI?	SI	NO	SI	NO
	OTRO TIPO DE ENERGÍA	NO	NO	NO	NO	NO
PLAZAS DE GARAJE		SI	SI	SI	SI	SI
PROMOCIÓN		SOCIEDAD MERCANTIL	SOCIEDAD MERCANTIL	SOCIEDAD MERCANTIL	SOCIEDAD MERCANTIL	SOCIEDAD MERCANTIL

Tabla 6.17: Propuesta de viviendas tipo. Elaboración propia a partir de los datos obtenidos del Ministerio de Fomento

## 6.2. Búsqueda de proyectos acordes con las viviendas tipo

Se realiza una búsqueda de un volumen de proyectos importantes que permita validar el modelo para la evaluación del impacto económico y ambiental de la construcción de edificios. A partir de ahí la siguiente fase será realizar el mismo proceso con proyectos construidos según la normativa vigente del CTE. Se selecciona la tesis doctoral del Dr. D. Antonio Ramírez de Arellano Agudo: *La teoría de sistemas al servicio del análisis de presupuestos de obras* [27], de la cual se analizan los datos completos de 97 proyectos. El procedimiento de trabajo en el tratamiento de esta documentación es el siguiente:

- Selección de proyectos.
- Identificación y codificación.
- Obtención de datos generales.
- Estadística y comparativa de los proyectos con las viviendas tipo.
- Tratamiento de las mediciones.

Una vez descritas las distintas fases de trabajo dentro de este apartado se procede a describir el estudio realizado en cada una de ellas:

- **Selección de proyectos:** En primer lugar se realiza una primera selección y se descartan los que no cumplen con las viviendas tipo (superficie, mediciones, etc.)
- **Identificación y codificación:** Se realiza un estudio más detallado de todos los proyectos seleccionados, los cuales tienen una identificación mediante códigos. Una vez realizada esta tarea se propone una nueva codificación la cual se adjunta en los Anexos.
- **Obtención de datos generales:** Lo primero que se realiza al comenzar el análisis de todos los proyectos es una clasificación según los datos generales tales como:
  - Codificación específica del documento.
  - Año de construcción.
  - Superficie construida.
  - Importe de ejecución material.

- **Estadística y comparativa de los proyectos con las viviendas tipo:** Se desarrollan una serie de tablas comparativas de los datos que se recopilan y describen en el apartado anterior, entre la construcción de edificios a partir de las estadísticas del Ministerio Fomento y los proyectos seleccionados de la tesis doctoral.
  - Características definidas en los proyectos seleccionados:
    - Tipo de residencia: unifamiliar o plurifamiliar.
    - Número de plantas sobre y bajo rasante.
    - Características constructivas:
      - ◇ Estructura vertical y horizontal.
      - ◇ Cubierta.
      - ◇ Cerramiento exterior.
      - ◇ Carpintería exterior.
    - Acabados interiores de viviendas:
      - ◇ Solería.
      - ◇ Carpintería interior .
      - ◇ Falso techo.
      - ◇ Persianas.
    - Instalaciones:
      - ◇ Evacuación aguas residuales.
      - ◇ Suministro de agua potable.
      - ◇ Agua caliente sanitaria.
    - Energía:
      - ◇ Electricidad.
  - Características no definidas en los proyectos seleccionados:
    - Tipología constructiva: aislado, adosado, pareado, dos o más viviendas.
    - Superficie útil.
    - Número de habitaciones.
    - Número de baños.
    - Instalaciones:
      - ◇ Calefacción.
      - ◇ Refrigeración.
      - ◇ Ascensor y/o montacargas.
      - ◇ Tratamiento de aguas residuales.
      - ◇ Tratamiento de otros residuos.

- Energía:
  - ◇ Combustible sólido.
  - ◇ Gas ciudad o natural.
  - ◇ Otro combustible gaseoso.
  - ◇ Combustible líquido.
  - ◇ Energía solar.
  - ◇ Otro tipo de energía.

Como se refleja en estos datos, hay una falta de información en cuanto a las instalaciones y la energía, habrá por tanto que realizar mediciones de algunas de las características que actualmente son importantes o incluso obligatorias en la construcción de viviendas como puede ser la energía solar.

- **Tratamiento de las mediciones:** Se realiza un estudio detallado de las mediciones de los proyectos y se desarrolla a partir de las mismas un banco de cuantificación de recursos que nos sirva para aplicar el modelo HE a cualquier proyecto de uso residencial, lo cual vamos a explicar más detenidamente en los siguientes apartados.

### 6.3. Mediciones

Para obtener la medición y presupuesto se trabaja a partir de los datos de los 97 proyectos, para ello se cuenta con la medición general y unitaria de los mismos, las cuales están definidas a partir del  $Q_i$ , que es una unidad de cuantificación por unidad de superficie ( $u/m^2$ ). Los  $Q_i$  están estructurados según la clasificación sistemática del BCCA, que se organiza en capítulos, subcapítulos y apartados, y su valor depende de las características tipológicas y constructivas de cada vivienda y/o edificio, los cuales se publican sus valores medios en la investigación realizada por González-Vallejo, Marrero et al. [13], en dónde se emplean para obtener la HE de los proyectos con la metodología anterior de Solís-Guzmán et al. [12]. De cada proyecto se definen setenta  $Q_i$ , los cuales varían en función de dichas características, que se describen a continuación:

- Número de plantas sobre rasante: 1, 2, 3, 4, 5 y más de 5 (10).
- Número de plantas bajo rasante: 0, 1 y 2.
- Uso del edificio en planta baja: locales o viviendas. Este apartado sólo se aplica en edificios, no en viviendas unifamiliares.

- Cimentación: zanjas corridas, zapatas aisladas, losa armada o pilotes.
- Estructura: muros de carga realizados con fabrica de ladrillo y forjados unidireccionales de hormigón armado, o estructura completa de hormigón armado (pilares y forjados unidireccionales).
- Cubierta: horizontal o inclinada.

En la Tabla 6.18 se adjunta un ejemplo de varios proyectos de los 97, se seleccionan varias tipologías según su número de plantas sobre rasante, 4 y 5, es decir, de planta baja más 3 y planta baja más 4, y a partir de ahí se definen el resto de características.

En las características de cada proyecto se incluyen además datos de superficie construida ( $m^2$ ) total de cada proyecto, así como el PEM (€) total y por unidad de superficie (€/m<sup>2</sup>). Cada uno de los proyectos incluye varias viviendas o edificios, pero no se conoce el dato exacto, lo cual se tendrá que determinar a partir de hipótesis complementarias para la evaluación de algunos aspectos que se definen en los siguientes apartados.

Los 97 proyectos datan de 1985, para obtener un modelo y resultados renovados, se propone una actualización presupuestaria en base al IPC anual y una implementación de las mediciones a partir de los  $Q_i$  para que las viviendas y edificios propuestos cumplan con la normativa vigente.

Tabla 6.18: Características de proyectos y PEM (€) y (€/m<sup>2</sup>). Ejemplos de proyectos de planta baja más 3 y 4

Cód. en el modelo	Nº pl. sobre rasante	Nº pl. bajo rasante	Superf. constr. (m <sup>2</sup> )	Uso en P.b.	Cimentación	Estructura	Cubierta	PEM total (€)	PEM unit. (€/m <sup>2</sup> )
c26	4	1	5550,50	Viviendas	Zapatras aisladas	Hormigón armado	Horizontal	2.599.598	468,35
c41	4	1	5550,50	Locales	Zapatras aisladas	Hormigón armado	Horizontal	2.223.584	400,61
c44	4	1	5550,50	Viviendas	Zapatras aisladas	Hormigón armado	Inclinada	2.638.732	475,40
c49	4	1	5550,50	Locales	Zapatras aisladas	Hormigón armado	Inclinada	2.272.575	409,44
c72	4	1	5550,50	Locales	Pilotos	Hormigón armado	Horizontal	2.328.074	419,43
c73	4	1	5550,50	Viviendas	Pilotos	Hormigón armado	Horizontal	2.699.512	486,35
c74	4	1	5550,50	Viviendas	Pilotos	Hormigón armado	Inclinada	2.745.590	494,66
c75	4	1	5550,50	Locales	Pilotos	Hormigón armado	Inclinada	2.381.030	428,98
c105	4	0	4440,50	Locales	Losa armada	Hormigón armado	Horizontal	1.994.767	449,22
c109	4	0	4440,50	Locales	Losa armada	Hormigón armado	Inclinada	2.050.089	461,08
c04	4	0	4440,50	Locales	Losa armada	Muros fab.ladrillo	Inclinada	2.368.197	533,32
c90	5	1	6661,78	Viviendas	Losa armada	Hormigón armado	Horizontal	3.190.521	478,93
c94	5	1	6661,78	Locales	Losa armada	Hormigón armado	Horizontal	2.834.098	425,43
c98	5	1	6661,78	Viviendas	Losa armada	Hormigón armado	Horizontal	3.231.140	485,03
c102	5	1	6661,78	Locales	Losa armada	Hormigón armado	Inclinada	2.881.011	432,47
c148*	5	2	7772,08	Viviendas	Losa armada	Hormigón armado	Inclinada	3.361.181	432,47
c54	5	0	5571,78	Viviendas	Pilotos	Hormigón armado	Inclinada	3.087.077	556,05
c59	5	0	5571,78	Locales	Pilotos	Hormigón armado	Inclinada	2.730.912	491,90
c62	5	0	5571,78	Viviendas	Pilotos	Hormigón armado	Horizontal	3.048.630	549,13
c66	5	0	5571,78	Locales	Pilotos	Hormigón armado	Horizontal	2.684.481	483,54
c21	5	0	5571,78	Locales	Zapatras aisladas	Hormigón armado	Horizontal	2.577.861	464,33
c25	5	0	5571,78	Locales	Zapatras aisladas	Hormigón armado	Inclinada	2.618.867	471,72
c12	5	0	5571,78	Viviendas	Zapatras aisladas	Hormigón armado	Horizontal	2.942.299	529,97
c13	5	0	5571,78	Viviendas	Zapatras aisladas	Hormigón armado	Inclinada	2.975.205	535,90

### 6.3.1. Actualización de mediciones y presupuesto

Para realizar la actualización a la normativa de las mediciones y presupuesto de los proyectos hay que calcular los  $Q_i$  de los apartados o subcapítulos nuevos, es decir, obtener la cantidad del elemento por unidad de superficie construida ( $u/m^2$ ). Se necesitan algunos datos de los proyectos que no se conocen y por lo tanto hay que incluir algunas hipótesis complementarias al estudio. Para conseguir la renovación de los proyectos se realizan las siguientes actuaciones:

- Actualización de los proyectos al Código Técnico de la Edificación de España (CTE)[66]. Cumpliendo RD 314/2006, del 17 de Marzo de 2006 [67], dónde se aprueba el CTE. Con los objetivos de mejorar la calidad de la edificación, y de promover la innovación y la sostenibilidad, el Gobierno aprueba el Código Técnico de la Edificación. Esta nueva normativa contribuye de manera decisiva al desarrollo de las políticas del Gobierno de España en materia de sostenibilidad, en particular del Plan de Acción de la Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética y se convierte en instrumento de compromisos de largo alcance del Gobierno en materia medioambiental.

Siguiendo por tanto las directrices marcadas por el CTE se analizan los datos expresados en  $Q_i$  de los proyectos y se concluye que es necesario implementar el capítulo de instalaciones, para lo que se calculan los  $Q_i$  de los apartados de climatización, calefacción y energía solar.

- Incluir elementos característicos del proyecto que no pueden cuantificarse como  $Q_i$ , como es el caso del ascensor, para poder evaluar su impacto.
- A partir del RD 105/2008, de 1 de febrero, [45] por el que se regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición se crea en el BCCA un capítulo específico para su cuantificación, el capítulo 17 de Gestión de RCDs. Anteriormente en el BCCA los residuos se valoraban computándose a la partida o capítulo correspondiente, es decir, se consideraba el transporte y reciclaje de tierras en el capítulo 02, de Excavaciones o se incluía en el precio correspondiente en cada partida. Sí se introduce como novedad en el capítulo 17, la separación en obra de los RCDs y el canon de gestión de residuos.
- Una vez renovadas las mediciones se implementa el presupuesto de las partidas nuevas al PEM total, ya actualizado, desde el año



de redacción de los proyectos hasta hoy. Lo cual se explica en el apartado correspondiente del presupuesto 6.5.

Para la actualización de las mediciones se definen a continuación una serie de hipótesis complementarias necesarias para cada proyecto:

- Número de edificios y de viviendas unifamiliares.
- Tipología de edificio y número de viviendas por planta.
- Superficie útil de cada vivienda.
- Número de habitaciones, tipo y superficie de cada una de ellas.

A partir de estos datos y siguiendo los criterios de la normativa actual del Documento Básico (DB) de Ahorro de energía (HE) [68] del CTE[66], que establece las reglas y procedimientos que permiten cumplir las exigencias básicas de ahorro de energía, y el Reglamento vigente de las Instalaciones Térmicas en los edificios (RITE) según RD-238/2013 [69], modificación del anterior RD-1037/2007 [70], adaptándolo a las obligaciones derivadas de la Directiva 2010/31/UE, en lo relativo a instalaciones térmicas de los edificios y a las nuevas necesidades de ahorro y eficiencia energética. Se realizan, por tanto, según la normativa citada, los cálculos para obtener los siguientes parámetros y sus correspondientes  $Q_i$ , teniendo en cuenta además las siguientes hipótesis:

- Número de ascensores por edificio. Para los cuales se emplea un método diferente ya que no pueden computarse por unidad de superficie, por tanto, se calculan para cada proyecto según su tipología y número de edificios, plantas sobre rasante y de viviendas, independientemente de los  $Q_i$ . Se considera un ascensor sin sala de máquinas en castillete (tipo mochila) y un embarque accesible para personas con discapacidad, apto para 5 personas (carga nominal 400kg) con una velocidad de 1 m/s y con el número de paradas en función del número de plantas sobre rasante del edificio estudiado.
- Radiadores para calefacción. Se plantea una calefacción mediante radiadores de agua alimentados a partir de placas solares con acumulador y un termo eléctrico de apoyo al sistema. Se calefactan las siguientes estancias: salón-comedor, dormitorios, baños y cocina, no se incluye en pasillos.
- Climatización de cada vivienda, la cual se realiza mediante splits. Se consideran climatizadas las siguientes estancias: salón-comedor y habitaciones, no se incluye en cocina, baños ni pasillos.

- Energía solar: número de captadores solares y superficies, estructuras portantes y circuitos.

Para el capítulo de Gestión de RCDs se definen las siguientes hipótesis complementarias:

- Se dispondrá en obra una zona para ubicar los RCDs procedentes de los materiales empleados y se separarán en montones diferenciados. Se distinguen los siguientes grupos según el tipo de reciclaje: hierro y acero, áridos y piedras naturales, material cerámico, hormigón, cemento y cal, madera, plásticos y sintéticos y el resto en residuos mezclados.
- El transporte interior se realiza mediante carretilla mecánica basculante de 1 m<sup>3</sup> de capacidad.
- Se emplea una pala cargadora para el traspaso de los RCDs al camión que los transporta a la planta de gestora de residuos correspondiente.
- Hay que tener en cuenta el canon de gestión de RCDs según los criterios del BCCA.
- Para el cálculo de los nuevos Qi referentes a los RCDs se siguen los criterios de medición del capítulo 17 de Gestión de residuos del BCCA.

Una vez definidos los elementos nuevos de la medición y resueltos sus Qi, se procede a incluirlos en el presupuesto total del proyecto, en la Tabla 6.19 se especifican los capítulos, subcapítulos y apartados que surgen o tienen datos nuevos de Qi tras la actualización.

### 6.3.2. Medición actualizada de los proyectos

Resuelta ya la modernización de los datos de los 97 proyectos se definen a continuación los elementos necesarios para que la medición de cada proyecto sea completa:

- Las cantidades totales de los elementos que se definen a partir de los Qi y de la superficie construida de cada proyecto.
- Desarrollar una relación de partidas o precios unitarios simples (PUS) obtenidas a partir de las características definidas en cada proyecto y una base de costes de la construcción, BCCA en nuestro caso, con las que se define la obra.

Tabla 6.19: Detalle de los capítulos, subcapítulos y apartados actualizados

<b>CÓDIGO</b>	<b>UD.</b>	<b>CONCEPTO</b>
<b>CAPÍTULO 08</b>		<b>INSTALACIONES</b>
08CA	u	Aparatos climatización
08CR	m <sup>2</sup>	Radiadores
08NA	u	Acumuladores
08NE	u	Estructuras portantes
08NO	u	Captadores solares
08NP	m	Circuito primario
<b>CAPÍTULO 17</b>		<b>GESTIÓN DE RESIDUOS</b>
17AH	t	Hierro y acero
17HA	m <sup>3</sup>	Áridos y piedras naturales
17HC	m <sup>3</sup>	Cerámicos
17HH	m <sup>3</sup>	Hormigón, cemento y cal
17MM	t	Madera
17MP	t	Plásticos y sintéticos
17RR	m <sup>3</sup>	Residuos mezclados

- La descomposición de los PUS en los recursos necesarios de materiales, mano de obra y maquinaria, para la ejecución del proyecto y a partir de estos evaluar su impacto económico y ambiental. Este último paso se realiza en el banco de cuantificación de recursos, BCRR, que se define más adelante en su apartado correspondiente

En este apartado se desarrollan los dos primeros puntos, los cuales se detallan a continuación.

En primer lugar, para obtener las cantidades totales ( $Q_t$ ) de la medición de cada proyecto, se le aplica al valor de cada  $Q_i$  la superficie construida ( $S$ ) del proyecto, como se especifica en la fórmula 6.1, la unidad del  $Q_t$  será la misma unidad de medida del elemento al que corresponde el  $Q_i$  utilizado.

$$Q_t = Q_i S \quad (6.1)$$

En la Tabla 6.20 se presentan los valores medios de los  $Q_i$  de los 97 proyectos agrupados según el número de plantas sobre rasante, se incluyen además los nuevos  $Q_i$  procedentes de actualizar la medición (se resaltan en negrita).

Tabla 6.20: Valores medios de los  $Q_i$  de los proyectos según número de plantas

CÓDIGO	UD.	CONCEPTO	Tipo proyecto: Edificios de viviendas según número de plantas												
			1	2	3	4	5	10							
<b>CAP.02</b>															
02E	m <sup>3</sup>	EXCAVACIONES													
		Excavaciones	0,59	0,32	0,54	0,45	0,44	0,30							
02R	m <sup>3</sup>	Rellenos	0,19	0,09	0,09	0,08	0,06	0,03							
02T	m <sup>3</sup>	Transporte tierras	0,52	0,33	0,68	0,57	0,55	0,38							
<b>CAP.03</b>															
<b>CIMENTACIONES</b>															
03A	kg	Armaduras	6,36	4,30	7,08	6,20	5,51	4,67							
03P	m	Pilotes	0,00	0,00	0,12	0,13	0,12	0,04							
03E	m <sup>2</sup>	Encofrados	0,46	0,24	0,32	0,25	0,23	0,12							
03HA	m <sup>3</sup>	Horm. arm. zapatas	0,12	0,07	0,10	0,08	0,07	0,06							
03HM	m <sup>3</sup>	Horm. masa	0,24	0,11	0,05	0,05	0,05	0,05							
03H	m <sup>3</sup>	Horm. zunchos	0,07	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02							
<b>CAP.04</b>															
<b>SANEAMIENTO</b>															
04A	u	Arquetas	0,05	0,03	0,01	0,01	0,01	0,01							
04C	m	Colectores	0,13	0,09	0,06	0,05	0,04	0,02							
04B	m	Bajantes	0,12	0,14	0,09	0,10	0,10	0,10							
<b>CAP.05</b>															
<b>ESTRUCTURAS</b>															
05F	m <sup>2</sup>	Forjados	1,92	1,46	1,12	1,09	1,06	1,02							
05HA	kg	Armaduras	7,56	11,75	12,13	11,67	11,23	12,50							
05HE	m <sup>2</sup>	Encofrados	0,55	0,91	0,79	0,76	0,73	0,78							
05HA	m <sup>3</sup>	Horm. armados	0,07	0,10	0,10	0,09	0,08	0,10							
<b>CAP.06</b>															
<b>ALBANILERÍA</b>															
06FB	m <sup>2</sup>	Fcas. de bloques	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00							
06DC	m <sup>2</sup>	Distr. tabiq. (cámaras)	0,77	1,00	0,60	0,65	0,67	0,73							
06DT	m <sup>2</sup>	Distr. tabiq. (partic.)	0,90	0,88	0,64	0,70	0,72	0,80							
06LE	m <sup>2</sup>	Fcas. ext. de ladrillo	0,88	1,08	0,85	0,86	0,86	0,90							
06LL	m <sup>2</sup>	Fcas. int. de ladrillo	0,61	0,34	0,29	0,30	0,31	0,33							

Continúa en la siguiente página

Tabla 6.20 – continúa de la página anterior

		Tipo proyecto: Edificios de viviendas según número de plantas									
		Qi (u/m <sup>2</sup> )									
CÓDIGO	UD.	CONCEPTO	1	2	3	4	5	10	10	10	10
<b>CAP.07</b>		<b>CUBIERTAS</b>									
07H	m <sup>2</sup>	Cub. horizontales	1,11	0,00	0,18	0,13	0,10	0,05			
07I	m <sup>2</sup>	Cub. inclinadas	0,00	0,55	0,18	0,15	0,12	0,07			
<b>CAP.08</b>		<b>INSTALACIONES</b>									
08CA	u	Ap. climatización	<b>0,005</b>	<b>0,006</b>	<b>0,008</b>	<b>0,008</b>	<b>0,009</b>	<b>0,010</b>			
08CC	m	Conductos	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
08CR	m <sup>2</sup>	<b>Radiadores</b>	<b>0,017</b>	<b>0,014</b>	<b>0,012</b>	<b>0,013</b>	<b>0,014</b>	<b>0,015</b>			
08EC	m	Circuitos	0,71	0,61	0,53	0,59	0,61	0,66			
08ED	m	Líneas y derivaciones	0,03	0,02	0,10	0,12	0,12	0,21			
08EL	u	Puntos de luz	0,13	0,12	0,10	0,11	0,11	0,12			
08ET	u	Toma de corriente	0,23	0,22	0,17	0,20	0,20	0,22			
08EP	m	Cond. puesta a tierra	0,17	0,14	0,09	0,10	0,10	0,17			
08FC	m	Canaliz. agua caliente	0,26	0,23	0,15	0,17	0,17	0,19			
08FD	u	Desagües	0,09	0,08	0,06	0,07	0,07	0,08			
08FF	m	Canaliz. agua fría	0,39	0,34	0,30	0,33	0,34	0,45			
08FG	u	Griferías	0,07	0,07	0,05	0,06	0,06	0,06			
08FS	u	Ap. sanitarios	0,07	0,06	0,04	0,05	0,05	0,05			
08FT	u	Termos/calentadores	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01			
08NA	u	<b>Acumuladores</b>	<b>0,010</b>	<b>0,010</b>	<b>0,010</b>	<b>0,010</b>	<b>0,010</b>	<b>0,010</b>			
08NE	u	<b>Estruct. portantes</b>	<b>0,010</b>	<b>0,013</b>	<b>0,005</b>	<b>0,011</b>	<b>0,006</b>	<b>0,006</b>			
08NO	u	<b>Captadores solares</b>	<b>0,010</b>	<b>0,013</b>	<b>0,005</b>	<b>0,011</b>	<b>0,006</b>	<b>0,006</b>			
08NP	m	<b>Circuito p/mario</b>	<b>0,034</b>	<b>0,106</b>	<b>0,078</b>	<b>0,100</b>	<b>0,117</b>	<b>0,221</b>			
<b>CAP.09</b>		<b>AISLAMIENTOS</b>									
09A	m <sup>2</sup>	Aisl. acústicos	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			
09T	m <sup>2</sup>	Aisl. térmicos	2,39	1,36	0,61	0,65	0,66	0,73			
<b>CAP.10</b>		<b>REVESTIMIENTOS</b>									
10AA	m <sup>2</sup>	Alicatados	0,51	0,44	0,34	0,37	0,39	0,43			
10AC	m <sup>2</sup>	Chapados	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00			

Continúa en la siguiente página

Tabla 6.20 – continúa de la página anterior

CÓDIGO	UD.	CONCEPTO	Tipo proyecto: Edificios de viviendas según número de plantas									
			1	2	3	4	5	10				
			$Q_i$ (u/m <sup>2</sup> )									
10CE	m <sup>2</sup>	Enfoscados	1,70	1,81	1,45	1,50	1,57	1,66				
10CG	m <sup>2</sup>	Guarnecidos	3,35	2,93	2,15	2,37	2,43	2,70				
10S	m <sup>2</sup>	Solados	0,79	0,75	0,77	0,79	0,79	0,83				
10SS	m <sup>2</sup>	Soleras	0,12	0,00	0,16	0,13	0,12	0,06				
10T	m <sup>2</sup>	Techos	0,05	0,05	0,06	0,07	0,07	0,08				
10R	m	Remates	0,16	0,15	0,08	0,08	0,09	0,09				
<b>CAP.11</b>		<b>CARPINTERÍA</b>										
11CA	m <sup>2</sup>	Carpint. acero	0,15	0,14	0,11	0,11	0,11	0,12				
11CL	m <sup>2</sup>	Carpint. ligera	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				
11M	m <sup>2</sup>	Carpint. madera	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00				
11MA	m <sup>2</sup>	Armarios	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00				
11MP	m <sup>2</sup>	Puertas madera	0,12	0,11	0,11	0,12	0,12	0,13				
11B	m <sup>2</sup>	Barandillas	0,00	0,05	0,05	0,06	0,05	0,06				
11P	m <sup>2</sup>	Persianas	0,07	0,06	0,05	0,06	0,06	0,07				
11R	m <sup>2</sup>	Rejas	0,08	0,05	0,02	0,04	0,01	0,01				
<b>CAP.12</b>		<b>VIDRIOS</b>										
12A	m <sup>2</sup>	Acristalamientos	0,12	0,11	0,09	0,10	0,11	0,11				
<b>CAP.13</b>		<b>PINTURAS</b>										
13PE	m <sup>2</sup>	Paint. exteriores	1,67	1,59	1,17	1,21	1,23	1,35				
13PI	m <sup>2</sup>	Paint. interiores	3,51	3,36	2,57	2,77	2,81	3,09				
<b>CAP.17</b>		<b>GESTIÓN RESIDUOS</b>										
17AH	t	Hierro y acero	0,0003	0,0003	0,0004	0,0004	0,0003	0,0003				
17HA	m <sup>3</sup>	Áridos y piedras nat.	0,0023	0,0015	0,0016	0,0015	0,0014	0,0014				
17HC	m <sup>3</sup>	Cerámicos	1,21	1,20	0,37	0,33	0,26	0,16				
17HH	m <sup>3</sup>	Horm., cem. y cal	0,077	0,060	0,053	0,052	0,051	0,05				
17MM	t	Madera	0,0004	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003				
17MP	t	Plásticos y sint.	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0001	0,0001				
17RR	m <sup>3</sup>	Residuos mezcl.	0,014	0,004	0,007	0,006	0,005	0,005				

El segundo paso para definir de forma más concreta las mediciones del proyecto y las características de la obra a ejecutar, es definir las partidas o PUS específicos. Se estudian, por tanto, cada uno de los Qi y los posibles PUS en el BCCA y se le asocia a cada Qi un PUS. Se introducen además otras alternativas, se incorporan para algunos Qi diferentes opciones, en forma de desplegables, que permitan elegir diferentes características del elemento y por tanto, entre varios PUS. En la Tabla 6.21 se adjuntan todos los Qi a los que se les añada esta posibilidad y las opciones propuestas, se puede seleccionar en algunos casos el tipo de material (como es el caso de los colectores del capítulo de saneamiento), en otros la maquinaria (como por ejemplo en el capítulo de excavaciones) o el sistema constructivo (como sucede en el capítulo de cubiertas, en particular en las cubiertas horizontales), y así se puede decidir desde el modelo las características de la obra a ejecutar, pudiendo probar diferentes alternativas comparando los resultados obtenidos.

Tabla 6.21: Listado de desplegables y su correspondencia con los PUS del BCRR

CÓDIGO	UD.	CONCEPTO	Desplegable PUS	Corresp. BCRR
<b>CAP. 02</b>		<b>EXCAVACIONES</b>		
02E	m <sup>3</sup>	Excavaciones	Pala	02E.01
			Retroexcavadora	02E.02
02R	m <sup>3</sup>	Rellenos	Medios manuales	02R.01
			Medios mecánicos	02R.02
02T	m <sup>3</sup>	Transporte tierras	Medios manuales	02T.01
			Medios mecánicos	02T.02
<b>CAP. 03</b>		<b>CIMENTACIONES</b>		
03E	m <sup>2</sup>	Encofrados	Madera	03E.01
			Metálico	03E.02
03HA	m <sup>3</sup>	Horm. arm. zapatas	Vertido manual	03HA.01
			Vertido grúa	03HA.02
			Vertido bomba	03HA.03
<b>CAP. 04</b>		<b>SANEAMIENTO</b>		
04A	u	Arquetas	In situ	04A.01
			Prefabricadas	04A.02
04C	m	Colectores	PVC	04C.01
			Hormigón	04C.02
			Fibrocemento	04C.03
04B	m	Bajantes	PVC	04B.01
			Cinc	04B.02
			Acero	04B.03
<b>CAP. 05</b>		<b>ESTRUCTURAS</b>		
05F	m <sup>2</sup>	Forjados	Unid. bov. cerámicas	05F.01
			Unid. bov. cemento	05F.02
05HE	m <sup>2</sup>	Encofrados	Madera	05HE.01
			Metálico	05HE.02
<b>CAP. 07</b>		<b>CUBIERTAS</b>		
07H	m <sup>2</sup>	Horizontales	Transitable	07H.01
			No transitable	07H.02

Continúa en la siguiente página

Tabla 6.21 – continúa de la página anterior

CÓDIGO	UD.	CONCEPTO	Desplegable PUS	Corresp. BCRR
07I	m <sup>2</sup>	Inclinadas	Teja cerámica Teja mortero cemento	07I.01 07I.02
<b>CAP. 08</b>		<b>INSTALACIONES</b>		
08ED	m	Líneas y derivaciones	PVC Fábrica	08ED.01 08ED.02
08FC	m	Canaliz. agua caliente	Cobre Acero galvanizado	08FC.01 08FC.02
08FF	m	Canaliz. agua fría	Cobre Acero galvanizado	08FF.01 08FF.02
08FS	u	Aparatos sanitarios	Porcelana Acero	08FS.01 08FS.02
08FT	u	Termos/calentadores	Eléctrico Gas	08FT.01 08FT.02
<b>CAP.09</b>		<b>AISLAMIENTOS</b>		
09A	m <sup>2</sup>	Acústicos	Fibra de Vidrio Poliestireno Polietileno Sintético alta densidad	09A.01 09A.02 09A.03 09A.04
09T	m <sup>2</sup>	Térmicos	Fibra de vidrio Poliuretano Poliestireno Lana mineral	09T.01 09T.02 09T.03 09T.04
<b>CAP. 10</b>		<b>REVESTIMIENTOS</b>		
10AA	m <sup>2</sup>	Alicatados	Con adhesivo Con mortero	10AA.01 10AA.02
10AC	m <sup>2</sup>	Chapados	Piedra artificial Piedra caliza Granito Mármol	10AC.01 10AC.02 10AC.03 10AC.04
10CG	m <sup>2</sup>	Guarnecidos	Yeso Escayola	10CG.01 10CG.02
10S	m <sup>2</sup>	Solados	Cerámica Gres Baldosa hidráulica Tarima Mármol Piedra caliza Granito Terrazo	10S.01 10S.02 10S.03 10S.04 10S.05 10S.06 10S.07 10S.08
10T	m <sup>2</sup>	Techos	Fij. Cañas Fij. Metálica	10T.01 10T.02
10R	m	Remates	Baldosa cerámica Mármol Piedra caliza Madera	10R.01 10R.02 10R.03 10R.04
<b>CAP. 11</b>		<b>CARPINTERÍA Y EL. SEG. Y PROTECC.</b>		
11B	m <sup>2</sup>	Barandillas	Acero Alum. anodizado	11B.01 11B.02
<b>CAP.13</b>		<b>PINTURAS</b>		
13PE	m <sup>2</sup>	Exteriores	Elastómera lisa A la cal	13PE.01 13PE.02
13PI	m <sup>2</sup>	Interiores	Plástica lisa Al temple liso	13PI.01 13PI.02



Se presenta a modo de ejemplo, en la Tabla 6.22 uno de los 97 proyectos dónde se representan los valores de los Qi ( $u/m^2$ ) estructurados según el BCCA, las Cantidades totales, Qt (u), y la opción elegida en cada caso de la columna de los despleables, la cual nos enlaza con la selección de PUS desarrollada en el BCRR.

El ejemplo aportado es un proyecto de planta baja más tres, cuya superficie construida es de  $5.550,50 m^2$ , con locales en planta baja, cimentación con zapatas aisladas, estructura de hormigón armado y cubierta horizontal. Este proyecto, se denomina c41, según la codificación interna del modelo incluida en los Anexos, se seguirá tomando de ejemplo en los siguientes apartados de desarrollo del modelo. Según las opciones disponibles, se observa, por ejemplo, que hay apartados (Qi) con valor cero, lo cual indica que no existen en el proyecto, tales como cimentación por pilotes o cubierta inclinada. Además se han seleccionado de los despleables: en la cimentación los encofrados metálicos, los colectores de saneamiento de hormigón y que la cubierta sea transitable, entre otros. Cuando existe algún apartado con Qi marcado con valor cero, es porque no existe esa opción en el proyecto seleccionado pero en otro proyecto de la base de datos sí se emplea esa opción.

Tabla 6.22: Ejemplo de desarrollo de medición a partir de los Qi

MEDICIÓN DEL PROYECTO					
CÓDIGO	UD.	CONCEPTO	Qi ( $u/m^2$ )	Qt (u)	Desplegables (PUS)
<b>CAP.02</b>		<b>EXCAVACIONES</b>			
02E	$m^3$	Excavaciones	0,64	3524,57	<b>Pala</b>
02R	$m^3$	Rellenos	0,08	444,04	<b>Medios mec.</b>
02T	$m^3$	Transporte tierras	0,79	4405,43	<b>Medios mec.</b>
<b>CAP.03</b>		<b>CIMENTACIONES</b>			
03A	kg	Armaduras	4,97	27585,99	-
03P	m	Pilotes	0,00	0,00	-
03E	$m^2$	Encofrados	0,38	2109,19	<b>Metálico</b>
03HA	$m^3$	Horm. arm. zapatas	0,06	333,03	<b>Vert. grúa</b>
03HM	$m^3$	Horm. masa	0,09	499,55	-
03H	$m^3$	Horm. zunchos	0,05	277,53	-
<b>CAP.04</b>		<b>SANEAMIENTO</b>			
04A	u	Arquetas	0,01	55,51	<b>In situ</b>
04C	m	Colectores	0,05	277,53	<b>Hormigón</b>
04B	m	Bajantes	0,09	499,55	<b>PVC</b>
<b>CAP.05</b>		<b>ESTRUCTURAS</b>			
05AE	kg	Acero estruct. metál.	0,00	0,00	-
05F	$m^2$	Forjados	0,99	5495,00	<b>Bov. cem.</b>
05HA	kg	Armaduras	10,73	59556,87	-
05HE	$m^2$	Encofrados	0,70	3885,35	<b>Metálico</b>
05HA	$m^3$	Horm. armados	0,08	444,04	-
<b>CAP.06</b>		<b>ALBAÑILERÍA</b>			
06FB	$m^2$	Fcas. de bloques	0,00	0,00	-
06DC	$m^2$	Distr. tabiq.(cám.)	0,51	2830,76	-

Continúa en la siguiente página

Tabla 6.22 – continúa de la página anterior

MEDICIÓN DEL PROYECTO					
06DT	m <sup>2</sup>	Distr. tabiq.(partic.)	0,53	2941,77	-
06LE	m <sup>2</sup>	Fcas. ext. ladrillo	0,76	4218,38	-
06LI	m <sup>2</sup>	Fcas. int. ladrillo	0,26	1443,13	-
<b>CAP.07</b>		<b>CUBIERTAS</b>			
07H	m <sup>2</sup>	Cub. horizontales	0,23	1276,62	Transitable
07I	m <sup>2</sup>	Cub. inclinadas	0,00	0,00	Teja cerámica
<b>CAP.08</b>		<b>INSTALACIONES</b>			
<b>08CA</b>	<b>u</b>	<b>Apar. climat.</b>	<b>0,01</b>	<b>48,00</b>	-
08CC	m	Conductos	0,00	0,00	-
<b>08CR</b>	m <sup>2</sup>	<b>Radiadores</b>	<b>0,01</b>	<b>71,00</b>	-
08EC	m	Circuitos	0,50	2775,25	-
08ED	m	Líneas y deriv.	0,09	499,55	PVC
08EL	<b>u</b>	Puntos de luz	0,10	555,05	-
08ET	<b>u</b>	Toma corriente	0,15	832,58	-
08EP	m	Cond. puesta tierra	0,07	388,54	-
08FC	m	Canaliz. agua caliente	0,13	721,57	Cobre
08FD	<b>u</b>	Desagües	0,05	277,53	-
08FF	m	Canaliz. agua fría	0,26	1443,13	Cobre
08FG	<b>u</b>	Griferías	0,04	222,02	-
08FS	<b>u</b>	Ap. sanitarios	0,04	222,02	Porcelana
08FT	<b>u</b>	Termos/calent.	0,01	55,51	Eléctrico
<b>08NA</b>	<b>u</b>	<b>Acumuladores</b>	<b>0,01</b>	<b>56,00</b>	-
<b>08NE</b>	<b>u</b>	<b>Estr. portantes</b>	<b>0,01</b>	<b>72,00</b>	-
<b>08NO</b>	<b>u</b>	<b>Capt. solares</b>	<b>0,01</b>	<b>72,00</b>	-
<b>08NP</b>	m	<b>Circ. pirmario</b>	<b>0,11</b>	<b>600,00</b>	-
<b>CAP.09</b>		<b>AISLAMIENTOS</b>			
09A	m <sup>2</sup>	Aisl. acústicos	0,00	0,00	Polietileno
09T	m <sup>2</sup>	Aisl. térmicos	0,51	2830,76	Poliuretano
<b>CAP.10</b>		<b>REVESTIMIENTOS</b>			
10AA	m <sup>2</sup>	Alicatados	0,28	1554,14	Con adhesivo
10AC	m <sup>2</sup>	Chapados	0,00	0,00	Piedra caliza
10CE	m <sup>2</sup>	Enfoscados	1,35	7493,18	-
10CG	m <sup>2</sup>	Guarnecidos	1,81	10046,41	Escayola
10S	m <sup>2</sup>	Solados	0,70	3885,35	Cerámica
10SS	m <sup>2</sup>	Soleras	0,22	1221,11	-
10T	m <sup>2</sup>	Techos	0,05	277,53	Fij. metálica
10R	m	Remates	0,06	333,03	Piedra caliza
<b>CAP.11</b>		<b>CARPINTERÍA</b>			
11CA	m <sup>2</sup>	Carp. acero	0,00	0,00	-
11CL	m <sup>2</sup>	Carp. ligera	0,09	499,55	-
11M	m <sup>2</sup>	Carp. madera	0,00	0,00	-
11MA	m <sup>2</sup>	Armarios	0,00	0,00	-
11MP	m <sup>2</sup>	Puertas madera	0,09	499,55	-
11B	m <sup>2</sup>	Barandillas	0,05	277,53	Acero
11P	m <sup>2</sup>	Persianas	0,05	277,53	-
11R	m <sup>2</sup>	Rejas	0,03	166,52	-
<b>CAP.12</b>		<b>VIDRIOS</b>			
12A	m <sup>2</sup>	Acristalamientos	0,08	444,04	-
<b>CAP.13</b>		<b>PINTURAS</b>			
13PE	m <sup>2</sup>	Exteriores	0,95	5272,98	Elast. lisa
13PI	m <sup>2</sup>	Interiores	2,29	12710,65	Plást. lisa
<b>CAP.17</b>		<b>GESTIÓN RESIDUOS</b>			
17AH	t	Hierro y acero	0,0002	1,37	-
17HA	m <sup>3</sup>	Áridos y piedras nat.	0,002	8,39	-
17HC	m <sup>3</sup>	Cerámicos	0,015	83,95	-

Continúa en la siguiente página

Tabla 6.22 – continúa de la página anterior

MEDICIÓN DEL PROYECTO					
17HH	m <sup>3</sup>	Horm., cem. y cal	0,043	241,34	-
17MM	t	Madera	0,0003	1,84	-
17MP	t	Plásticos y sintét.	0,0003	0,80	-
17RR	m <sup>3</sup>	Residuos mezcl.	0,007	37,23	-

Para poder aplicar los datos de la medición y el presupuesto a la evaluación de la HE se crea el banco de cuantificación de recursos (BCRR) donde se obtienen la cantidad de recursos utilizados en la obra, descompuestos en mano de obra, materiales y maquinaria, tomando valores medios a partir de series de partidas homogéneas. Finalmente se obtiene un valor único de cada uno de los recursos los cuales producen los impactos que evalúa la HE, lo cual se explica con detalle en los siguientes apartados.

## 6.4. Banco de cuantificación de recursos

Para poder determinar los recursos que se emplean en el proyecto a evaluar se crea el banco de cuantificación de recursos (BCRR), ya definido en el apartado 5.5 del capítulo del Modelo teórico. Se siguen los pasos definidos y se adapta al caso propuesto para España, con el fin de conseguir que el BCRR abarque diversas tipologías y soluciones constructivas, se siguen el siguiente procedimiento:

- Las características del proyecto y de la obra a realizar: tipología, uso, soluciones constructivas y calidades de los materiales. Las viviendas y edificios a evaluar ya se han definido que son de tipo residencial, entre una y diez plantas sobre rasante y de tipo social. Los materiales son de calidad media y las soluciones constructivas tradicionales del país, en este caso España y en la época actual.
- Medición de proyecto, en este caso se obtiene a partir de los Qi, organizados con la clasificación sistemática del BCCA, los cuales multiplicados por la superficie construida nos aportan las cantidades totales, Qt. Lo cual se muestra, para el ejemplo del proyecto c41, en la Tabla 6.23. Se toma el ejemplo del Qi 05F que representa la superficie de forjados de cada proyecto, su unidad de medida es el m<sup>2</sup> y su valor 0,99, lo que significa que por cada m<sup>2</sup> de superficie construida de proyecto se construyen 0,99 de m<sup>2</sup> de forjado. Multiplicando el valor del Qi por la superficie construida del mismo, 5.550,50 m<sup>2</sup>, se obtiene el valor total de forjados de proyecto Qt, que es 5.495 m<sup>2</sup>. El Qi (05F) tiene dos opciones a elegir del desplegable,

puede ser forjado unidireccional de bovedillas cerámicas (05F.01) o de bovedillas de cemento (05F.02) y nos conecta directamente con los PUS del BCRR.

- Base de costes de la construcción, la BCCA [33], de donde se obtienen los rendimientos y consumos de los recursos de materiales, mano de obra y maquinaria que se emplean para construir definidos a partir de las características del proyecto.
- A partir de las características definidas por el estudio inicial de proyectos se realiza la, ya definida, selección de PUS de la BCCA para obtener la medición y presupuesto detallados y así se crea un BCRR donde los apartados descritos en el Modelo teórico están representados por los, ya definidos  $Q_i$ , a los que le corresponden una selección de PUS, de donde se obtiene al final un único dato y se descomponen en materiales, mano de obra y maquinaria, aportando los rendimientos y consumos de cada uno de ellos. A continuación se calculan los valores medios ponderados, y así se obtienen en primer lugar, las cantidades unitarias medias de cada recurso y al multiplicar por la superficie construida las cantidades totales de cada uno.

Esto se detalla en la Tabla 6.24 y en la Fig. 6.1. En la tabla se presentan las dos opciones posibles para el  $Q_i$  05F, es decir, 05F.01: forjado unidireccional de bovedillas cerámicas y 05F.02: de bovedillas de cemento. En ambos casos el forjado es unidireccional y presenta aparte del tipo de bovedillas diferentes variantes: pueden ser de viguetas auto o semirresistentes, de armaduras rígidas o pretensadas y colocadas pareadas o no, cada una de estas variantes se diferencia por su código extraído del BCCA, y conforman la asociación de PUS homogéneos a los que se les calculan los valores medios de los descompuestos. El valor del  $Q_i$  sólo se aplica a uno de ellos, es decir al seleccionado en el desplegable que se muestra en la tabla anterior, en este caso el 05F.02, donde aparece el  $Q_i$  con su valor,  $0,99 \text{ m}^2/\text{m}^2$ , y por tanto el  $Q_i$  05F.01 tiene valor cero. Si la selección del desplegable fuera al revés el valor nulo sería para el 05f.02 y viceversa. En la figura 6.1 se presenta el detalle de la descomposición en recursos de cada uno de los PUS del  $Q_i$  05F.02 y como se hace el cálculo de los valores medios ( $Q_m$ ) y del total,  $Q_t$ .

Se podrían seguir incluyendo más alternativas en los desplegables seleccionados a partir de los  $Q_i$ , teniendo en cuenta otras soluciones constructivas y mayor diversidad de materiales, lo cual sería motivo

para futuras investigaciones.

- A partir del dato de valores medios,  $Q_m$ , resultado de la descomposición en materiales, mano de obra y maquinaria, de los PUS homogéneos, el  $Q_i$ , y la superficie construida, se obtiene la cantidad total de cada recurso  $Q_t$ , que se evalúa para definir su impacto económico y ambiental como se representa en la figura 6.1 desarrollada por González-Vallejo y Solís-Guzmán et al.[14]. Cada uno de los recursos producen los impacto que se traduce en las diferentes huellas parciales y la suma de todas ellas cuantifican la HE total.

La ventaja de partir de unas cantidades totales ( $Q_i$ ) es el poder definir a partir de ellas diferentes opciones según las características del proyecto a evaluar. Por ello el BCRR creado tiene la particularidad de no dar sólo una solución para cada  $Q_i$  sino varias alternativas.

Tabla 6.23: Ejemplo de detalle de  $Q_i$  y selección del desplegable para realizar BCRR

Cód.	Ud.	Concepto	$Q_i$ ( $m^2/m^2$ )	$Q_t$ ( $m^2$ )	Desplegable (PUS)	BCRR
05F	$m^2$	Forjados	0,99	5495	Bov.cerámica	05F.01
					<b>Bov.cemento</b>	<b>05F.02</b>

landscape

Tabla 6.24: Ejemplo de BCRR. Generación de BCRR a partir del Qi y BCCA

05F.01	m <sup>2</sup> .	Forjados bovedillas cerámicas							
<b>CONJUNTO DE PUS PARA VALORES MEDIOS</b>									
<b>Cód.</b>	<b>Ud.</b>	<b>Descripción</b>	<b>Importe</b>	<b>Qi</b>	<b>Qt</b>				
<b>BCCA</b>		<b>Descripción resumen</b>	<b>(€)</b>	<b>(m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>)</b>	<b>(m<sup>2</sup>)</b>				
05FUA00001	m <sup>2</sup>	FORJADO VIG. AUTORR. ARM. PRETEN. BOV. CER. (HA-25)	0	0,00	0,00				
05FUA00101	m <sup>2</sup>	FORJADO VIG. AUTORR. PAREADAS ARM. PRETEN. BOV. CER. (HA-25)	0						
05FUS00001	m <sup>2</sup>	FORJADO VIG. SEMIRR. ARM. PRETEN. BOV. CER. (HA-25)	0						
05FUS00101	m <sup>2</sup>	FORJADO VIG. SEMIRR. PAREADAS ARM. PRETEN. BOV. CER. (HA-25)	0						
05FUS00111	m <sup>2</sup>	FORJADO VIG. SEMIRR. PAREADAS ARM. RÍGIDAS BOV. CER. (HA-25)	0						
<b>PROMEDIO</b>			-						
<b>05F.02. Forjados bovedillas mortero cemento</b>									
<b>Cód.</b>	<b>Ud.</b>	<b>Descripción</b>	<b>Importe</b>	<b>Qi</b>	<b>Qt</b>				
<b>BCCA</b>		<b>Descripción resumen</b>	<b>(€)</b>	<b>(m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>)</b>	<b>(m<sup>2</sup>)</b>				
05FUA00018	m <sup>2</sup>	FORJADO VIG. AUTORR. ARM. RÍGIDAS BOV. HOR. (HA-35)	26,17		5,495				
05FUA00118	m <sup>2</sup>	FORJADO VIG. AUTORR. PAREADAS ARM. RÍGIDAS BOV. HOR. (HA-35)	31,54						
05FUS00018	m <sup>2</sup>	FORJADO VIG. SEMIRR. ARM. RÍGIDAS BOV. HOR. (HA-35)	28,2						
05FUS00108	m <sup>2</sup>	FORJADO VIG. SEMIRR. PAREADAS ARM. PRETEN. BOV. HOR. (HA-35)	33,91						
05FUS00118	m <sup>2</sup>	FORJADO VIG. SEMIRR. PAREADAS ARM. RÍGIDAS BOV. HOR. (HA-35)	33,68						
<b>PROMEDIO</b>			30,70						

## 6.5. EVALUACIÓN DEL IMPACTO ECONÓMICO: PRESUPUESTO153

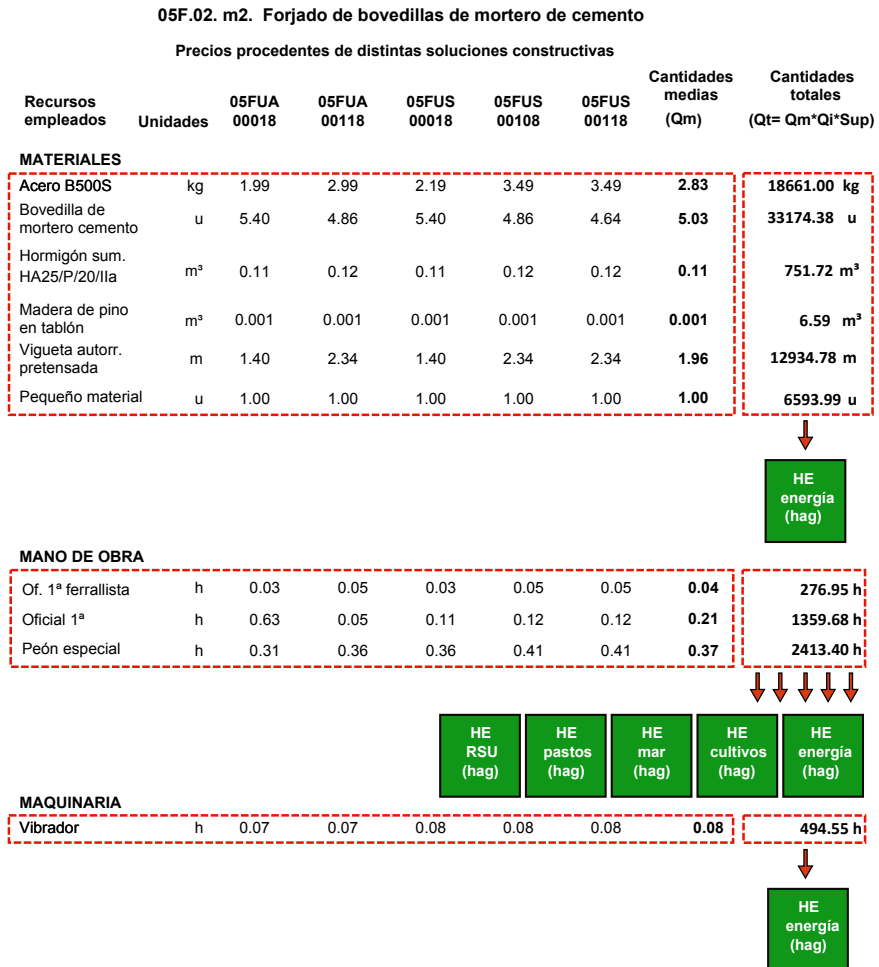


Figura 6.1: Banco de cuantificación de recursos (BCRR) y obtención de recursos para evaluar la HE. Ejemplo del Qi correspondiente con los valores medios de los PUS 05F.01. Fuente: [14]

## 6.5. Evaluación del impacto económico: Presupuesto

El modelo propuesto evalúa un proyecto no sólo desde el punto de vista ecológico sino también desde el económico, es decir, partiendo de los datos de los Qi se puede llegar a un presupuesto detallado del proyecto. Además, la base de datos de los 97 proyectos nos aporta también el presupuesto (PEM) total de cada proyecto, el cual no incluye gastos generales, beneficio industrial ni impuestos de valor añadido (IVA). Por

tanto, una vez se desarrolla el modelo se tienen dos presupuestos de cada proyecto. A continuación se describen las ventajas e inconvenientes de cada uno de ellos y así poder justificar cual utilizar y porqué.

- En primer lugar, se analiza el PEM total original de cada proyecto:
  - Como ventaja, se puede decir, que es un dato real extraído de los datos generales de los proyectos, el cual incluye todos los elementos necesarios para construir dicho proyecto.
  - Como inconvenientes:
    - Es un dato de 1985, no está actualizado.
    - No tenemos los datos en detalle del PEM, es decir el desglose en PUS, PB y PA, y sus descompuestos, lo cual es imprescindible para la evaluación económica y ambiental y para su utilidad en la toma de decisiones de un proyecto.
- En segundo lugar, se estudia el PEM resultante obtenido del modelo a partir de los  $Q_i$ , y se llega a las siguientes conclusiones:
  - Se cuentan como ventajas:
    - Los  $Q_i$  cuantifican prácticamente el proyecto en su totalidad, siendo además un dato muy versátil, ya que a partir de un  $Q_i$  se pueden optar por diferentes soluciones constructivas, materiales, etc., como ya se ha descrito en el apartado de mediciones.
    - Los precios están actualizados ya que se realiza a partir del BCCA 2014.
    - Se conocen todos los datos y su desglose pormenorizado de PUS, PB y PA conociendo así los recursos de materiales, mano de obra y maquinaria necesarios de cada proyecto para evaluar su impacto económico y ambiental.
  - Y como inconvenientes:
    - Los  $Q_i$  no pueden cuantificar todos los detalles del proyecto, por tanto hay elementos que no están incluidos en el PEM.
    - Hay elementos que se conocen y se pueden incluir además de los  $Q_i$ , pero en este caso sólo se calcula aparte el asensor.

Se propone, por tanto, aprovechar las ventajas de los dos PEM y trabajar en subsanar los inconvenientes.



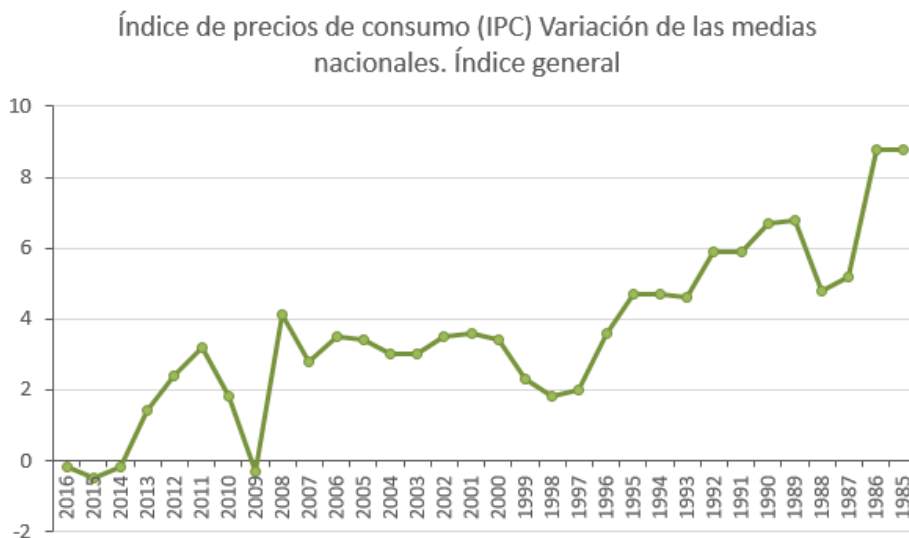


Figura 6.2: Índice de precios de consumo (IPC). Índice general, variación de las medias anuales. Fuente: INE

Para el PEM origen que data de 1985, se propone una actualización, desde el punto de vista tecnológico, lo cual ya se realiza en las de mediciones, y otra desde el punto de vista económico, para lo cual se le aplica el Índice de precios de consumo (IPC), siguiendo las variaciones medias anuales desde 1985 hasta 2016 con los datos generales del Instituto Nacional de Estadística de España (INE) [71], que se adjuntan en la Fig. 6.2.

Por otro lado, para incluir las nuevas mediciones ya definidas en apartados anteriores, se suma el importe correspondiente a las instalaciones por la actualización a CTE y la gestión de RCDs, generados a partir de los nuevos Qi calculados, lo cual se presenta en la Tabla 6.25 para el caso del proyecto c41.

A continuación se ejemplifica el proceso de actualización completo del PEM original a partir del proyecto c41 y se presenta en la Tabla 6.26.

En primer lugar, se actualiza su valor según el IPC de 1985 hasta 2016, el PEM (1) base pasa de 977.226 € a 2.223.584 €, y en segundo lugar, se incluye el presupuesto correspondiente a la actualización de la medición. Los datos de las instalaciones de climatización, calefacción y energía solar, son un 17,46 % sobre el total del proyecto y la Gestión de RCDs un 0,61 %, estos dos totales se le suman al total del PEM (2) actualizado al IPC del 2016, y así se obtiene un PEM (3) de 2.602.286 €. El PEM (4) que resulta a partir de los Qi (incluido ascensor) es de 2.095.578 €, lo cual supone una diferencia entre ambos (PEM (3) y (4))

Tabla 6.25: Ejemplo del proyecto c41 del importe resultante a partir de nuevos Qi creados

Código	Ud.	Concepto	Qi (u/m <sup>2</sup> )	Qt (u. PUS)	PEM (€)
<b>CAP.08</b>		<b>INSTALACIONES</b>			<b>365.882</b>
08CA	u	Apar. climatización	0,0086	48	237.880
08CR	m <sup>2</sup>	Radiadores	0,013	71	11.307
08NA	u	Acumuladores	0,010	56	27.509
08NE	u	Estructuras portantes	0,013	72	18.461
08NO	u	Captadores solares	0,013	72	54.212
08NP	m	Circuito primario	0,108	600	16.513
<b>CAP.17</b>		<b>GESTIÓN RCDs</b>			<b>12.819</b>
17AH	t	Hierro y acero	0,0002	1,37	- 84
17HA	m <sup>3</sup>	Áridos y piedras nat.	0,002	8,39	183
17HC	m <sup>3</sup>	Cerámicos	0,015	83,95	1.831
17HH	m <sup>3</sup>	Hormigón, cem. y cal	0,043	241,34	5.263
17MM	t	Madera	0,0003	1,84	4.715
17MP	t	Plásticos y sintéticos	0,0001	0,52	37
17RR	m <sup>3</sup>	Residuos mezclados	0,007	37,23	874
<b>TOTAL</b>		<b>(actualización)</b>			<b>378.702</b>

Tabla 6.26: Ejemplo de actualización del PEM según IPC y nuevas mediciones

CONCEPTO	PEM		Porc./PEM (%)
	(€)	(€/m <sup>2</sup> )	
PEM origen (1985) (1)	977.226	176,06	
PEM actualiz. IPC a 2016 (2)	2.223.584	400,61	
Actualización a CTE	365.882	65,92	17,46
Gestión de RCDs	12.819	2,31	0,61
<b>PEM orig. actualiz. compl.(3)</b>	<b>2.602.286</b>	<b>468,84</b>	
<b>PEM Qi (4)</b>	<b>2.095.578</b>	<b>377,55</b>	
Diferencia (1-2)	1.246.358	224,55	56,05
Diferencia (1-3)	1.625.060	292,78	62,45
Diferencia (3-4)	506.708	91,29	19,47

de 506.708 €, siendo el PEM ( $\text{€/m}^2$ ) de 468,68 con el PEM original actualizado, y 377,55 con el PEM de los Qi, una diferencia de 91,29  $\text{€/m}^2$ , es decir un 19,47%. Se asume este error y se cuantifica en el modelo, de los 97 proyectos las diferencias entre el PEM (3) y el (4) se encuentran en un intervalo entre un 14 y 26%, lo cual corresponden a elementos del proyecto no tipificados, es decir no hay una repetición y son particulares para cada proyecto, por otro lado, los elementos fundamentales sí están cuantificados y evaluados en el modelo.

Tabla 6.27: Ejemplo de actualización del PEM (€) y PEM unitario ( $\text{€/m}^2$ )

Cód. Cap.	Concepto	PEM original		Porc. (%)	PEM actualiz.	
		(€)	( $\text{€/m}^2$ )		(€)	( $\text{€/m}^2$ )
02	Excavaciones	22.012	3,97	1,05	27.335	4,92
03	Cimentación	199.427	35,93	9,52	247.649	44,62
04	Saneamiento	27.771	5,00	1,33	34.485	6,21
05	Estructuras	311.483	56,12	14,86	386.799	69,69
06	Albañilería	251.278	45,27	11,99	312.037	56,22
07	Cubiertas	93.347	16,82	4,45	115.918	20,88
08	Instalaciones	644.834	116,18	30,77	800.755	144,27
09	Aislamientos	19.871	3,58	0,95	24.675	4,45
10	Revestimientos	268.019	48,29	12,79	332.826	59,96
11	Carpintería	157.730	28,42	7,53	195.868	35,29
12	Vidrios	10.064	1,81	0,48	12.497	2,25
13	Pinturas	76.923	13,86	3,67	95.523	17,21
17	Gestión RCDs	12.819	2,31	0,61	15.919	2,87
	<b>Total</b>	<b>2.095.578</b>	<b>377,55</b>	<b>100</b>	<b>2.602.286</b>	<b>468,84</b>

El desglose del PEM del proyecto es muy útil junto con los resultados de HE por capítulos para poder evaluar el impacto ambiental de forma más pormenorizada, a partir de estos datos se pueden probar distintas soluciones constructivas, materiales, etc. comparando su HE y PEM, y detectando cuales son los valores mayores o menores y en qué fase de obra se encuentran, lo cual es fundamental para la toma de decisiones en la fase de proyecto y es una de las fortalezas del modelo.

## 6.6. Costes indirectos

El concepto de coste indirecto ya se define en el capítulo de Estado de la Cuestión, se refiere a aquellos costes que no son imputables directamente a una única unidad de obra, sino al conjunto o parte de la obra completa, se cifran en un porcentaje sobre los costes directos y para determinar la cuantificación económica y porcentajes de los distintos conceptos que forman parte de los costes indirectos (CI) [33] y consecuentemente del porcentaje final a aplicar sobre los costes directos (CD)

se necesita conocer:

- Plazo estimado para la ejecución de obra.
- Organización de la obra.

En la Tabla 6.28 se incluye la clasificación de los 97 proyectos, que se clasifican según el número de plantas sobre rasante, y el número de edificios y viviendas de cada proyecto que se han definido a partir de hipótesis complementarias. Según estos datos se plantea la organización para las distintas obras.

A partir de dicha organización se definen los diferentes apartados de la hoja de cálculo de los CI, definidos por Ramírez de Arellano [72], son los que definen finalmente el porcentaje de CI sobre el total de CD son los siguientes:

- Mano de obra indirecta: encargados, capataces, almaceneros guardería y listeros y otros.
- Medios auxiliares: mano de obra auxiliar, materiales auxiliares y maquinarias, útiles y herramientas. En este último se definen las grúas, incluyendo su montaje y desmontaje, plataformas de elevación, montacargas, hormigoneras, cortadoras, andamios y otros.
- Instalaciones, accesorias y complementarias: por un lado, casetas de obra: oficinas, aseos y vestuarios, comedor, sala de primeros auxilios, sala de reuniones y almacenes, y por otro, acometidas y tendidos provisionales de obra y consumo eléctrico.
- Personal: técnicos de obra: jefe de obra, de producción y técnicos auxiliares, administrativos adscritos permanentemente a la obra y otros.
- Varios: gastos de oficinas y almacenes.

Aplicados todos estos conceptos a los diferentes grupos de proyectos, se obtiene la organización de cada una de sus obras, los edificios de diez plantas sobre rasante son los que más difieren con el resto, debido a sus características tipológicas, tal como se describe a continuación:

- Plazo de ejecución: se define para cada proyecto, entre 8 y 12 meses según las características de la obra.

- Mano de obra indirecta: hay un encargado en todas las obras durante todo el plazo de ejecución, excepto en las obras de diez plantas donde se duplica en la mitad del tiempo de obra. No hay capataces, excepto en la obra de edificios de diez plantas donde se consideran durante el mismo tiempo que el encargado. Se contratan guardas durante la mitad del plazo de ejecución de la obra, excepto en los edificios de diez plantas que se contratan durante el 75 % de la obra.
- En todos los casos se contrata mano de obra y materiales auxiliares.
- Como medio de elevación se considera la grúa, el número y tiempo de instalación de la misma, varía en cada obra. En cuanto al número de grúas a instalar, se considera, en viviendas unifamiliares una grúa para cada 20 viviendas, y en edificios plurifamiliares una grúa para cada 3 edificios. El plazo de instalación en viviendas unifamiliares de una planta es de un tercio del plazo de ejecución, para las de 2 plantas, ya sean unifamiliares o plurifamiliares es de la mitad del plazo de ejecución de obra, para 4 y 5 plantas sobre rasante durante el 60 %, y en los edificios de diez plantas se emplea durante la mitad del plazo de ejecución, además esta grúa es de mayor envergadura dadas las características de los edificios y por tanto será más cara.
- Se colocan andamios en todas las obras, en los edificios de diez plantas los andamios serán automáticos y su precio se encarece en comparación al resto.
- Se usa hormigón pre-amasado por tanto no se emplean hormigoneras y se utilizan las cortadoras durante un 33 % del plazo de ejecución de obra, basando su cuantificación en la cantidad de viviendas y/o edificios.
- En todos los casos se instalan casetas de obra, la sala de primeros auxilios depende del número de trabajadores por día y la cantidad de almacenes la determina la superficie de obra.
- Se contabilizan las acometidas y tendido provisional en todos los casos y se considera la iluminación de obra.
- Personal: se consideran un jefe de obra, un técnico auxiliar y un administrativo durante todo el plazo de ejecución de la obra, excepto en los edificios de diez plantas que se considera que además se necesitan duplicar el personal durante la mitad de dicho plazo.
- En todos los casos se contabiliza el gasto de oficinas y almacenes.

Se obtienen así los CI de cada uno de los 97 proyectos, se adjuntan los resultados como valores medios en función del número de plantas sobre rasante en la Tabla 6.29.

Tabla 6.28: Listado de tipología de proyectos para cálculo de CI

Tipología vivienda	Número plantas SR	Número edificios	Número viviendas	Código
Unifamiliares	1	-	13	1A
Unifamiliares	1	-	19	1B
Unifamiliares	2	-	24	2A
Plurifamiliares	2	4	32	2B
Plurifamiliares	3	3	36	3A
Plurifamiliares	3	3	24	3B
Plurifamiliares	4	3	36	4A
Plurifamiliares	4	3	48	4B
Plurifamiliares	5	3	48	5A
Plurifamiliares	5	3	60	5B
Plurifamiliares	10	3	108	6A
Plurifamiliares	10	3	120	6B
<b>Número</b>	<b>total de tipos</b>	<b>proyectos</b>	<b>para cálculo CI:</b>	<b>12</b>

Tabla 6.29: Valor medio de los costes indirectos obtenidos clasificados el número de plantas sobre rasante

Número plantas SR	Valor medio CI (%)
1	6,84
2	8,81
3	10,30
4	10,19
5	8,79
10	7,96

Se adjunta la hoja de CI para el caso del proyecto c41, en la Tabla

Tabla 6.30: Datos generales del proyecto ejemplo (c41) para el cálculo de CI

Concepto	Unidad	Cantidad
CDE total	(€)	2.601.412
Plazo de ejecución	(meses)	12
Superficie construida	(m <sup>2</sup> )	5.550,50
Número de edificios		3
Número de plantas SR		4
Número de viviendas		48
Superficie de parcela	(m <sup>2</sup> )	-

Tabla 6.31: Ejemplo de Costes indirectos del proyecto ejemplo (c41) a partir de la hoja de cálculo del BCCA

Cód.	CONCEPTO	Ud.	Cant.	Precio (€)	Imp. (€)	Porc. s/ CDE (%)
<b>C12</b>	<b>CIE</b>				<b>240.049</b>	<b>10,60</b>
<b>C121</b>	<b>MANO OBRA IND.</b>				<b>49.602</b>	<b>0,0223</b>
C1211	Encargado	mes	12,00	2.867	34.404	0,0155
C1212	Capataces	mes	0,00	-	-	-
C1213	Almaceneros	mes	0,00	-	-	-
C1214	Guardería y listeros	mes	6,00	2.533	15.198	0,0068
C1215	Otros					
<b>C122</b>	<b>MEDIOS AUX.</b>				<b>72.105</b>	<b>0,0305</b>
<b>C1221</b>	<b>Mano de obra aux.</b>				<b>11.268</b>	<b>0,0051</b>
C12211	Pers. transp. interior	m <sup>2</sup>	5.550,50	0,45	2.498	0,0011
C12212	Pers. limp. gral. y regado	m <sup>2</sup>	5.550,50	0,83	4.607	0,0021
C12213	Rec. y trans. útiles y herr.	m <sup>2</sup>	5.550,50	0,75	4.163	0,0019
C12214	Otros					
<b>C1222</b>	<b>Materiales aux.</b>				<b>1.110</b>	<b>0,0005</b>
C12221	Pasta fij. reglas	m <sup>2</sup>	5.550,50	0,02	111	0,0000
C12222	Lad. y pastas el. prov.	m <sup>2</sup>	5.550,50	0,10	555	0,0002
C12223	Mat. para replant.	m <sup>2</sup>	5.550,50	0,08	444	0,0002
C12224	Agua	m <sup>2</sup>	5.550,50	-	-	-
C12225	Otros					
<b>C1223</b>	<b>Maquin., út. y herr.</b>				<b>59.728</b>	<b>0,0249</b>
C12231	Medios de elevación				35.776	0,0142
C122311	Grúa	mes	6,86	4.315	29.588	0,0114
C122312	Montaje y desm. grúas	u.	1,00	6.187	6.187	0,0028
C122313	Manipulador telesc.	mes	0,00	-	-	-
C122314	Plataf. elev.	mes	0,00	-	-	-
C122315	Montacargas	mes	0,00	638	-	-
C12232	Hormigoneras	mes	27,00	436	11.760	0,0053
C12233	Cortadoras	mes	4,00	217	869	0,0004
C12234	Andamios	m <sup>2</sup>	5.550,50	1	3.386	0,0015
C12235	Herramientas	m <sup>2</sup>	5.550,50	1	7.937	0,0036
C12236	Otros	mes	0,00	218	-	-
<b>C123</b>	<b>INST. ACC. Y COMP.</b>				<b>17.243</b>	<b>0,0078</b>
<b>C1231</b>	<b>Casetas de obra</b>				<b>14.243</b>	<b>0,0064</b>
C12311	Oficinas	mes	12,00	138	1.661	0,0007
	Aseos y vestuarios	mes	12,00	138	1.661	0,0007
	Comedor	mes	12,00	138	1.661	0,0007
	Sala prim. aux. (> 50 tr.)	m <sup>2</sup>	0,00	-	-	-
C12312	Sala reuniones	m <sup>2</sup>	0,00	-	-	-
C12313	Almacenes	m <sup>2</sup>	70,00	132	9.261	0,0042
<b>C1232</b>	<b>Acom. y tend. prov.</b>				<b>3.000</b>	<b>0,0013</b>
C12321	Acom. electricidad	u	1,00	1.500	1.500	0,0007
C12322	Acom. agua y saneam.	u	1,00	300	300	0,0001
C12323	Tendido eléctrico	u	1,00	1.000	1.000	0,0004
C12324	Instal. prov. de agua	u	1,00	200	200	0,0001
C1233	Viales, localiz. y repl.	u	0,00	867	-	-
C1234	Consumos	u	0,00	1.500	-	-
<b>C1235</b>	<b>Cons. eléctrico</b>	<b>m<sup>2</sup></b>	<b>5.550,50</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>-</b>
C1236	Otros					
<b>C124</b>	<b>PERSONAL</b>				<b>98.485</b>	<b>0,0443</b>
<b>C1241</b>	<b>Técnicos adsc. obra</b>					<b>0,0303</b>
C12411	Jefe de obra	mes	12,00	3.035	36.417	0,0164

Continúa en la siguiente página

Tabla 6.31 – continúa de la página anterior

Cód.	CONCEPTO	Ud.	Cant.	Precio (€)	Imp. (€)	Porc. s/ CDE (%)
C12412	Jefe de producción	mes	0,00	3.035	-	-
C12413	Técnicos Auxiliares	mes	12,00	2.586	31.034	0,0140
<b>C1242</b>	<b>Admin. adsc. perm.</b>	<b>mes</b>	<b>12,00</b>	<b>2.586</b>	<b>31.034</b>	<b>0,0140</b>
C1243	Otros					
<b>C125</b>	<b>VARIOS</b>				<b>2.613</b>	<b>0,0012</b>
<b>C1251</b>	<b>Gastos de ofic. y alm.</b>					<b>0,0012</b>
C12511	Gastos de oficinas	mes	12,00	218	2.613	0,0012
C1252	Otros					
C1253	Superficie de parcela	m <sup>2</sup>	-	-	-	-

## 6.7. Evaluación del impacto ambiental: Indicador HE

Según se desarrolla en la metodología propuesta en el presente modelo, incluida en el capítulo de Modelo teórico, y a partir de los datos y particularidades expuestos en el presente capítulo de Aplicación a España, se obtiene la evaluación ambiental de todos los proyectos planteados, así como de cualquier edificio propuesto de características similares a las del modelo.

Los resultados y la discusión de los mismos, así como los diferentes tipos de análisis posibles a partir del modelo desarrollado se presentan en el correspondiente capítulo de Resultados. Consiguiendo así el estudio de viabilidad económico y ambiental de la construcción de edificios de tipo residencial.



## Capítulo 7

# Aplicación a Chile

## 7.1. Introducción

Una vez desarrollada y validada la metodología del presente trabajo en España, se propone su aplicación al caso particular de Chile. En este segundo caso se plantean distintos objetivos. En primer lugar demostrar que la metodología es válida para cualquier país, con diferentes modelos económicos y de construcción, y a continuación plantear comparativas para determinar que vivienda es más sostenible.

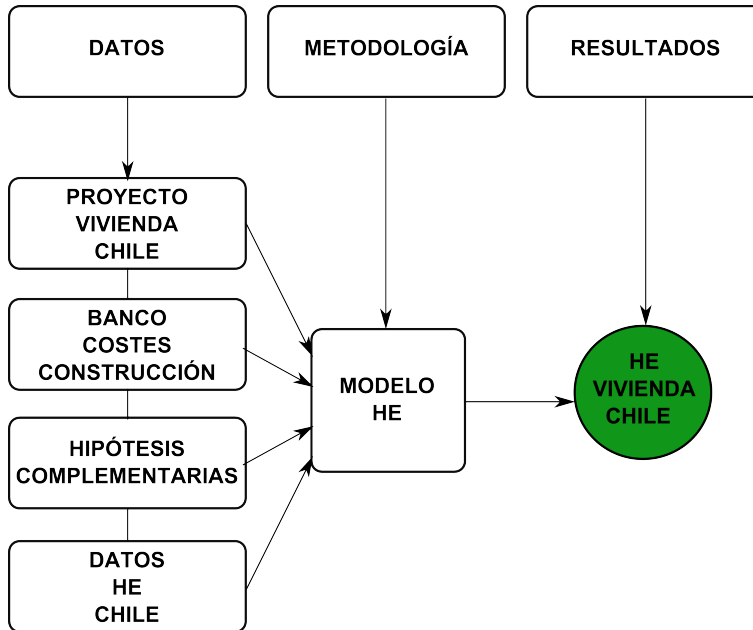


Figura 7.1: Metodología HE para el caso de Chile

Se sigue el procedimiento planteado en la presente investigación, el cual se resume en el diagrama de la Fig. 7.1, y se desarrolla en los siguientes apartados para el caso de Chile:

- Analizar cual es el tipo de vivienda más construido.
- Obtener bases de datos de costes de la construcción.
- Partir de un proyecto real de vivienda construida.
- Determinar los datos necesarios para la evaluación de la Huella Ecológica específicos.

## 7.2. Selección de tipología de vivienda

### 7.2.1. Industria de la construcción

Para definir el estado actual de la industria de la construcción en Chile se enmarca en primer lugar a nivel nacional, a continuación se hace un diagnóstico a nivel económico y productivo y finalmente se define el sector de la construcción en función de la productividad, sostenibilidad y tecnología.

#### Contexto nacional en el sector de la construcción

A nivel nacional el sector de la construcción de Chile es el sexto en importancia en términos de generación de producto interno bruto, con un 7,8 % de aporte al PIB y 8,4 % de empleos al 2015. Entre 2003 y 2010, la actividad de la construcción fue responsable del 55 % de la inversión total del país. Así, en el año 2012 del mercado total de la construcción un 35 % correspondieron a edificación, residencial y no residencial [73].

#### Diagnóstico económico y productivo

El diagnóstico del sector de la construcción, da cuenta de que existe conciencia de la necesidad de mejorar la productividad del sector y sus respectivos proyectos. También se observa el desarrollo de múltiples innovaciones en productividad, tanto en materiales, soluciones constructivas, capacitaciones y certificaciones para especialistas; y que existen casos particulares de constructoras que han generado sistemas de mejora de productividad en varios subsistemas constructivos con indicadores y mediciones sistematizadas [73]. Asimismo, entre las fortalezas del mercado asociadas a sostenibilidad se aprecia un alto nivel de iniciativas en los últimos años respecto a la concienciación y difusión de la edificación sostenible, con foco en el usuario final. En esta línea, se han llevado a cabo en Chile acciones de promoción de materiales sostenibles y certificaciones, como por ejemplo la Declaración Ambiental de Productos de la Construcción (DAPCO), ECOBASE, Certificación Nacional Edificio Sustentable (CES) y Manual de Construcción Sustentable (MINVU). Edificaciones privadas y públicas han adoptado voluntariamente procesos de certificación motivados por el ahorro de costes de operación, mantenimiento, y relación con grupos de interés, y existe un alto nivel de excelencia de la ingeniería estructural, tecnologías y sistemas antisísmicos. Dentro de las amenazas y debilidades para el sector se identifican principalmente el alto coste del precio de la energía, lo que genera desincentivos para la producción local de materiales y soluciones constructivas. En Chile

la modularización, industrialización y prefabricación es baja comparada con economías más desarrolladas donde existe alta intensidad de uso en este tipo de prácticas. Asimismo, faltan niveles de estandarización en los subsistemas constructivos lo que conlleva a un bajo nivel de eficiencia en procesos para el desarrollo y construcción de proyectos. Por otro lado, la financiación de viviendas públicas ha perdido efectividad debido a variaciones del coste del suelo y de la construcción en el mercado, y la complejidad de los procesos administrativos para acceder a ayudas públicas generan inequidad social.

### Sector de la construcción

Se define a partir de tres aspectos fundamentales: productividad, sostenibilidad y tecnología [73].

**Productividad:** En general, las empresas chilenas presentan una baja productividad determinada por aspectos de gestión y profesionalización, lo que genera dificultades para que desarrollen proyectos de gran escala con horizontes de largo plazo.

Por otra parte, el marco regulador y normativo para el sector no ha evolucionado con la velocidad necesaria para hacer frente a las necesidades actuales, presentando por ejemplo, un exceso de burocracia que ha influenciado en mayores plazos en comparación a la realidad internacional, afectando la productividad.

La industrialización y prefabricación de productos es baja y con una tendencia de crecimiento negativa, por lo que es un eje de trabajo que debe abordarse en distintas etapas de la obra y a través de distintos agentes.

**Sostenibilidad:** La construcción sostenible en Chile se ha desarrollado de manera incipiente, impulsada por el desarrollo e implementación de iniciativas privadas como LEED® y Passivhaus, y recientemente a partir del Código de Construcción Sustentable para Viviendas y CES que incluye al sector público como un importante actor. Sin embargo, se requiere el desarrollo de un marco normativo común que regule y defina los criterios, consideraciones y exigencias en materias de sostenibilidad en el sector. La inclusión de criterios sostenibles en la construcción, tanto en materiales como en procesos constructivos, requiere de la definición y difusión de estándares que establezcan marcos precisos en diferentes ámbitos, facilitando de esta manera la comunicación y coordinación de los agentes de la cadena de valor. Por otro lado, la percepción de valor de los usuarios en materias de construcción sostenible es considerada el elemento vinculante entre la oferta de productos y servicios sostenibles y la demanda que el mercado tiene por ellos. El conocimiento en Chile

de los usuarios es bajo, y por lo tanto la percepción de valor disminuye. Finalmente, la sostenibilidad se basa en los principios de reducción de consumo, reutilización de productos y en último término el reciclaje. Sin embargo, en Chile la oferta de proveedores de reciclaje es deficiente, lo que representa una brecha de cara a los objetivos de sostenibilidad. A nivel internacional, se han identificado modelos estandarizados y clasificación de productos, el desarrollo de una cultura de reutilización de reciclaje y una oferta amplia de proveedores de servicios y de industrias que utilizan productos reciclados.

**Tecnología:** Desde la perspectiva de la tecnología, en 2013 el gasto en I+D por parte de las empresas en el sector construcción representó sólo un 0,5% del total del gasto país. Esto se ubica muy por debajo de los sectores manufacturero, minero y agrícola, los que en conjunto significan un 56% de la inversión total.

Uno de los temas, son los sistemas de medición y bases de datos centralizados que permiten determinar el nivel de trabajo productivo del sector construcción.

### 7.2.2. Análisis de la vivienda

Para definir la tipología de vivienda social más construida en Chile en los últimos años, tenemos los datos de la Cámara Chilena de la Construcción, introduciendo en primer lugar como se ha desarrollado la vivienda y finalmente el tipo de vivienda más construida en función de los permisos de obra solicitados [74].

## Desarrollo habitacional

El desarrollo habitacional de Chile ha estado históricamente ligado a los ciclos económicos y a los efectos de la legislación en materia de vivienda. En particular, la actividad inmobiliaria durante 2010 y 2011 fue en promedio algo menos dinámica que en el período 2006-2009. Lo anterior fue reflejo, principalmente, del efecto del terremoto y maremoto del 27 de Febrero del año 2010 y de la crisis económica internacional de las subprime de 2009, lo que llevó a una contracción de la inversión privada y también de los permisos de edificación y de las ventas del mercado inmobiliario que no estuvieran subvencionadas por el Estado.

En contraste con el sector privado, la labor del Estado aumentó fuertemente en 2010 y después retornó a sus niveles promedio en 2011. Los resultados de 2010 se relacionan con las ayudas realizadas por el Gobierno que ante la coyuntura económica imperante, creó nuevos programas habitacionales que tenían por objetivo reactivar la actividad inmobiliaria, esto

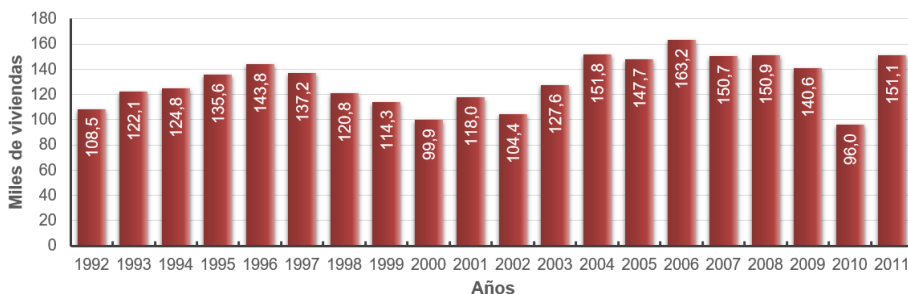


Figura 7.2: Permisos de edificación desde 1992 a 2011. Fuente: INE Chile.

se traduce en varios programas de ayudas. El primero en 2008, que introdujo una modificación al Sistema de Subsidio Habitacional (DS N°40) que disponía de un paquete de medidas orientadas a estimular la demanda de viviendas de los sectores medios de la población. El segundo, denominado Subsidio Extraordinario (DS N°04), comenzó a entregarse a principios de 2009 y permitía beneficiar a familias con mayor capacidad de ahorro y endeudamiento. La subida del año 2011 de la ejecución de viviendas se relaciona con los esfuerzos para reconstruir el país después del terremoto y maremoto, materializándose en un importante pago de subvenciones para reparación y mejora de las viviendas dañadas.

## Permisos de edificación

Un primer indicador de la actividad habitacional son los permisos de edificación para viviendas. Antes de analizar los datos, debemos recordar que éstos pueden no reflejar plenamente la actividad del sector, ya que todos los permisos no llegan a materializarse. Aún así son los datos más fiables de donde se puede obtener una estadística sobre edificación y representan al menos, la intención de inversión de cada año. La evolución de la construcción de edificios según el número de permisos de obra concedidos, se representa en la Fig. 7.2, en la cual se observa que la tendencia de los permisos de edificación está relacionada tanto con el ciclo económico como con las legislaciones en materia habitacional establecidas en cada momento [74].

Por otra parte se muestran las viviendas autorizadas por tramo de superficie para el período 2006-2011 en la Tabla 7.1. Se observa que la mayor parte de ellas se concentra en el segmento entre  $36 \text{ m}^2$  y  $70 \text{ m}^2$ , mientras que en el tramo inferior a  $35 \text{ m}^2$  se encuentra una proporción menor de permisos. Por ejemplo, mientras en 2006 las viviendas de hasta  $35 \text{ m}^2$  y entre  $36$  y  $70 \text{ m}^2$  representaban  $9,10\%$  y  $60,50\%$  del total, respectivamente, en 2011 estas proporciones llegaron a  $0,30\%$  y  $76\%$

Tabla 7.1: Porcentaje de viviendas por tramo de superficie sobre el total de viviendas aprobadas en cada año. Fuente: INE de Chile

m <sup>2</sup> /año	2006	2007	2008	2009	2010	2011	Promedio
Hasta 35,00 m <sup>2</sup>	9,10	5,50	2,00	2,60	2,20	0,30	3,60
de 35,10 a 70 m <sup>2</sup>	60,50	60,70	71,30	78,80	76,00	76,00	70,50
de 70,10 a 100 m <sup>2</sup>	20,90	21,60	17,00	9,30	13,10	14,00	16,00
de 100,10 a 140 m <sup>2</sup>	6,60	8,50	6,80	5,30	5,80	6,50	6,60
140,10 y más	2,90	3,80	2,80	4,00	3,00	3,20	3,30

cada una.

En el Balance de la Vivienda publicado en 2014 el último año analizado es el 2011, [74], la vivienda más construida es de tipo social, debido a los acontecimientos ocurridos en esas fechas y gracias a las subvenciones otorgadas por el Estado. La superficie construida está entre 35,10 y 70 m<sup>2</sup>. Para evaluar la HE se busca, por tanto, un proyecto con esas características.

### 7.3. Bases de costes de la construcción

Las bases de datos de este tipo las realizan empresas privadas y su acceso es mediante el pago de tasas correspondientes. La UBB ha tenido acceso a algunas de estas bases de datos, aunque actualmente no están actualizados los convenios. Se analizan dos bancos de costes de la construcción que la UBB nos ha podido facilitar, son los siguientes:

#### Base de costes 1 (BCC1): Análisis de Precios Unitarios del ONDAC Chile S.A.

ONDAC es una empresa privada dedicada a publicar bancos de costes de construcción. El documento del cual se dispone es del año 2010, en formato pdf. Como el principal objetivo de la presente investigación no es el análisis económico sino el de los rendimientos y consumos, que no esté actualizado no es determinante. Es un documento muy completo y el sistema de clasificación es similar al BCCA, se divide en diecinueve capítulos codificados con una letra, los cuales son: A. Instalaciones de faenas, B. Movimientos de tierras, C. Hormigones y morteros, D. Moldaje y andamios, E. Enfierraduras, F. Albañilería y mampostería, G. Estructuras de acero, H. Divisiones internas y carpintería, I. Techumbre, cubierta e impermeabilización, J. Cielos y aislación, K. Revestimientos, L. Pavimentos, M. Puertas, ventanas y vidrios, N. Quincallería, O. Hoja-

## HORMIGONES Y MORTEROS

HORMIGONES

Codigo	Descripcion	Unidad	Total
03244	HORMIGON ALTA RESIST. C/ACEL.	m3	70099

Codigo	Descripcion	Cantidad	Unidad	Precio	Total	Proveedor
09067	RIPIO CHANCADO F/15 KMS	0.7700	m3	15730	12112	<a href="#">ONDAC (REFERENCIAL)</a>
00869	ARENA (FLETE 15 km)	0.4500	m3	9620	4329	<a href="#">ONDAC (REFERENCIAL)</a>
01934	<b>f</b> CEMENTO POLPAICO ESPECIAL SC 42,5 KG.	7.0000	C/U	3655	25585	<a href="#">ONDAC (REFERENCIAL)</a>
00937	PERDIDAS	4.0000	%	-	1023	-
03293	<b>f</b> ELASTOCEL T4 SACO 30X850 GR 284943	7.0000	C/U	2292	16044	<a href="#">ONDAC (REFERENCIAL)</a>
42002	BETONERA 11p, 5hp	0.0500	dia	17182	859	<a href="#">ONDAC (REFERENCIAL)</a>
00764	CONCRETERO	0.9500	dia	8280	7866	<a href="#">ONDAC (REFERENCIAL)</a>
00935	LEYES SOCIALES (O.E.)	29.0000	%	-	2281	

Figura 7.3: Ejemplo de precio unitario descompuesto del Análisis de precios unitarios. Valores obtenidos de ONDAC online 2010 de Chile. Capítulo C. Hormigones y morteros.

latería, P. Instalaciones domiciliarias, Q. Urbanización, R. Obras civiles, S. Obras hidráulicas, además añade otros dos apartados sin codificar: Valor mano de obra y Otros. En cada capítulo encontramos a su vez subdivisiones en subcapítulos, los cuales no están codificados.

Cada subcapítulo incluye los precios unitarios, los cuales se clasifican mediante codificación de cinco números, sin que tengan correlación ni relación aparente entre ellos, y se definen con una descripción de la partida, unidad de medición, precio unitario, coste total y proveedor. Esta última columna relativa al proveedor del producto se puede consultar sólo si se tiene la clave (previo pago de tasas) para acceder por internet, de forma que conecta directamente con la base de datos de ONDAC, como se puede observar en la Fig. 7.3.

Cada precio unitario está descompuesto en precios básicos de materiales, mano de obra y maquinaria, además incluye en el mismo el concepto de pérdidas de material que se considera con un porcentaje sobre el total, y otro concepto de leyes sociales, que igualmente se aplica mediante un porcentaje sobre el total, este último se refiere a la parte de gastos que debe aplicarse a la mano de obra como seguridad social, finiquito o indemnizaciones por despido, lo cual se detalla en la Fig. 7.3.

Este documento es muy completo, aunque sería más fácil de usar si estuviera en otro formato o si se tuvieran los accesos correspondientes.



**Base de costes 2 (BCC2): Plantilla de Análisis de Precios Unitarios del SERVIU, DITEC 2012 y MINVU 2013.**

Siendo:

- SERVIU: Servicio de Vivienda y Urbanización Región del BioBío.
- DITEC: Dirección General de Investigación, Desarrollo e Innovación.
- MINVU: Ministerio de Vivienda y Urbanismo del Gobierno de Chile.

Este documento también incluye la tabla de Precios Unitarios del Programa de Protección del Patrimonio Familiar (PPPF) 2012. DITEC y Ministerio de Vivienda y Urbanismo del Gobierno de Chile (MINVU) 2013. Esta base de datos se facilita en formato Excel, los precios están actualizados a 2013. Es un banco de precios desarrollado específicamente por la Dirección General de Investigación, Desarrollo e Innovación (DITEC) para ejecución de viviendas y en particular enfocado en la mejora energética de las mismas. No es por tanto, tan global como el anterior. Sin embargo es un documento muy válido por el tipo de proyecto que se está analizando, de vivienda social mejorada energéticamente, y además por su formato que facilita el manejo de la información.

El documento se divide a su vez en tres partes: Coste de materiales, Tabla de precios unitarios PPPF, y Precios Unitarios PPPF térmico. El Coste de materiales está clasificado en tres partes: tradicionales, patrimoniales y acondicionamiento térmico. Se definen los materiales codificados numéricamente, a continuación descripción breve del precio básico, unidad de medición, coste unitario UF (sin IVA), observaciones materiales y precio (sin IVA) en pesos chilenos.

Se incluye en este apartado además la mano de obra, clasificada en mano de obra patrimonial por especialidad y mano de obra por especialidad. Se define una codificación correlativa numérica, descripción de la especialidad, unidad de medición (HD), coste por día (UF), valor mensual (UF) y valor mensual en peso chileno. La tabla de precios unitarios PPPF, se divide en dos grupos, el primero (sin ninguna denominación) se clasifica en tres grandes capítulos: obra gruesa, terminaciones e instalaciones. El segundo bloque se denomina Partidas patrimoniales y su clasificación es igual a la del primer bloque. Se definen las partidas de igual forma en ambos, en primer lugar se clasifican mediante numeración, a continuación descripción breve del precio unitario, unidad de medición, y precio total en UF y en peso chileno. Cada uno de los precios básicos incluye el descompuesto en precios básicos de material, mano de obra,

TABLA DE PRECIOS UNITARIOS PPPF 2012					
(Actualización de UF a marzo 2013)					
N°	DESCRIPCIÓN DE PARTIDA	UNIDAD	RENDIMIENTO	COSTO UNIT UF	TOTAL UF
<b>A</b>	<b>OBRA GRUESA</b>				
49	HORMIGON 225 K/Cem/m³ H-10 + ADITIVO IMPERMEABILIZANTE	m³			<b>1,79</b>
	Cemento especial	saco	5,3	0,15	0,79
	Arena gruesa	m³	0,47	0,25	0,12
	Grava	m³	0,8	0,43	0,34
	Aditivo impermeabilizante	lt	3,85	0,03	0,10
	Pérdidas	%	0,03	1,35	0,04
	Ayudante	HD	0,8	0,39	0,31
	Leyes Sociales	%	0,29	0,31	0,09

Figura 7.4: Ejemplo de precio unitario descompuesto de la Tabla de Precios Unitarios PPPF 2012 con actualización monetaria al 2013. Capítulo Obra Gruesa. Hormigón.

maquinaria, consumo de combustible de la maquinaria, pérdidas y leyes sociales. Los precios básicos no tienen codificación, se incluye descripción resumida, unidad de medición, rendimiento, coste unitario (UF), precio total (UF), como se refleja en la Fig. 7.4. Para obtener el precio final en pesos chilenos, el documento incluye aparte la actualización del UF a 2013 en pesos chilenos.

## 7.4. Evaluación de la HE

Para evaluar la HE de Chile, o de cualquier otro país, se sigue la metodología planteada en la presente investigación del Modelo HE para la construcción de edificios, añadiendo los datos específicos de cada país así como las hipótesis complementarias que sean diferentes según cada proyecto y/o país.

La HE se define a partir de las huellas parciales de energía, bosques, cultivos, mar, pastos y superficie consumida, como ya se ha explicado a lo largo del presente trabajo, para su cuantificación se necesitan una serie de datos generales, que son globales para todo el mundo, y otros específicos de cada país. Aunque cada una de las huellas parciales se calcula de forma diferente como se ha desarrollado previamente en la metodología del Modelo HE, se representa esquemáticamente el cálculo general de las mismas en la Fig. 7.5, donde las dos primeras celdas de 1er y 2do nivel, resumen la primera parte del diagrama principal, que indican las fuentes de impactos a partir de los cuales se obtienen los consumos, ya sean materiales, mano de obra, maquinaria etc., Se aplican las hipótesis complementarias del país específico, así como los factores y coeficientes necesarios particulares del país y a nivel mundial, a partir

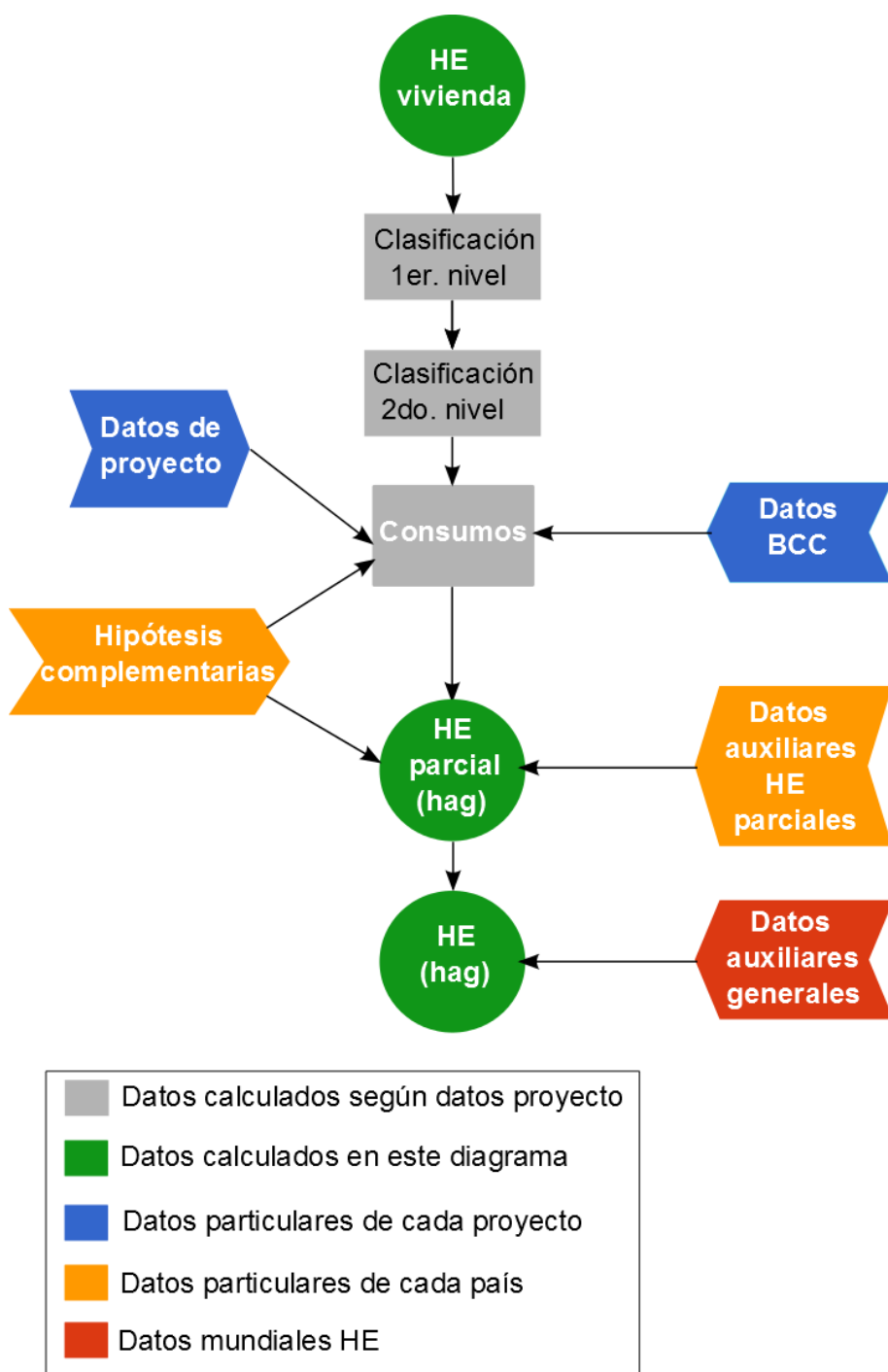


Figura 7.5: Diagrama resumen de cálculo de huellas parciales.

de los cuales se definen las huellas parciales y la HE. A continuación, se enumeran brevemente las particularidades para el caso de Chile:

- **Energía:** hay que aplicar el mix energético de cada país. En el caso de Chile además es diferente en función de la región, debido a la gran extensión geográfica, y la diferencia de recursos y climatologías en cada una de sus regiones. Se aplica, por tanto, el mix energético de la región donde esté situada la vivienda. Las fuentes de impacto de la energía son las siguientes:
  - **Electricidad:** general para toda la obra, dependerá del mix energético de Chile y del consumo de la obra.
  - **Agua:** la cantidad de energía necesaria para el consumo de 1 m<sup>3</sup> es diferente en cada país, depende igualmente del mix energético y de otras particularidades como la infraestructura necesaria para el abastecimiento así como de la geografía del lugar.
  - **Fabricación de los materiales:** no hay cambios, ya que no se dispone de una base de datos de análisis de ciclo de vida (ACV) de los materiales chilena, se utilizan, por tanto, los datos de ACV europeos.
  - **Transporte de los materiales:** cambian las hipótesis según la procedencia de los materiales, la distancia de la fábrica o almacén hasta la obra y el tipo de vehículo empleado.
  - **Transporte de los residuos de construcción y demolición:** cambian las hipótesis de transporte, dependerá de las dimensiones del tipo de vehículo utilizado y de la distancia a la gestora de residuos.
  - **Alimentación de los trabajadores:** la manufacturación de alimentos es diferente al tener un tipo de dieta distinto.
  - **Residuos sólidos urbanos:** dependen del consumo de energía consumido en el tratamiento de los residuos.
  - **Maquinaria:** eléctrica y/o de combustible, los datos de combustible dependen del rendimiento del motor según el tamaño y tipo de la maquinaria empleada y la electricidad depende del mix energético.
- **Cultivos, mar y pastos:** dependen del consumo de alimentos que se realiza, el cual es diferente en cada país. Se definen los tipos de alimentos consumidos, así como la cantidad por año, día y persona.

- Bosques: depende de la madera empleada y de cual sea su procedencia. En este caso, es un material fundamental para el proyecto, y muy utilizado en los edificios chilenos, ya que es un recurso muy abundante y que se adapta muy bien a las condiciones sísmicas a cumplir en el país.
- Superficie consumida: no existen diferencias, se sigue el procedimiento planteado en la metodología.

A continuación se justifican las particularidades del caso de Chile que se aplican a la metodología del Modelo HE:

#### 7.4.1. Electricidad

En el mercado eléctrico chileno es posible identificar las actividades de generación y distribución de suministro eléctrico y todas ellas son desarrolladas por empresas capitales privadas, reguladas y fiscalizadas por el estado.

Las condiciones geográficas de Chile, han determinado el desarrollo de cuatro sistemas independientes: Sistema Interconectado del Norte Grande (SING), Sistema Interconectado Central (SIC), Sistema Eléctrico de Aisén y el de Magallanes, con diferentes fuentes de energía según los recursos disponibles en cada una de las zonas, los cuales se representan en la Fig. 7.6, [75].

Participan de la industria eléctrica nacional empresas generadoras y distribuidoras, que son responsables de la generación, transmisión y distribución de la energía eléctrica, de forma independiente en los cuatro sistemas del país [76].

- Generación: En Chile, la generación eléctrica tiene dos fuentes principales: hidráulicas y térmicas, junto con otros tipos de energía que están en desarrollo y cada vez van tomando mucho más fuerza en el parque generador, como la energía eólica. Las centrales térmicas comunes son alimentadas con diferentes combustibles tales como el carbón, gas natural, el petróleo, la leña y deshechos. La más moderna es la generación térmica de ciclo combinado a gas natural, incorporada al sistema central a mediados del año 1999. Las centrales hidroeléctricas, por lo general, se caracterizan por ser más económicas; pero, dada la geografía de Chile, se ubican en la zona sur del país. Finalmente, es importante destacar la generación eólica que se desarrolla en las regiones de Coquimbo, Biobío y Aisén.

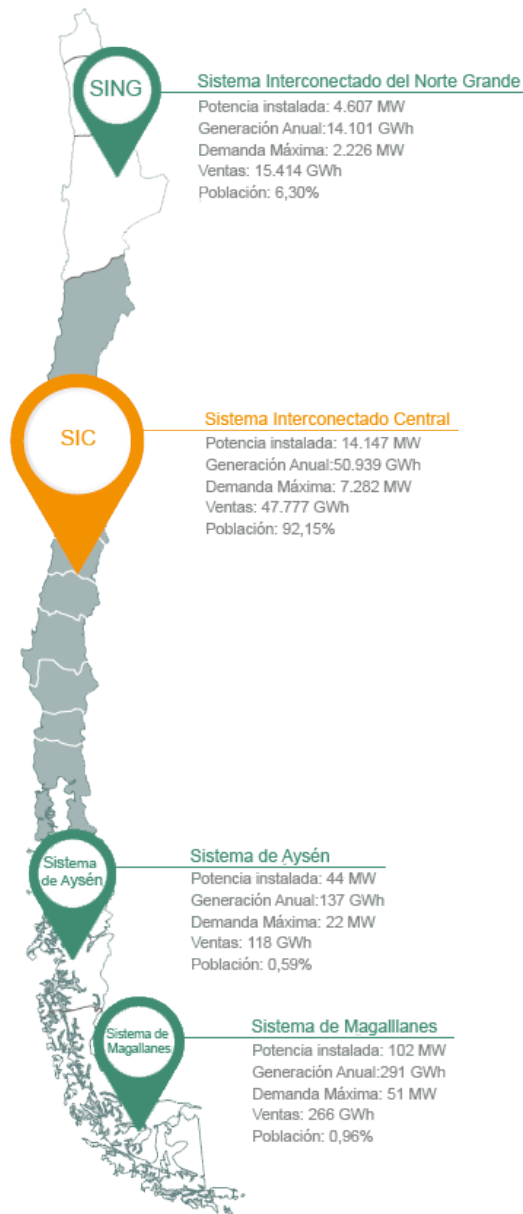


Figura 7.6: Mapa nacional con los sistemas eléctricos y resumen de datos estadísticos eléctricos más relevantes. Año 2013. Fuente: Anuario 2013 del CDEC-SIC.

- **Transmisión:** El sistema de transmisión eléctrica, corresponde al conjunto de líneas, subestaciones y equipos destinados al trans-

porte de electricidad desde los puntos de producción (generadoras) hasta los centros de consumo o distribución. En Chile por ley se considera transmisión a toda línea o subestación con un voltaje o tensión superior a 23.000 voltios, si es menor, se consideran como distribución.

De acuerdo al destino de la energía eléctrica, las generadoras se pueden clasificar en: Generadoras de Servicio Público y Autoproductoras.

- **Distribución:** El proceso de distribución corresponde a la energía eléctrica que se vende a baja tensión a los diferentes tipos de clientes finales, entre los que se encuentran principalmente las empresas industriales, mineras y consumo domiciliario. en general, la distribución se efectúa por empresas de distribución dentro de la zona geográfica de concesión que tienen las distribuidoras.

A continuación se definen los cuatro sistemas eléctricos del país [75] (ver Fig. 7.6):

- **Sistema Interconectado del Norte Grande (SING):** Este sistema fue inaugurado en 1987 y abarca desde Arica por el norte hasta Antofagasta por el sur, cubriendo una superficie de 185.142 km<sup>2</sup>, lo que representa un 24,50 % del territorio de Chile continental. Aproximadamente el 90 % de sus clientes son mineros e industriales.
- **Sistema Interconectado Central (SIC):** El SIC es el principal sistema eléctrico del país y abastece a más del 90 % de la población del país. Se extiende desde la ciudad de Taltal (región de Antofagasta, segunda región) hasta la Isla Grande de Chiloé (décima región), abarcando una superficie de 326.412 km<sup>2</sup>.
- **Sistema Eléctrico de Aisén:** Localizado en la décimo primera región, abarca una superficie de 108.494 km<sup>2</sup>. Este sistema es un 0,4 % del total de la potencia instalada del país.
- **Sistema Eléctrico de Magallanes:** Este sistema se encuentra en la Región de Magallanes y de la Antártica Chilena y abastece a las ciudades de Punta Arenas, Puerto Natales y Puerto Porvenir, abarcando una superficie de 38.400 km<sup>2</sup>. Equivale al 0,7 % de la capacidad total del país y el 100 % de la energía generada corresponde al tipo termoeléctrica.

### 7.4.2. Agua

Chile es uno de los países privilegiados en cuanto a la disponibilidad de recursos hídricos de superficie a nivel mundial, y cuenta con una de las mayores reservas de este recurso en Campos de Hielo Norte y Sur, en la zona austral. Sin embargo, este patrimonio está irregularmente distribuido en el territorio nacional, a causa de las diversas condiciones físicas y climáticas. Mientras la zona norte es sumamente árida, con una disponibilidad de recursos hídricos de menos de  $500 \text{ m}^3/\text{habitante/año}$ , en la zona sur existen zonas de gran abundancia, con niveles que superan los  $160.000 \text{ m}^3/\text{habitante/año}$  [77].

El estado de los recursos hídricos en Chile, tanto cualitativa como cuantitativamente, es una información muy importante para el país, no sólo por la importancia del agua para la supervivencia de la población, sino también porque toda su economía se basa en el uso de este recurso y asegura la sostenibilidad de su economía y productividad. Este es un problema grave, ya que un uso intensivo de los recursos requiere de una alta eficiencia hidrológica para garantizar la sostenibilidad económica y ambiental; por lo tanto, es fundamental contar con políticas públicas adecuadas para garantizar un eficiente sistema de gobierno, así como de información sobre la disponibilidad de los recursos hídricos en el país, donde la precipitación muestra una variabilidad significativa [78].



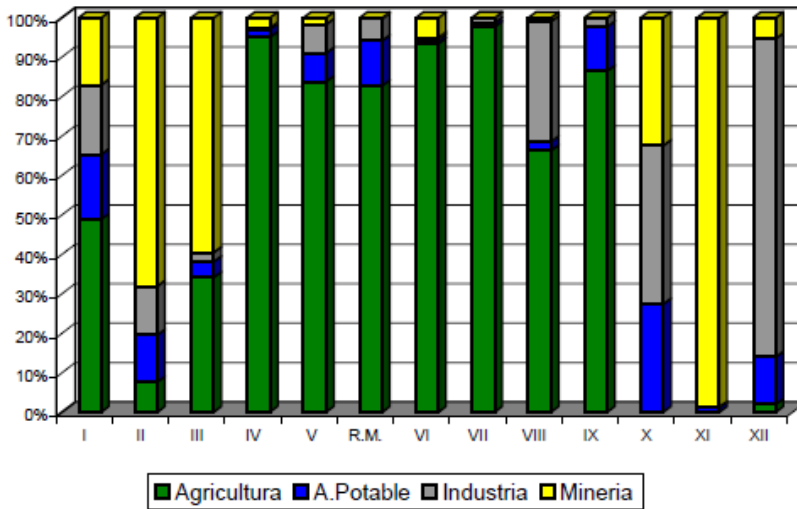


Figura 7.7: Demanda de uso consuntivo de aguas en Chile, según regiones (en %). Fuente. Dirección General de Aguas (DGA) 1999. Citado por Matus, Nancy. Recursos Hídricos en Chile. Desafíos para la Sustentabilidad” Programa Chile Sustentable 2004.

Según sus necesidades específicas, las diversas regiones del país enfrentan diferentes desafíos en la gestión y manejo de sus recursos hídricos para uso consuntivo. Mientras en la Región I hay un equilibrio entre los usos doméstico, minero, industrial y agrícola, en las II y III el uso minero es preponderante. Ver la Fig. 7.7. De la IV a la IX Región predomina el uso para riego agrícola. En la Región Metropolitana y en la V, el uso doméstico es un poco más significativo que en las regiones vecinas. Finalmente, en la XI y X la minería otra vez adquiere especial relevancia, debido a la industria petrolera. Y en la XII sobre todo a la industria y parte al agua potable [79].



Figura 7.8: Mapa nacional de las regiones de Chile

Sin embargo, actualmente en Chile la gestión del agua está controlada por empresas privadas [80], se diferencian por regiones debido a la gran diferencia geográfica entre ellas y a la casuística tan diferente del recurso del agua en cada región. Existen actualmente once empresas sanitarias, cada una de ellas controla y gestiona la prestación de servicios de agua potable y saneamiento correspondiente a una o varias regiones.

Se describen a continuación [81] y se pueden consultar las regiones en la Fig. 7.8:

- Aguas del Altiplano, regiones XV y I.
- Aguas Antofagasta, región II
- Aguas Chañar, región III
- Aguas del Valle, región IV
- Esva, región V
- Aguas Andinas, Aguas Cordillera y Aguas Manquehue, región metropolitana
- Essbio/ Nuevosur, regiones VI, VII, VIII
- Aguas Arucanía, región IX
- Essal, regiones, X y XIV
- Aguas Patagonia, región XI
- Aguas Magallanes, región XII

Según lo ya expuesto, para el caso particular de Chile, se justifica considerar los datos de la región donde se sitúe el proyecto que se evalúe, debido a la gran diferencia entre unas zonas y otras.

#### 7.4.3. Combustible

Se sigue la metodología del modelo HE en donde el combustible se emplea en los vehículos de transporte de materiales y residuos y en la maquinaria de obra. El combustible empleado es el gasoil y su consumo en todos los casos dependerá del tipo de vehículo o máquina y del rendimiento del motor.

#### 7.4.4. Materiales

El impacto producido por los materiales de construcción se debe a tres factores: la fabricación, el transporte de los mismos de la fábrica o polvero a la obra y finalmente el transporte de los residuos de construcción y demolición. Para el caso de Chile se definen a continuación:

## **Fabricación**

La fabricación de los materiales depende de la fuente de energía utilizada en cada país, definida según su mix energético. Sin embargo, en Chile no se dispone de una base de datos de análisis de ciclo de vida (ACV) de los materiales, se utilizan, por tanto, los datos de ACV europeos. La metodología es la desarrollada en el modelo HE.

## **Transporte**

Para el transporte de los materiales cambian las hipótesis de la distancia entre la fábrica o almacén, hasta la obra, por tanto tenemos que tener en cuenta la situación de las viviendas a construir.

Se hace un estudio de procedencia del material, en Chile dependerá si es importado de otros países, en cuyo caso la distancia de transporte a considerar es desde la capital, Santiago de Chile, o si son productos chilenos, los cuales a su vez se clasifican en nacionales o regionales. Todo ello se estudia en función de los materiales empleados en el proyecto y de dónde se sitúa la vivienda a construir, para calcular la distancia de los transportes.

## **Residuos de construcción y demolición (RCD)**

Chile no tiene actualmente una normativa avanzada en cuanto a gestión de RCD tal cual se tiene hoy día en España. Se están realizando proyectos de ley y hay muchas iniciativas para que exista dicha normalización, y existen diferentes puntos de gestión de residuos aunque el reciclaje no sea obligatorio si no es un residuo peligroso.

El sector de la construcción, además de representar un gran aporte al desarrollo productivo del país, es una actividad que demanda altos niveles de consumo de recursos no renovables y de energía en sus distintas formas. Por esto, al igual que muchas otras actividades industriales desarrolladas en áreas urbanas, es una fuente constante de generación de residuos, los que proceden en su mayor parte de las demoliciones de edificios, excavaciones, ejecución de trabajos de construcción de nuevas plantas, y rehabilitación o reparación de edificios.

Según informe CONAMA 2010 [82], el sector construcción es el mayor generador de residuos, con una participación que varía entre el 26 % y el 34 % en el período 2000-2009 respecto al total de residuos generados por el país.

La composición de residuos varía según el tipo de infraestructura, la etapa en que se encuentre el proyecto y el tipo de materiales utilizados, tratándose de residuos constituidos básicamente por tierras y áridos

mezclados, restos de hormigón, ladrillos, cristales, pavimentos asfálticos, materiales refractarios, plásticos, yesos y maderas. Éstos son por lo general de difícil manejo y disposición, lo que unido a su falta de periodicidad, impide incorporarlos satisfactoriamente en la gestión de residuos sólidos municipales.

El problema medioambiental que conlleva la producción de residuos de construcción y demolición se deriva no solo del creciente volumen de su generación, sino también de su tratamiento. Entre los impactos negativos al medio ambiente, cabe destacar la contaminación de suelos y acuíferos en vertederos incontrolados, el deterioro paisajístico, la disposición al borde de vías públicas, la mezcla con otros residuos tales como urbanos y peligrosos, la sepultación de suelos aptos para otros usos, y la eliminación de estos residuos sin aprovechar la parte valorizable [83].

Además de la escasez de normativa, cabe señalar que por esta misma razón no existe una completa voluntad del sector en abordar el tema de los residuos de construcción, pues hasta el día de hoy, no forman parte de la cultura de la obra. Todo esto limita las posibilidades de una expansión del mercado del reciclaje y valorización de los residuos lo que hace que los costos de gestión de residuos de construcción sean muchas veces poco viables económicamente [84].

Sin embargo, en países desarrollados se han adoptado fuertes iniciativas que tienden a regular la gestión de residuos de construcción y demolición haciendo especial hincapié en las posibilidades de reutilización, reciclado y/o generación en materiales secundarios. En la Comunidad Europea, por ejemplo, existe un creciente interés por el cuidado del medio ambiente, por lo que en materia de gestión de residuos se han implementado medidas regulatorias de carácter normativo que esencialmente se refieren a restricciones o prohibiciones sobre el vertido, impuestos sobre el mismo y establecimiento de objetivos de maximización de reciclaje y minimización de vertido [73]. Estas medidas han tenido excelentes resultados gracias al trabajo que llevan a cabo las administraciones públicas y sectores industriales de los Estados miembros, que crean instrumentos para la gestión de residuos.

En Chile, todas las certificaciones asociadas con la sostenibilidad cuentan entre sus componentes con requisitos asociados a la gestión y manejo de residuos, tanto en la construcción como en la fase de uso del edificio.

Entre las condiciones de evaluación, se plantea que los requisitos se apliquen a todas las ciudades y localidades de Chile, salvo en aquellas donde no existen empresas certificadas con la capacidad de retirar, controlar y manejar residuos, y/o donde no existen vertederos autorizados para la disposición de los residuos, incluidos los inertes. Se aplica por

lo tanto al menos a los proyectos ubicados en las ciudades y localidades cercanas a Temuco, Puerto Montt , Antofagasta, La Serena, y toda la Región Quinta y Metropolitana.

Por otro lado la escasez de recintos autorizados para el depósito de escombros de manera formal aumenta considerablemente los costes del uso de una alternativa legal ya que pueden estar en lugares muy alejados. Es por ello que en muchas ocasiones se opta por el retiro informal de los residuos, que posteriormente son depositados en lugares no habilitados, con el correspondiente impacto medioambiental [73].

Actualmente la gestión eficiente y segura de residuos industriales, mineros y domésticos debe realizarse cumpliendo la normativa y legislación vigente [85]. A continuación, detallamos las principales normas por las que se rige esta actividad en Chile:

La promulgación en 1994 de la ley 19.300/97 sentó las Bases Generales del Medio Ambiente. Esta ley entregó instrumentos legales que llenaron el vacío existente en el ordenamiento jurídico chileno en relación al medio ambiente. Así, se dio cuenta del compromiso de las autoridades nacionales con el desarrollo sostenible y la protección del entorno.

A su vez, la ley 19.300/97 dio vida al Sistema de Evaluación de Impacto Ambiental al que deben someterse todos los proyectos de inversión y actividades productivas para determinar los efectos reales que su operación tendrá sobre el medio ambiente.

A esta norma se sumaron los desafíos impuestos por la entrada en vigencia del Decreto Supremo N° 148 (2003) que representa un significativo avance para mejorar la gestión del país en el control y manejo de residuos peligrosos.

Por su parte, Chile ha suscrito convenios internacionales como el de Basilea, que rige el movimiento transfronterizo de residuos peligrosos; y el Convenio de Estocolmo, sobre compuestos orgánicos persistentes que ha impuesto mayores controles a las actividades industriales y, específicamente, a la industria química.

Es importante destacar el Decreto Supremo N°148 (2003) el cual fija los criterios para la clasificación de los residuos peligrosos, y entrega también los procedimientos analíticos para determinar dichas características de peligrosidad. Asimismo, establece listados que permitirán a las empresas identificar de una manera simplificada los residuos peligrosos que generan; además de establecer criterios para la clasificación de los residuos peligrosos y las responsabilidades para los generadores, transportistas y destinatarios de estos.

Para poder contabilizar los RCD y su HE tenemos, por tanto, que localizar una planta de gestión de residuos lo más cercana posible a la situación de la obra del proyecto analizado.

### 7.4.5. Mano de obra

El impacto producido por la mano de obra se traduce en la alimentación consumida por los mismos y los residuos sólidos urbanos (RSU) generados durante la jornada laboral, como se define en la metodología del Modelo HE. A continuación se definen para el caso de los obreros de Chile.

#### Alimentos de los trabajadores

El consumo de alimentos en Chile, en el año 2011, es en total de 2.63 kg/día/persona, según los datos publicados por la FAO. Se desglosan en función de los alimentos consumidos en la Tabla 7.2 [49].

Tabla 7.2: Consumo de alimentos por persona y día, en Chile en el año 2011, según datos publicados por la FAO.

Grupo de alimentos	Total (kg/día)	Porcentaje (%)
Cereales - excluida cerveza	0,42	16,03
Almidón de raíces	0,21	7,91
Cultivos azucareros	0,31	11,75
Azucar y dulcificantes	0,13	5,06
Legumbres secas	0,01	0,36
Nueces	0,00	0,09
Cultivos oleaginosos	0,05	1,87
Aceites vegetales	0,02	0,81
Hortalizas	0,25	9,32
Frutas - excluido Vino	0,47	17,92
Estimulantes	0,01	0,31
Especias	0,00	0,01
Bebidas alcohólicas	0,16	6,06
Carne	0,22	8,34
Vísceras	0,01	0,20
Grasas animales	0,01	0,50
Huevos	0,03	1,07
Leche - excl. mantequilla	0,29	10,95
Pescado y frutos de mar	0,04	1,37
Prod acuáticos, otros	0,00	0,07
<b>Total</b>	<b>2,63</b>	<b>100</b>

Se aplica a la metodología desarrollada y se obtiene la HE de la alimentación del trabajador en Chile por hora o jornada laboral.

### Residuos sólidos urbanos (RSU)

Para obtener los datos necesarios y evaluar los RSU, según la metodología desarrollada, se necesita la cantidad de residuos generados por persona al año en Chile. Debido a la particularidad geográfica del país, se plantea el análisis por regiones, lo cual se presenta en la Tabla 7.3. En primer lugar se aportan los RSU generados al año en toneladas, para el año 2009 [82], y se calcula el porcentaje que cada región supone sobre el total. Se aportan además los datos de población obtenidos a partir de los datos demográficos de Chile del 2010 [86]. Así se observa que la región que más RSU genera es la Metropolitana con un 43,07 %, debido a la gran concentración de población en esta región, seguidos de las regiones del Bío Bío y Valparaíso, con un 9,91 y 9,02 % respectivamente, seguidos de la región de la Araucanía, donde se encuentra nuestro proyecto, que representa el 6,52 % sobre el total. Se aplican estos datos a la población estimada al 30 de Junio de 2010 [86], y se obtiene la cantidad de RSU al año por persona, expresada en kg. El total del país es 381 kg/persona/año, y la región de la Araucanía genera, 438 kg/persona/año, lo cual es un resultado más elevado que el total anual de Chile.

Tabla 7.3: Datos de RSU generados en el año 2009 y población por regiones estimada por el INE al 30 de Junio de 2010

Regiones de Chile (Nombre y número)	RSU (t/año)	Porcentaje (%)	Población Junio 2010	RSU (kg/pers/año)
ARICA Y				
PARINACOTA (XV)	114.489	1,76	184.957	619
TARAPACÁ (I)	189.806	2,91	314.534	603
ANTOFAGASTA (II)	196.289	3,01	575.268	341
ATACAMA (III)	103.433	1,59	280.543	369
COQUIMBO (IV)	220.860	3,39	718.717	307
VALPARAÍSO (V)	587.600	9,02	1.759.167	334
LIBERTADOR				
B. O'HIGGINS (VI)	239.833	3,68	883.368	271
MAULE (VII)	359.862	5,52	1.007.831	357
BÍO BÍO (VIII)	645.875	9,91	2.036.443	317
<b>ARAUCANÍA (IX)</b>	<b>425.234</b>	<b>6,52</b>	<b>970.419</b>	<b>438</b>
LOS RÍOS (XIV)	147.563	2,26	379.709	389
LOS LAGOS (X)	369.925	5,68	836.256	442
AYSÉN (XI)	44.918	0,69	104.843	428
MAGALLANES (XII)	64.524	0,99	158.657	407
METROPOLITANA	2.807.247	43,07	6.883.563	408
<b>Total RSU</b>	<b>6.517.458</b>	<b>100,00</b>	<b>17.094.275</b>	<b>381</b>



A partir del trabajo desarrollado [87], se obtiene el valor de emisiones de CO<sub>2</sub> por la gestión de los RSU en Chile.

Tabla 7.4: Datos para obtener factor de emisiones de CO<sub>2</sub> de la gestión de los RSU en Chile

kg RSU/ pers/día	t RSU/ pers/año	t CO <sub>2</sub> / pers/año	Factor de emisión tCO <sub>2</sub> / t RSU
1,20	0,438	0,143	0,33

En este caso no se ha encontrado un valor más actualizado ni específico por regiones. Se recogen los datos en la tabla 7.4, donde se define un valor de 0,33 tCO<sub>2</sub> por t de RSU generado, todo ello para el año 2007 en Chile. Si lo comparamos con el dato para España que es de 0,24 tCO<sub>2</sub>/t RSU, vemos que el dato es un 70 % del valor chileno, tal vez debido a las distancias recorridas en el transporte. Estos valores vienen determinados por la eficiencia de la gestión de los residuos, lo cual se está intentando mejorar en cada país.

Los datos finales para evaluar la HE de los RSU generados por la mano de obra se resumen en la Tabla 8.31.

Tabla 7.5: Datos de RSU en Chile, consumo y emisiones

RSU por persona y año en Chile (kg)	Horas efectivas generadoras de RSU (h)	Factor de emisión (t CO <sub>2</sub> / t RSU)
438,00	16,00	0,33

#### 7.4.6. Maquinaria

La maquinaria empleada en la obra se evalúa según la metodología planteada en el modelo. Puede ser tanto eléctrica, como de combustible. La maquinaria eléctrica se cuantifica en función del mix energético de Chile, y la de combustible dependerá del rendimiento del motor de la maquinaria empleada.

#### 7.4.7. Costes indirectos (CI)

Para el caso de Chile, se consideran los mismos criterios e hipótesis del Banco de Costes de Andalucía, a falta de una metodología chilena. Es necesario conocer la organización de la obra completa para establecer los factores que determinan los costes indirectos.

## 7.5. Adaptación del proyecto al Modelo HE

Para poder evaluar la HE de un proyecto de viviendas en Chile, se tendrá que adaptar el proyecto a los criterios establecidos en la metodología general. Para ello se enumeran los pasos a seguir y se representa esquemáticamente en la figura Fig. 7.9:

- Se comienza con el análisis del proyecto a partir de la documentación, en este caso aportada por la UBB y el CITEC: memoria, especificaciones técnicas y planos. En la metodología desarrollada las mediciones y presupuesto del proyecto son parte fundamental, sin embargo en Chile no forman parte del mismo y se desarrolla en una fase posterior, siendo redactadas por las empresas constructoras licitadoras y/o ejecutoras de la obra.
- La metodología del modelo HE se basa además en un banco de costes de la construcción (BCC) para poder obtener los recursos necesarios en cada proyecto. Por tanto, el segundo paso será analizar los BCC accesibles en Chile para este proyecto y realizar una comparativa con el BCCA, base del modelo desarrollado para España. Los criterios de clasificación y descomposición de precios en materiales, mano de obra y maquinaria, son similares a los del BCCA, pero en algunos aspectos difieren o son insuficientes.
- En tercer lugar se realizan las mediciones y presupuesto del proyecto, a partir de la memoria, especificaciones y planos, además de los precios unitarios simples y descompuestos del BCC seleccionado. Como ya se ha mencionado, en Chile no se incluye este documento en la redacción del proyecto, el cual es responsabilidad de la constructora que se presente a licitación y/o ejecute la obra. Esta documentación no es pública, por tanto, se tiene que desarrollar en el presente trabajo.
- A continuación, se elabora un banco de cuantificación de recursos específico para el caso a estudiar. En el caso particular de España se analizaron 96 proyectos y el BCRR se desarrolla de una forma más genérica para abarcar esa cantidad. En el caso de Chile se aplica el modelo a un proyecto en concreto, con soluciones constructivas particulares del mismo.
- Finalmente, se actualizan los datos específicos del indicador HE para el caso de Chile. Al analizar proyectos en diferentes países hay que tener en cuenta las diferencias importantes para el empleo del indicador HE, como son el mix energético empleado en cada país,

las distancias en cuanto al transporte de materiales, el rendimiento de maquinaria y vehículos, la alimentación de los trabajadores, etc.

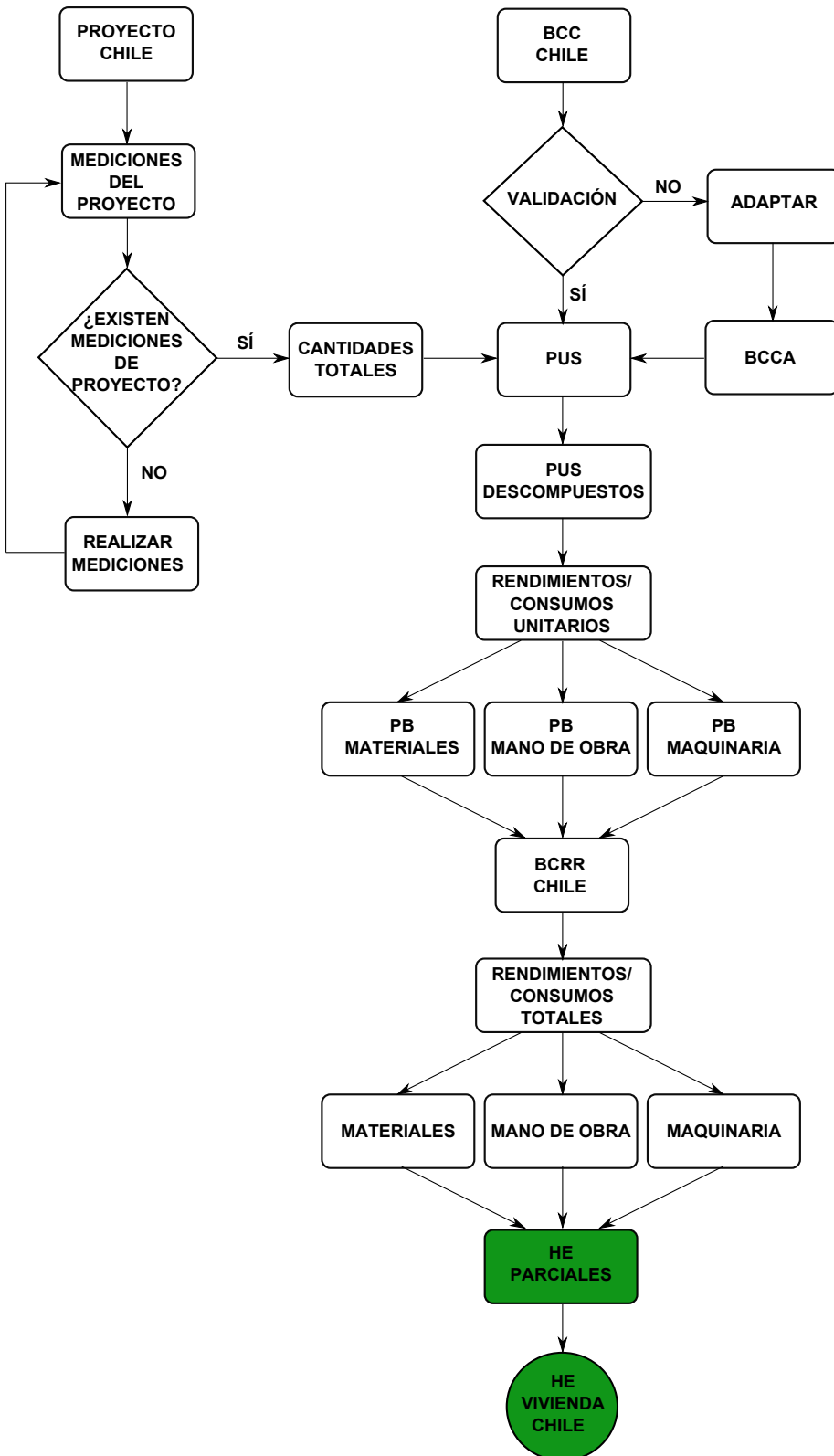


Figura 7.9: Diagrama explicativo de la adaptación del proyecto de Chile al Modelo HE

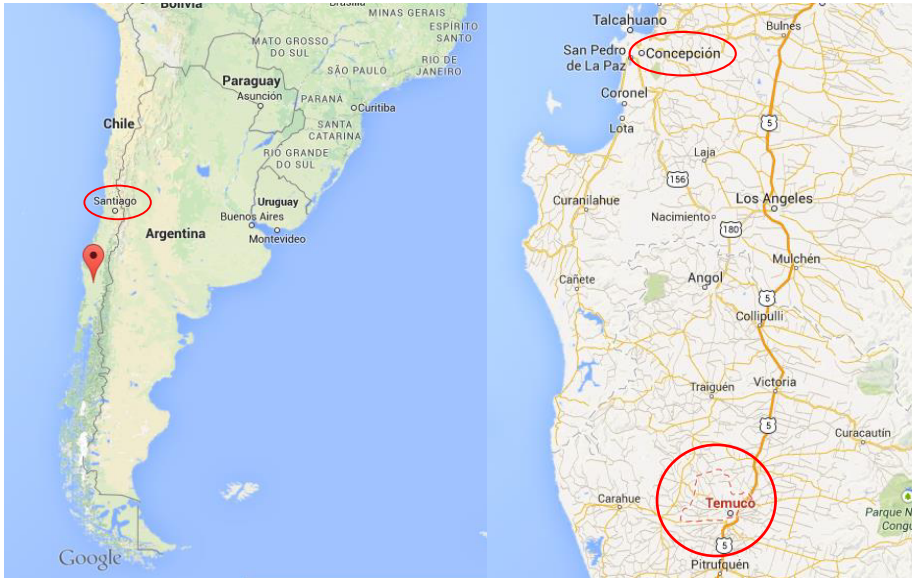


Figura 7.10: Chile, situación de Temuco (Región de la Araucanía) con respecto a Santiago de Chile y Concepción. Fuente: Google.

## 7.6. Proyecto seleccionado

El proyecto seleccionado es un tipo de vivienda unifamiliar social construida en Chile, cuyo proyecto ha sido desarrollado en la Universidad del Bío Bío (UBB) de Concepción (Chile), en base a criterios de eficiencia energética con especial consideración a la hermeticidad al aire. Este proyecto aún siendo de un tipo de vivienda subsidiada por el Estado, de bajo coste, ha conseguido alcanzar valores de hermeticidad mucho mejores que la media nacional de viviendas de madera, cumpliendo con lo esperado para la zona climática en la que se emplaza.

El nombre del proyecto es Condominio de Nuevo Mundo, corresponde a un conjunto de viviendas de madera localizadas en Temuco, región de la Araucanía (o región número IX), como se puede apreciar en la Fig. 7.10, y han sido diseñadas por un equipo interdisciplinario del Centro de investigación en tecnologías de la construcción (CITEC) de la UBB de Concepción, con el objetivo de aplicar estrategias de diseño prestacional en viviendas de bajo coste con subsidio estatal. Esta iniciativa ha sido impulsada por el SERVIU de la Región de la Araucanía con la colaboración de la Cámara Chilena de la Construcción de Temuco, permitió implementar una metodología de desarrollo de viviendas sociales pionera en el país, ya que los objetivos propuestos en la etapa de diseño fueron medidos en etapa de construcción. En la Fig. 7.11 podemos ver una



Figura 7.11: Imagen de proyecto de las viviendas de Temuco

imagen de proyecto y en la Fig. 7.12 se adjunta una imagen de la obra terminada.

Las viviendas se localizan en la ciudad de Temuco, situada a  $38^{\circ}46'$  de latitud sur y  $72^{\circ}38'$  de longitud oeste, caracterizada por clima oceánico templado lluvioso con influencia marítima, que presenta temperaturas que oscilan entre  $4^{\circ}\text{C}$  y  $12^{\circ}\text{C}$  en invierno, y entre  $8^{\circ}\text{C}$  y  $24^{\circ}\text{C}$  en verano. Esta ciudad ha presentado en los últimos años numerosos episodios de contaminación ambiental debido a la combustión de leña para calefacción, por lo que las iniciativas que apunten a mejorar al eficiencia energética de las viviendas, como ésta, son de gran relevancia para la zona [88].

### 7.6.1. Análisis de documentación

El proyecto contiene memoria descriptiva, especificaciones técnicas y planos. En este apartado se analizan estos documentos para la correcta definición de las viviendas y a su vez se adaptan los conceptos que sean necesarios a la terminología española y la clasificación chilena a la del Banco de costes de Andalucía (BCCA).

Para completar el análisis del proyecto se precisa de la medición y presupuesto del mismo, la cual es indispensable en la metodología HE, sin embargo en Chile, a diferencia de España, el proyecto realizado por el técnico competente, ya sea Arquitecto o Ingeniero, no contempla normalmente este apartado, las mediciones y presupuesto de la obra las realizan las distintas constructoras. En este caso no se han conseguido las correspondientes a la obra realizada, sin embargo se dispone de las ofertas de



Figura 7.12: Conjunto de las viviendas terminado

dos constructoras que concursaron en la licitación de obra.

### Memoria Descriptiva

En este documento se aportan los datos generales de la obra tales como tipo de proyecto, situación, arquitectos proyectistas, asesores, promotor y empresa constructora.

### Especificaciones Técnicas

Este documento es la memoria constructiva del proyecto, define por tanto los materiales y soluciones constructivas empleados en el mismo y se puede consultar completo en los **Anexos de Chile**.

Para definir el proyecto se adapta a la terminología española y la clasificación chilena a la del Banco de costes de Andalucía (BCCA).

En primer lugar, se definen los datos generales, a continuación la documentación del proyecto y finalmente la memoria constructiva que se divide en cuatro apartados: Obras de construcción, Terminaciones, Instalaciones y Obras exteriores. En estos últimos apartados de definición constructiva del proyecto, se desglosa tal como aparece en el documento y a continuación se indica su correspondencia en el BCCA según la clasificación sistemática del mismo, ya que esa es la que se utiliza en el modelo.

- **I. Generalidades:** describe los datos referentes a fases de proyecto, número de viviendas y superficie construida.
- **A. Campo de aplicación:** enumera los documentos integrantes y complementarios que definen el proyecto, así como la normativa de aplicación, y las obras previas a realizar.
- **B. Obras de Construcción:** es la parte denominada obra gruesa en los BCC chilenos y se refiere a la envolvente del edificio y particiones interiores. A continuación se definen y se indica su correspondencia con el BCCA:
  - Replanteo, trazados y niveles: por definición corresponden al Capítulo 01. Demoliciones y Trabajos previos, aunque en este caso los trabajos definidos están incluidos en los descompuestos de otras partidas.
  - Movimientos de tierra: incluidos en el capítulo 02 de Acondicionamiento del terreno.
  - Moldajes: equivalen a los encofrados, en este caso, de la cimentación y se incluyen en el capítulo 03 de Cimentaciones, en particular en el subcapítulo 03E. de Encofrados.
  - Hormigones: se incluyen en el capítulo 03 de Cimentaciones, en particular en el subcapítulo 03H. de hormigón armado para cimientos.
  - Estructuras soportantes: equivale al capítulo 05 de Estructuras.
  - Tabiquerías: las divisiones y particiones interiores se encuentran en el capítulo 06 de Albañilería, sin embargo, en este caso son estructurales y se incluyen en el capítulo 05. Estructuras.
  - Techumbre: incluida en el capítulo 07. Cubiertas.
  - Escalera: este es un elemento particular, y en el BCCA puede definirse a partir de uno o varios capítulos, en función del sistema constructivo y materiales empleados. Por tanto podría incluirse en los capítulos 05. Estructuras, para el caso de losas y/o peldaños de hormigón armado; 06. Albañilería, para formación de zancas y/o formación de peldañado de ladrillo; así como en el capítulo 10 Revestimientos, para la terminación de huella y tabica de los peldaños. Sin embargo, como en este caso la escalera es completamente de madera se incluye en el capítulo 11 Carpintería y Elementos de Seguridad y Protección.



- Hojalaterías: se refieren las terminaciones de cubiertas cuyo fin es evitar la entrada de agua: remates, encuentros con paramentos y elementos de recogida de agua, realizados en acero galvanizado, zinc, etc. Se incluyen en el capítulo 07 de Cubiertas.
  - Bajadas de agua de lluvia: se refiere a los bajantes que recogen el agua de lluvia y se incluyen en el capítulo 04 de Saneamiento, en el subcapítulo 04V. de Elementos verticales.
  - Muro separador de unidades: delimita las parcelas de las viviendas, y su definición constructiva es igual a los cerramientos de fachada, por tanto se desglosa e incluye en varios capítulos: 05 de Estructuras, 09 de Aislamientos e Impermeabilizaciones y el 10 de Revestimientos.
  - Impermeabilizaciones: comprende los materiales y obras destinados a impermeabilizar muros, losas y soleras de cimentación. Se corresponde con el capítulo 09 de Impermeabilizaciones y Aislamientos y en el caso particular de las soleras de hormigón ligeramente armado se incluyen en el capítulo 10 de Revestimientos. al subcapítulo 10S. de Suelos.
  - Aislación térmica: se incluye en el capítulo 09 de Impermeabilizaciones y Aislamientos.
- **C. Terminaciones:** en este capítulo se definen todos los revestimientos, acabados y pinturas. Se dividen en los siguientes apartados:
- Revestimientos exteriores: incluidos en el capítulo 10 de Revestimientos.
  - Revestimientos interiores: incluidos en el capítulo 10 de Revestimientos
  - Cielos: se refiere a los techos y falsos techos, y se incluyen en el capítulo 10 de Revestimientos.
  - Pavimentos y pisos: corresponden con las solerías, incluidas en el capítulo 10 de Revestimientos.
  - Puertas: se incluyen en el capítulo 11 de Carpintería y Elementos de Seguridad y Protección.
  - Ventanas: se incluyen en el capítulo 11 de Carpintería y Elementos de Seguridad y Protección (están excluidos los vidrios, que tienen un capítulo específico).

- Cerrajería y quincallería: se refieren a las cerraduras, pomos, manivelas y bisagras, lo cual se incluye en el BCCA en los descompuestos de las partidas de puertas y ventanas correspondientes al capítulo 11 de Carpintería y Elementos de Seguridad y Protección.
  - Guardapolvos en madera: se refiere a los rodapiés de remate de la solería, y se incluyen en el capítulo 10 de Revestimientos.
  - Cornisas y junquillos: se refiere a los remates entre los paramentos con los techos, se incluyen en el descompuesto de las partidas de la tabiquería del capítulo 06. Albañilería o en el 10 de Revestimientos.
  - Pinturas y recubrimientos: se corresponden con el capítulo 13 de Pinturas.
  - Artefactos sanitarios y grifería: se refiere a los aparatos sanitarios, sistema de calefacción del agua caliente sanitaria y grifos, y se incluyen en el capítulo 08 de Instalaciones.
  - Ventilación: se refiere al sistema de ventilación de la vivienda, incluido en el capítulo 08 de Instalaciones.
  - Chiflonera/invernadero: es un elemento característico de estas viviendas, su función es proteger del viento la entrada principal además de permitir la ventilación y el calentamiento natural mediante la radiación solar. Se define entre varios capítulos: 05 de Estructuras, 06 de Albañilería, 07 de Cubiertas, 10 de Revestimientos y 11 de Carpintería y Elementos de Seguridad y Protección.
- **D. Instalaciones:** se definen las instalaciones de agua potable, alcantarillado, gas y electricidad, que se incluyen en el capítulo 08 de Instalaciones.
  - **E. Obras exteriores:** cierros y pavimentos: carpintería y pavimentos exteriores los cuales se incluyen en el capítulo 15 de Urbanización, que no se contempla en el presente análisis.

Para detalles estructurales, constructivos e instalaciones se hace referencia en este documento a Anexos que no se han conseguido, por tanto la información se obtiene de los planos, la cual es bastante detallada y por tanto suficiente.

## Planos

Se clasifican en series como se define a continuación:

- Serie Arquitectura: planos de situación y emplazamiento, plantas de superficies, usos y acotadas, secciones con especificaciones constructivas.
- Serie Estructuras: cimientos y estructura de madera.
- Serie Instalaciones: electricidad, fontanería, saneamiento y gas.

### Medición y presupuesto

En este apartado se analiza en primer lugar la documentación referente a mediciones y presupuesto de dos de las constructoras que ofertaron el proyecto.

- Constructora 1 (C1): Los documentos que aporta son los siguientes:
  - Resumen y presupuesto: desglosados los totales según obra gruesa, terminaciones e instalaciones. Define los datos para seis viviendas y para una vivienda. Define superficie útil por vivienda y totales de las seis unidades contempladas.
  - Presupuesto detallado: se divide en tres capítulos: obra gruesa, terminaciones e instalaciones. A su vez en cada uno de ellos se definen las partidas o precios unitarios. Se numeran mediante codificación, la cual no coincide con las bases de costes de la construcción aportadas, a continuación se define descripción breve de la partida, unidad de medición, cantidad, precio unitario (en pesos chilenos), subtotal del coste y total del coste (en pesos chilenos).
  - Presupuesto desglosado: se divide igualmente en obra gruesa, terminaciones e instalaciones. Define la misma codificación, descripción breve y cantidad, y además desglosa los costes totales en costes de materiales y costes de mano de obra.  
A partir de estos datos se podría determinar la cantidad de horas de mano de obra necesaria para una vivienda. Si se obtiene el dato del coste por día de la mano de obra y la cantidad de horas trabajadas al día. Sin embargo en el presupuesto de C1 no lo especifica como tal.
  - Gastos generales: aquí se desglosa los recursos empleados tales como: personal de obra, personal operarios, consumos de agua, gas, electricidad, combustible y teléfono, ensayos de obra, implementos de trabajo, maquinaria y garantía, los cuales se definen según el tiempo que se emplean en obra (definido en

meses), los valores del coste (en pesos chilenos), precio subtotal, cantidad y precio total (en precios chilenos).

A partir de estos datos podemos obtener la cantidad de horas de mano de obra empleada para una vivienda. Sin embargo este dato es global para toda la obra, y por tanto no se puede considerar por capítulos o partidas. Por tanto tendríamos que apoyarnos en las bases de costes de la construcción para obtener el desglose específico de cada partida, si queremos obtener el análisis de HE por capítulos de obra.

- Constructora 2 (C2): obtenemos los siguientes documentos:
  - Tabla de tratos de mano de obra: la cual se divide en capítulos, subcapítulos y en cada uno de ellos se definen las partidas correspondientes. Los capítulos son: fundaciones, carpintería, gasfitería, electricidad, pintura y terminaciones y obras exteriores. Se definen con una codificación simple, que no coincide con las de los bancos de costes, total del coste de la mano de obra para cada partida y el total de coste por subcapítulos. No se definen cantidades.

Este presupuesto tiene muy bien definida la clasificación según las partidas, desglose específico también de subcapítulos y de capítulos. Este listado puede servir para ayudar a definir las partidas a medir del proyecto. También se puede calcular la mano de obra por capítulos y subcapítulos si se obtiene el precio de mano de hora por día y se determina la cantidad de horas trabajadas por día, sin embargo estos datos no aparecen en el documento, habría que apoyarse en otros datos complementarios.
  - Tabla de materiales: especifica todos los materiales utilizados en la obra, con una clasificación diferente al documento anterior, según los siguientes subcapítulos: trazado y niveles, hormigones-áridos-radieres, madera vivienda, madera cercos, aislación, cubierta, hojalatería-canal a la vista, revestimiento interior, revestimiento exterior, molduras, puertas-ventanas-quincallería y cerrajería, artefactos sanitarios, fijaciones y alambres, terminaciones, pinturas exteriores e interiores, electricidad: canalización, conductores, artefactos, tierra y protección y empalme, acometida bajo radier, gas interior y exterior y planta de alcantarillado. En cada uno de ellos define cada uno de los precios básicos de los materiales, sin codificación, descripción breve del mismo, unidad de medición,

cantidad, coste unitario, y precio total, obteniendo el precio total de materiales de una vivienda.

Estos datos pueden servir para realizar comprobaciones de la medición a realizar, pero de la forma en que están definidos no se pueden asociar a ningún precio unitario.

Finalmente se realiza una comparativa del sistema de clasificación a nivel de capítulos de ambas empresas con el Modelo HE, que sigue la del BCCA y con la del proyecto, según se define en el apartado de especificaciones técnicas, lo cual se representa en la Tabla 7.6. En primer lugar se presenta el proyecto según el Modelo HE, que sigue la clasificación sistemática del BCCA y consta para los proyectos analizados de doce capítulos bien diferenciados, con su correspondiente código. En segundo lugar, el proyecto chileno que consta de cuatro capítulos, y su codificación. La Constructora 1 tiene una clasificación similar a la del proyecto, pero no incluye las obras exteriores y no tiene codificación. La Constructora 2, sin embargo, emplea una clasificación de capítulos y codificación distinta, la cual se asemeja más a la del Modelo HE, al ser más específica.

Tabla 7.6: Comparativa a nivel de capítulos entre Modelo HE, proyecto de Chile, Constructoras 1 y 2

PROY.	MODELO HE	PROY.	DE CHILE
<b>CÓDIGO</b>	<b>CONCEPTO</b>	<b>CÓDIGO</b>	<b>CONCEPTO</b>
CAPÍTULO 02	Excavaciones	B	Obras de construcción
CAPÍTULO 03	Cimentaciones	C	Terminaciones
CAPÍTULO 04	Saneamiento	D	Instalaciones
CAPÍTULO 05	Estructuras	E	Obras exteriores
CAPÍTULO 06	Albañilería		
CAPÍTULO 07	Cubiertas		
CAPÍTULO 08	Instalaciones		
CAPÍTULO 09	Aislamientos		
CAPÍTULO 10	Revestimientos		
CAPÍTULO 11	Carpintería y elmtos de seg. y prot.		
CAPÍTULO 12	Vidrios		
CAPÍTULO 13	Pinturas		
	<b>CONSTR.1</b>		<b>CONSTR.2</b>
<b>CÓDIGO</b>	<b>CONCEPTO</b>	<b>CÓDIGO</b>	<b>CONCEPTO</b>
No existe	Obra gruesa	1	Fundaciones
No existe	Terminaciones	2	Carpintería
No existe	Instalaciones	3	Gasfitería
		4	Electricidad
		5	Pintura
		6	Terminaciones y obras exteriores

### 7.6.2. Descripción del proyecto

#### Datos generales:

- Tipo de proyecto: Vivienda unifamiliar de carácter social, mejorada energéticamente.
- Situada en Temuco, Región de la Araucanía. Región IX de Chile
- Arquitectos: Francisco Schiappacasse, Maureen Trebilcock (UBB), Gerardo Saelzer (UBB)
- Asesores: Ariel Bobadilla, Freddy Guzmán, Alexander Opazo, Rodrigo Figueroa, CITEC UBB
- Cliente: SERVIU, Ministerio de vivienda y urbanismo de la Región de la Araucanía
- Número de viviendas: 17
- Superficie construida por vivienda: 52 m<sup>2</sup>
- Número de plantas: baja y primera
- Constructora: Rucantú
- Inspección Técnica: CITEC UBB
- Año de construcción 2013
- Plazo de ejecución de obra: 7.07 meses

#### Memoria constructiva

Se definen a continuación, según la clasificación del BCCA, los capítulos del proyecto: excavaciones, cimentaciones, saneamiento, estructuras, albañilería, cubiertas, instalaciones, impermeabilización y aislamientos, revestimientos, carpintería y elementos de seguridad y protección, vidrios y pinturas. Además se pueden consultar las secciones constructivas aportadas: Fig. 7.19, Fig. 7.20, Fig. 7.21. 7.22.

- Excavaciones: se realiza una apertura de caja para la capa de relleno de grava y solera. Se excavan zanjas con medios mecánicos y manuales para zapatas y zunchos respectivamente.

- **Cimentaciones:** la cimentación se realiza con zapatas corridas sobre las que se ejecuta zuncho de atado de hormigón armado. Solera de hormigón ligeramente armada de 7 cm. de espesor, colocada sobre relleno de grava de 8 cm. de espesor. Se impermeabilizan con lámina asfáltica las uniones de los distintos elementos de cimentación con la base de los cerramientos.
- **Saneamiento:** Se emplea sistema separativo de aguas pluviales y fecales. La recogida de aguas pluviales mediante bajante de 70 mm. de diámetro y canalón de zinc. La red enterrada de recogida de fecales está formada por colectores de PVC de diámetro nominal de 75 y 110 mm y por una arqueta sifónica colocada en cada una de las viviendas realizada en fábrica de ladrillo de 1.00 m. x 1.00 m. enfoscada y bruñida en su interior con mortero de cemento y tapa registrable de hormigón armado con cerco de acero inoxidable.
- **Estructuras:** La estructura es de madera de pino tratada, y está formada por tabiques estructurales, forjado de viguetas y cubierta inclinada con cerchas.
  - **Tabiques estructurales:** formados por entramado a base de pies derechos (pilares) de dimensiones 2x 3" colocados a una distancia entre 30 y 60 cm., cadenas horizontales de dimensiones 2x 3" dispuestas cada 60 cm. aproximadamente y reforzando huecos de puertas y ventanas. Como base de apoyo del tabique se colocan dos elementos, solera y bajo solera, de dimensiones 2x 3" que se colocan sobre el zuncho de atado. Los cerramientos exteriores se revisten con tableros estructurales de virutas orientadas (OSB) de 11,1 mm. de espesor y en las zonas del interior de la vivienda con tablero de cartón yeso hidrófugo de 15 mm. de espesor en la zona de cocina, panel de fibrocemento de 6 mm. de espesor en zonas húmedas de baño y cocina y en el resto de la vivienda panel de cartón yeso de 10 mm. de espesor.
  - **Forjado de madera:** realizado mediante casetones de viguetas de sección 50x 150 mm. en los dos sentidos y cubiertos horizontalmente con panel OSB estructural de 15,1 mm. de espesor. Para apoyo intermedio de forjado se coloca una jácena de sección 70x 140 mm.
  - **Cubierta inclinada:** formada por cerchas de madera de sección 13x 4 cm., 40 % de pendiente, colocadas a una distancia de 75 cm. y sobre ellas se disponen viguetas de sección 50x 50 mm. que servirán de soporte para fijar el acabado de la cubierta.

- Albañilería: las particiones interiores son estructurales, el entramado estructural es el mismo que en el cerramiento de fachadas definido en el capítulo de estructuras y se colocan como revestimiento paneles de diferentes tipos en función de cada zona, que se definen en el capítulo de revestimientos.
- Cubiertas: se coloca sobre la estructura de cubierta la cubrición que se realiza con placa ondulada asfáltica fijada mediante tornillos a las viguetas. La cumbrera, limatesas y limahoyas se realizan con el mismo material de cubrición. La cumbrera se remata además con una pieza de acero galvanizado.
- Instalaciones:
  - Ventilación: para cumplir las condiciones necesarias de permeabilidad al aire se colocan diferentes sistemas de extracción de aire:
    - Extractor mecánico con un rendimiento de 5 l/sg, en las siguientes ubicaciones: hacia el exterior en el comedor, y en salida al invernadero de planta baja, en el pasillo y dormitorios de planta primera. En los cerramientos exteriores se colocan con rejilla fija y protección contra insectos, en dos zonas: , en planta baja dos en cada una de las caras de la chiflonera o invernadero, sobre el acceso, de 150 x 150 mm. y en planta primera dos enfrentados en las fachadas norte y sur, de 300x 300 mm., conectados por la cámara de aire que se forma entre el forjado de techo de planta primera y cubierta.
    - Extractor mecánico con un rendimiento de 20 l/sg, en las siguientes ubicaciones: hacia el exterior en baño y cocina.
    - Rejillas de lamas orientables, hacia el interior, en baño.
  - Electricidad: la vivienda tiene un nivel de electrificación medio. Se realiza la acometida a cada vivienda, se coloca un contador monofásico, la línea de alimentación a la vivienda es monofásica de sección 6 mm<sup>2</sup>, y cuadro de mando y protección (CMP). Las protecciones del CMP son: un interruptor diferencial de intensidad 25 A y sensibilidad 0.03 A y tres interruptores magnetotérmicos bipolares: uno de 16 A para lavadora y dos de 10 A para alumbrado. Se colocarán puntos de luz sencillos, dobles y conmutados.
  - Puesta a tierra: cada vivienda cuenta con arqueta de conexión de dimensiones 38x 50 cm. y 25 cm. de profundidad, línea



principal de sección 25 mm<sup>2</sup> empotrada y pica de puesta a tierra.

- Fontanería: se instala acometida de aguas y contador de 25 mm. de diámetro. La red de se realiza con tuberías de agua fría y agua caliente sanitaria en polipropileno, el diámetro principal es de 25 mm. y la salida en los aparatos es de 20 mm. El sistema de A.C.S. se alimenta con placas solares colocadas en la cubierta con acumulador con capacidad para 80 l/habitante/día y sistema de apoyo con calentador a gas alimentado con dos cilindros de 45 kg. de gas propano-butano, ubicados en instalación superficial exterior dentro de la parcela de la vivienda.
- Impermeabilización y aislamientos: al ser una vivienda mejorada energéticamente la envolvente de las viviendas ha sido reforzada térmicamente mediante aislamiento térmico y barreras para garantizar la hermeticidad al aire y evitar los puentes térmicos.
  - Impermeabilización: se coloca lámina de polietileno de 0.1 mm de espesor en la cara exterior de todos los cerramientos como barrera antihumedad y contra el viento.
  - Aislamientos: se coloca en cerramientos, forjados y cubiertas.
    - Cerramientos: se aíslan mediante poliestireno expandido de espesor 70 mm. que se coloca en el entramado estructural del cerramiento, además para evitar puentes térmicos se coloca otra capa de poliestireno expandido de espesor 10 mm., en la cara interior del cerramiento, entre la estructura de madera y el tablero de revestimiento.
    - Forjado: se coloca aislamiento de poliestireno expandido de espesor 40 mm. en el techo de planta baja.
    - Cubierta: se colocan tres capas de poliestireno expandido de 50 mm. de espesor.
- Revestimientos: se definen los acabados de cerramientos, particiones, techos, pavimentos y remates.
  - Cerramientos:
    - Cara exterior: en las fachadas este y oeste se utiliza tableros tablero estructural tipo OSB de virutas de madera orientadas, tipo *Smartpanel*, resistente al exterior, con acabado de madera y ranurado horizontal, de espesor 11

mm. y se coloca anclado a los pies derechos. En las fachadas norte y sur el revestimiento se realiza con el mismo material de cubierta, panel ondulado de fibrocemento tipo *Onduline*.

- Cara interior: se coloca placas de cartón yeso antihumedad de espesor 15 mm. en cocina, placas de fibrocemento de 6 mm. de espesor en zonas húmedas de baño y cocina, y panel de cartón yeso de 10 mm. en el resto.
- Particiones: se colocan paneles de fibrocemento de 7 mm. en zonas húmedas de baño y cocina y de cartón yeso de 10 mm. en el resto.
- Techos (cierlos): se realiza para soporte de los paneles de revestimiento una estructura de madera de viguetas de sección 4,5x 4,5 cm. a la que se fijan los paneles de cartón yeso de 10 mm. de espesor en toda la vivienda excepto en las zonas húmedas de baño y cocina donde se coloca el tipo antihumedad de 15 mm. de espesor.
- Pavimentos: se colocan en planta baja, baldosas cerámica vidrada de 30x 30 cm. y rodapiés (guardapolvos) de 10x 20 cm. y en planta primera el pavimento continuo de moqueta y rodapiés de madera chapado de roble de 7 cm. de altura y espesor 1,6 cm.
- Remates: los encuentros exteriores de cerramientos de fachada se realizan con piezas de zinc y los alfeizares y dinteles de huecos de puertas y ventanas en chapa lisa de acero galvanizado.
- Carpintería y elementos de seguridad y protección:
  - Puertas: las exteriores de la entrada principal y cocina son de aluminio lacado. Las interiores son de madera para pintar.
  - Ventanas: son de aluminio lacado fijas y abatibles.
  - Escalera: de estructura de madera de pino GR, formada por zancas (gradas) de dimensiones 45x 200mm. y peldaños de 45x 190mm con cantos redondeados y espesor 45 mm. Las piezas de madera irán atornilladas entre sí. Como sistema de protección se instala un pasamanos de madera de dimensiones 70x 45 mm. y a 1,00 m. de altura.
- Vidrios: doble acristalamiento (termopanel) colocado con perfil continuo en u de neopreno.
- Pinturas: se emplean diferentes tipos:

- Esmalte sintético para puertas interiores.
- Pintura al óleo en paramentos de baño hasta una altura de 1.40 m. y en el techo del baño.
- Esmalte graso para el resto de paramentos y techos interiores.

## Planos

En este apartado se adjuntan algunos de los planos de la Serie de Arquitectura del proyecto.

- Planos de usos, de planta baja y primera, ver figuras Fig. 7.13, Fig. 7.14. En ellas están señalizadas las secciones AA' y BB', además del detalle constructivo 1.
- Alzados: este y sur en la figura Fig. 7.15 y oeste y norte en la figura Fig. 7.16.
- Planos acotados, de planta baja y primera, ver figuras Fig. 7.17 y Fig. 7.18.
- Secciones acotada AA' y constructiva BB': en la sección AA', Fig. 7.19, se representa la sección de la vivienda completa donde se aportan las cotas en altura de la vivienda y además se marca el detalle constructivo 2. La sección BB', Fig. 7.20, representa la sección constructiva general, además de señalar los detalles constructivos del 3 al 7.
- Detalles constructivos: el detalle 1 representa el cerramiento estructural de fachada y el detalle 2 el forjado de casetones de madera, los dos se recogen en la Fig. 7.21. Además se incluyen los detalles 3 al 7 que muestran una sección por cerramiento de fachada desde la cimentación hasta la cubierta, en la Fig. 7.22.

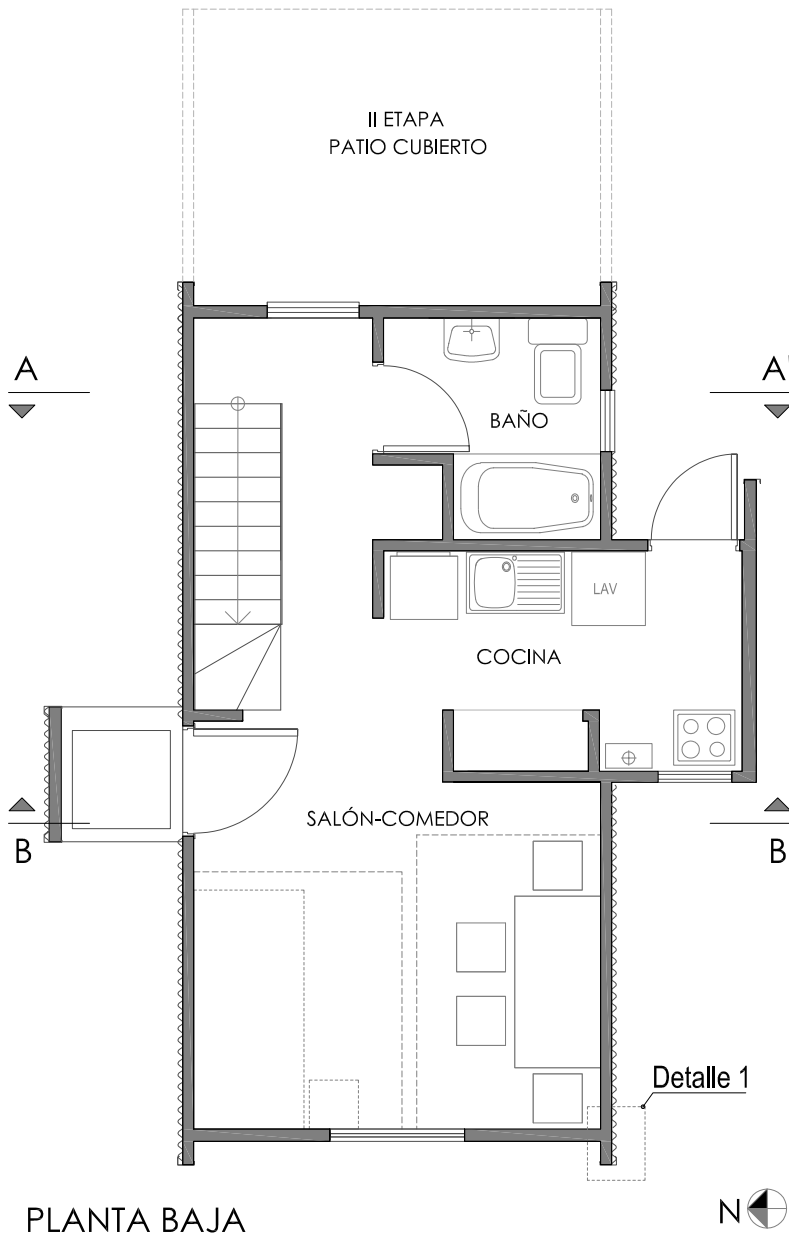


Figura 7.13: Planta baja. Usos

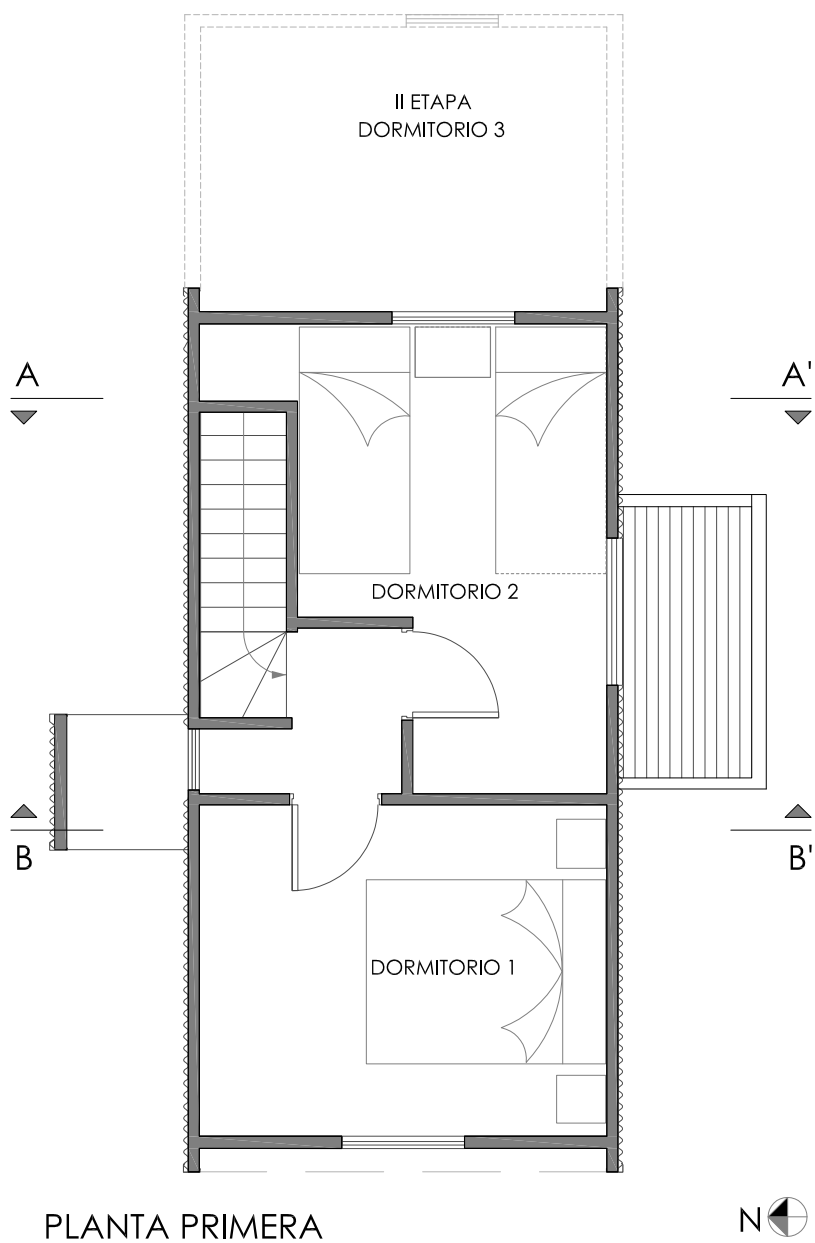


Figura 7.14: Planta primera. Usos

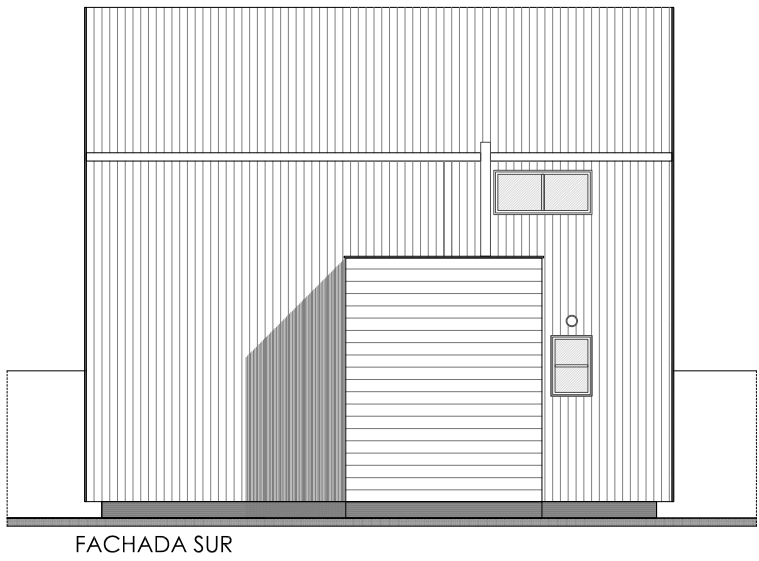
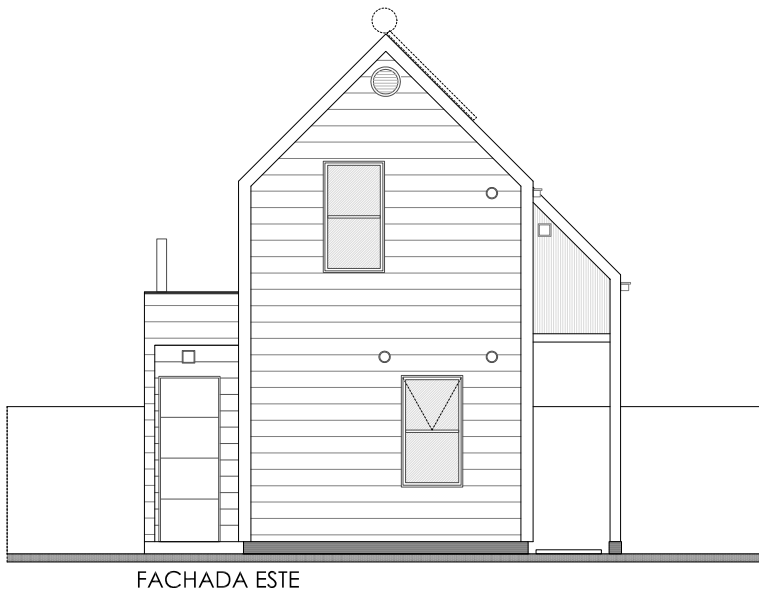


Figura 7.15: Alzados este y sur

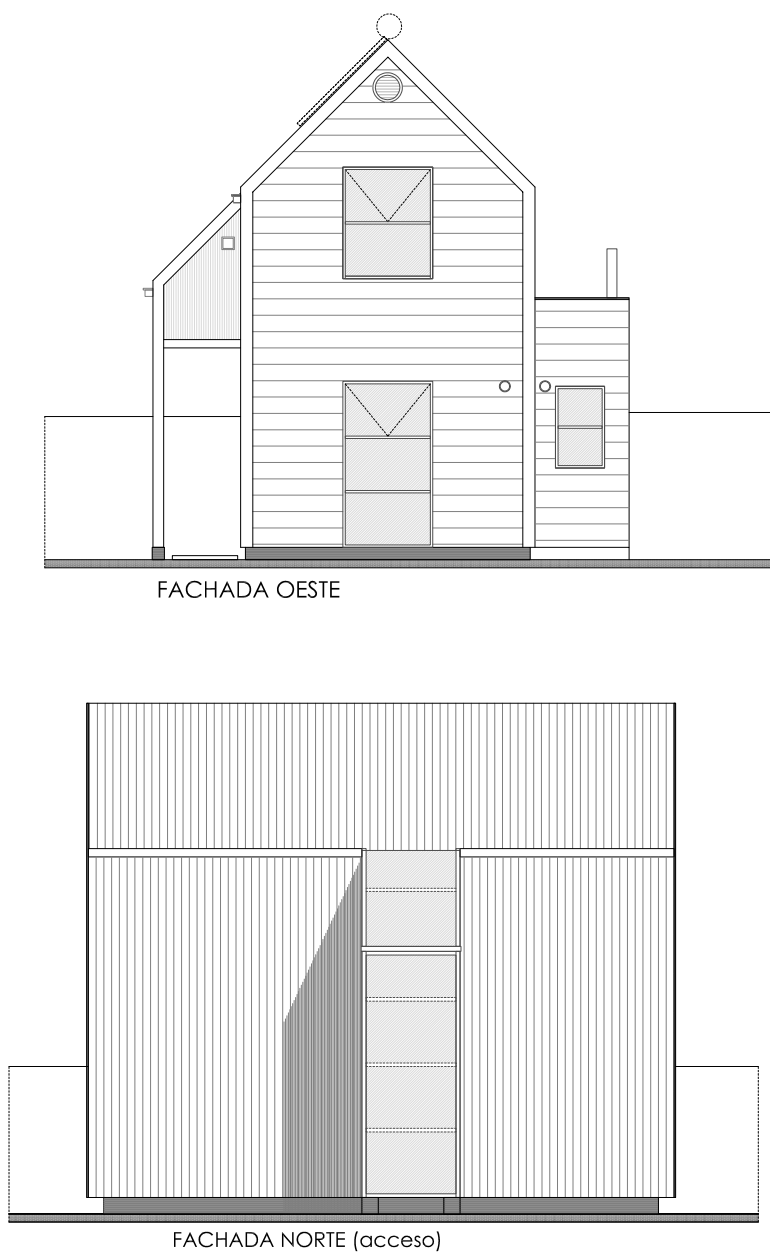


Figura 7.16: Alzados oeste y norte

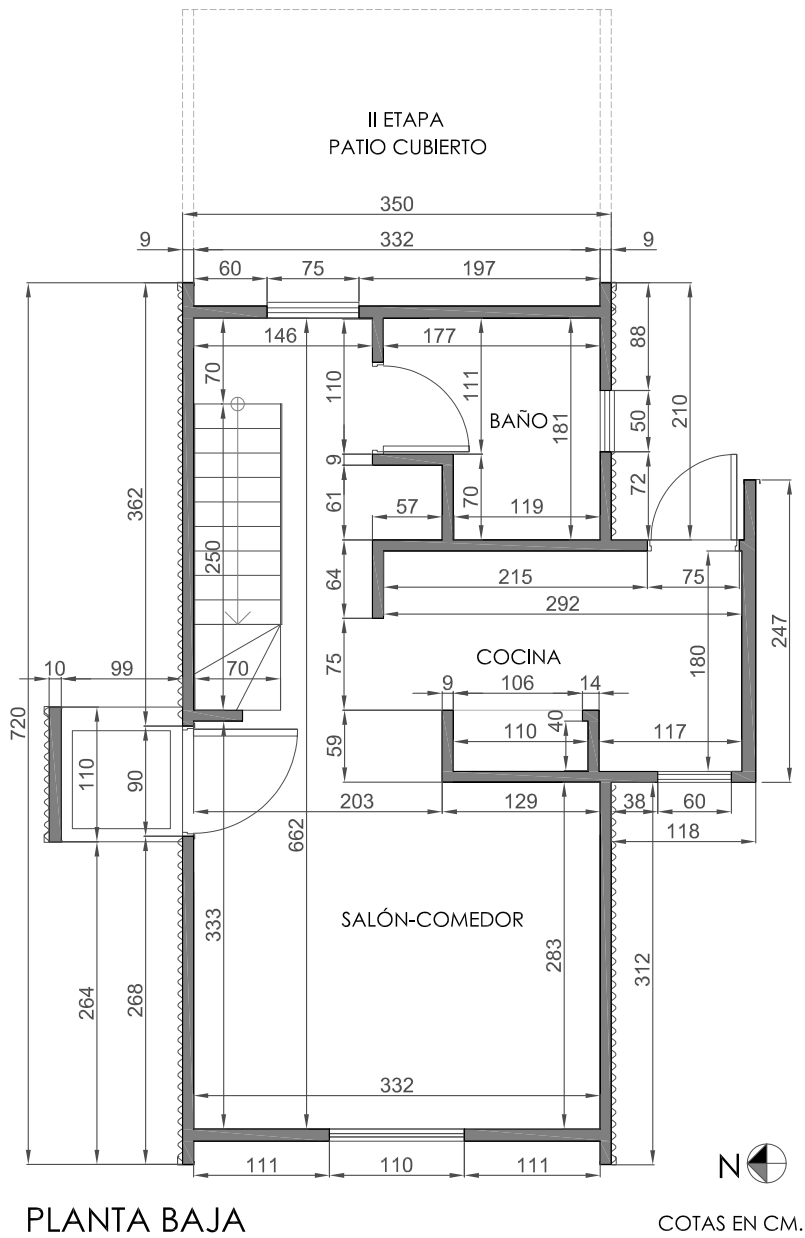


Figura 7.17: Planta baja. Acotado



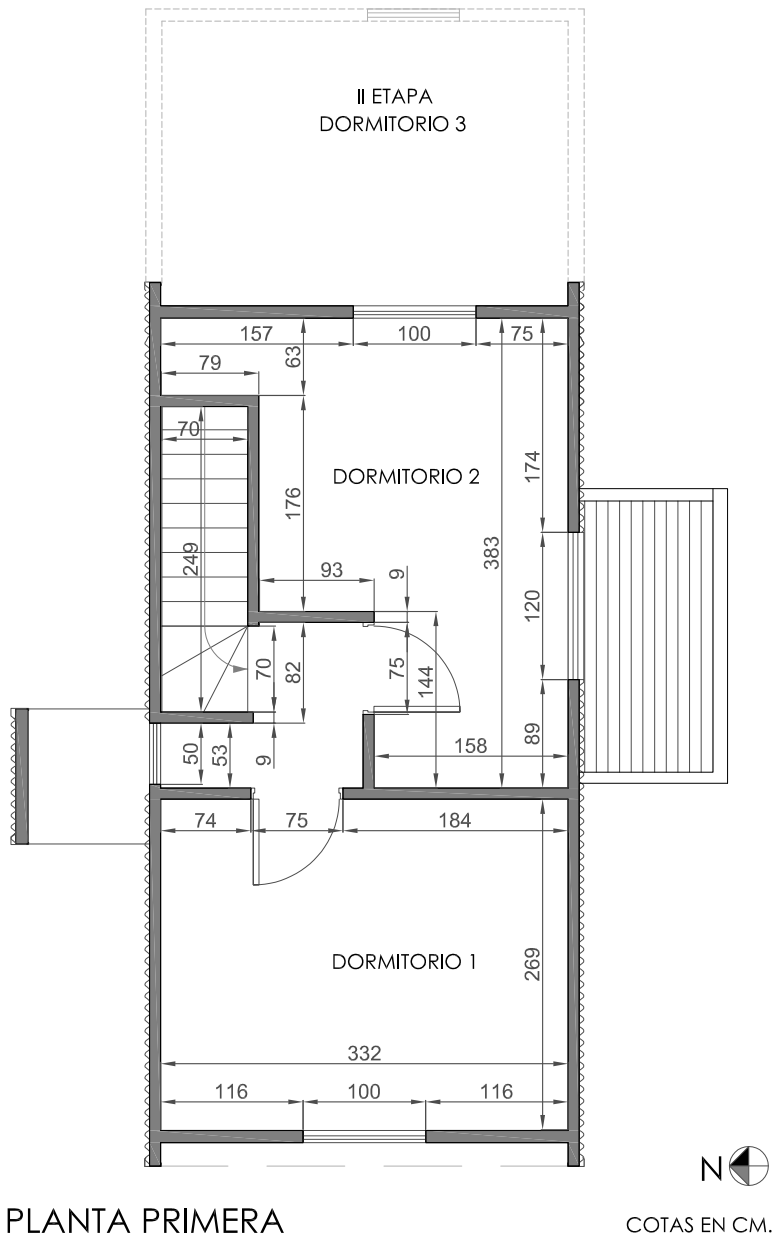


Figura 7.18: Planta primera. Acotado

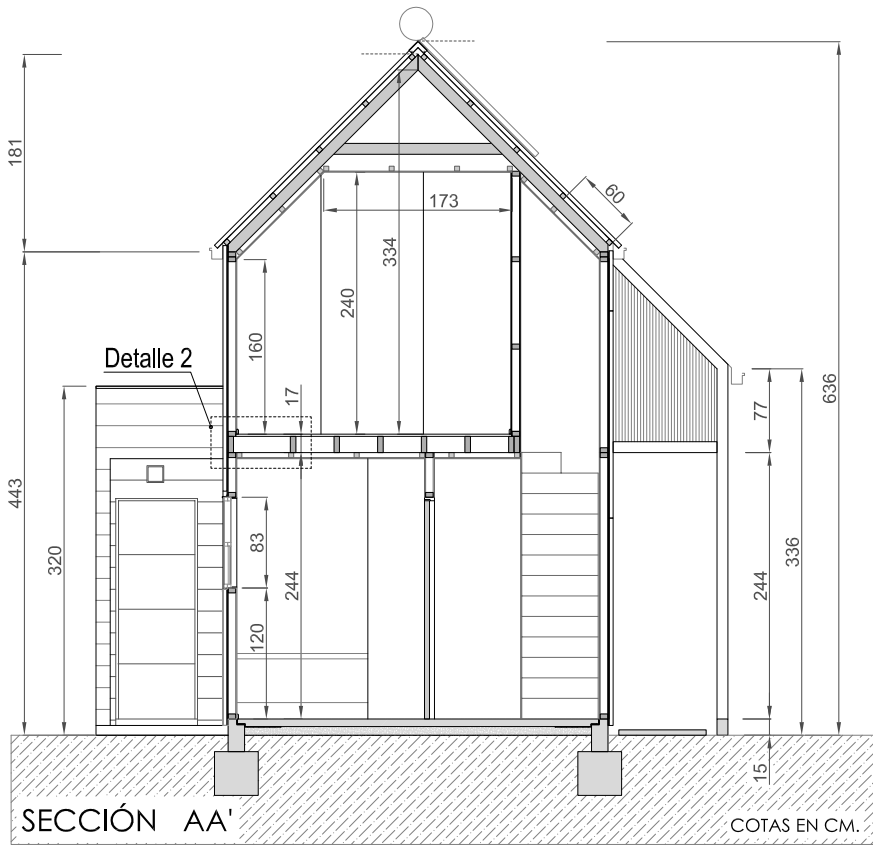
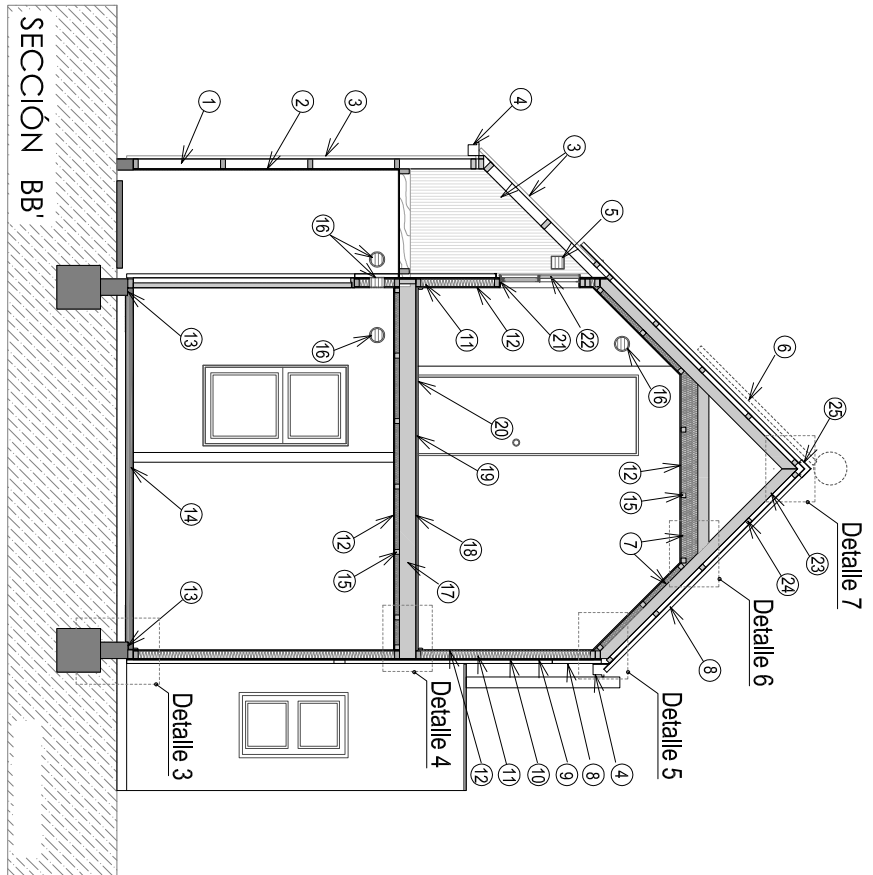


Figura 7.19: Sección acotada AA'



1. Pilar pino impregnado 90x45 mm.
2. Panel estructural tipo OSB 9 mm.
3. Policarbonato acanalado 0,7 mm. transp.
4. Canal Zincalium 0,5 mm.
5. Aireador para ventilación (según EETT)
6. Paneles solares para ACS
7. Poliuretano expandido 150 mm.
8. Plancha fibrobütumen tipo Onduline c. negro
9. Barrera humedad tipo Tyvek
10. Panel estructural tipo OSB 11,1 mm.
11. Poliuretano expandido 70 mm.
12. Panel de cartón-yeso 10 mm.
13. Lámina asfáltica 5 mm., 50 cm desarr.
14. Radier (solera de hormigón lig. armado)
15. Encintado techo de pino 45x45 mm a 60 cm.
16. Aireador para ventilación
17. Envigado pino 150x45 mm.
18. Tiras cubrepiso 50 mm. sobre cabeza viga
19. Panel estructural tipo OSB 18 mm.
20. Cubrepiso (moqueta)
21. Sello silicona
22. Ventana con termopanel
23. Cercha de pino de 130x40 mm. a 75 cm.
24. Cadeneta de pino de 45x45 mm. a 60 cm.
25. Remate de cumbrera de acero galvanizado

Figura 7.20: Sección constructiva BB

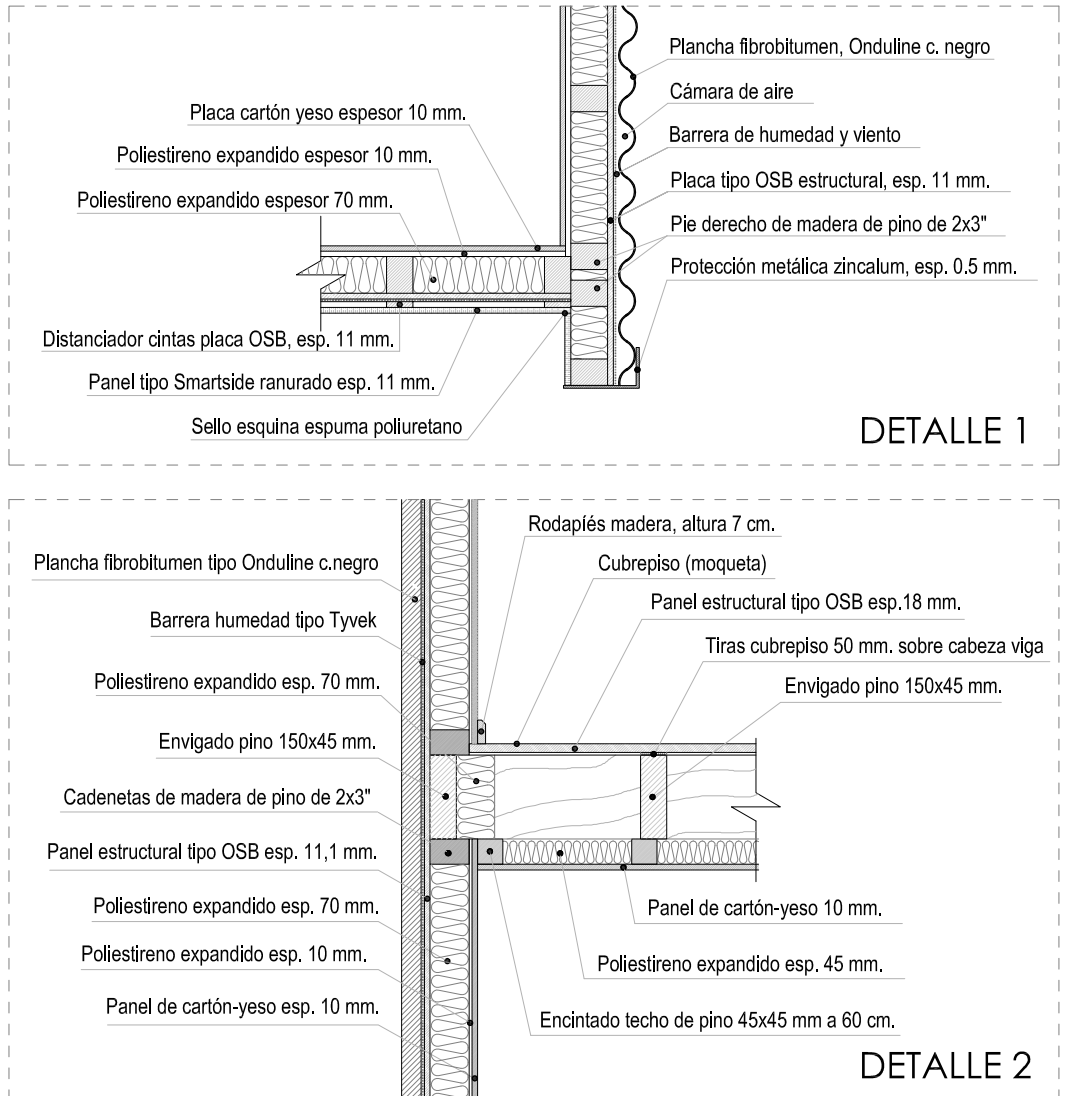


Figura 7.21: Detalle 1: Sección constructiva transversal del cerramiento. Detalle 2: Sección de forjado de madera. Fuente: elaboración propia

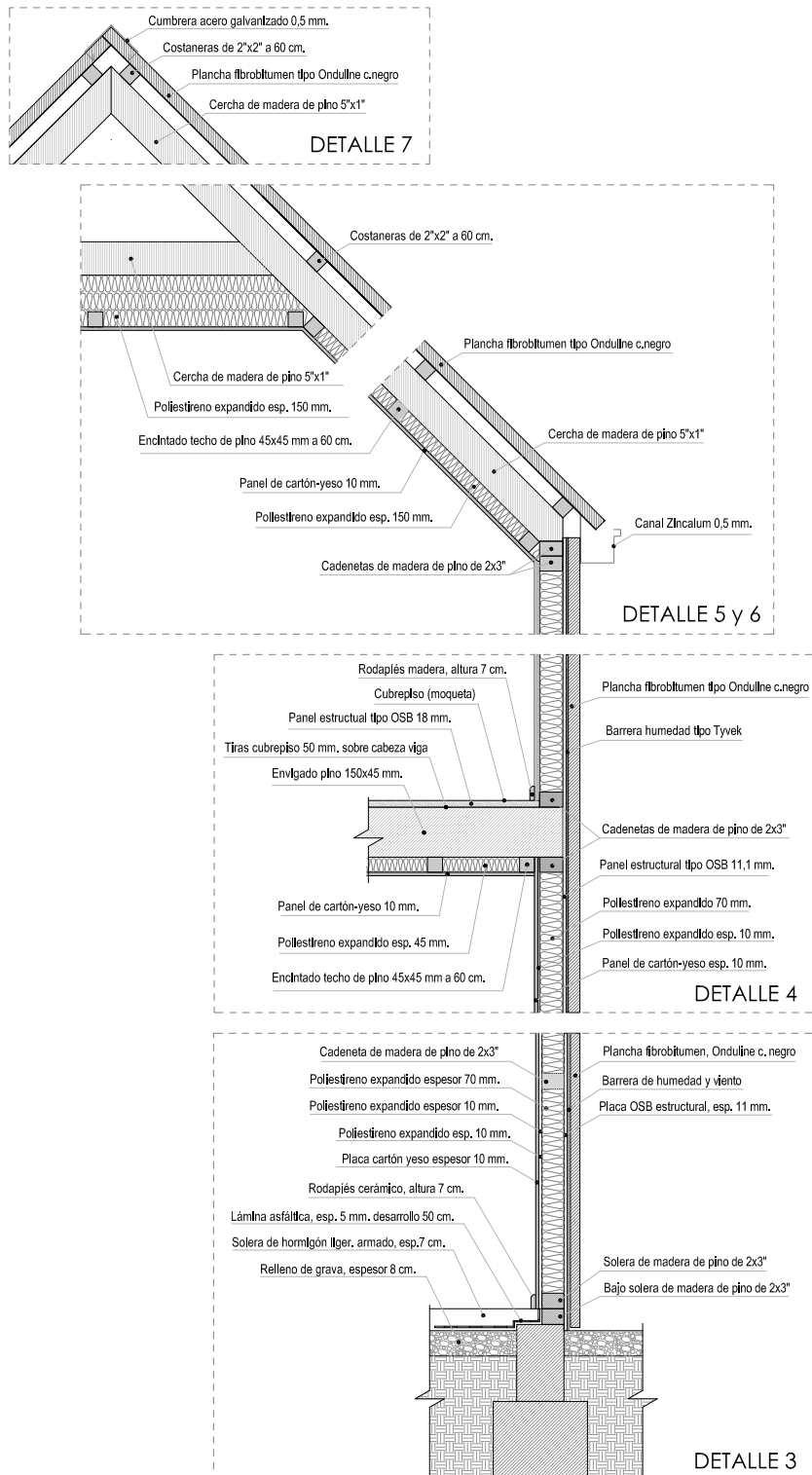


Figura 7.22: Detalles 3 a 7. Sección constructiva por cerramiento de fachada.

Se pueden consultar todos los planos en los **Anexos Chile** (*especificar bien el apartado*).

## Mediciones y presupuesto

A partir del análisis de la documentación de las empresas constructoras, resumido en la Tabla 7.6, se concluye que la misma es insuficiente para la definición completa de las mediciones y presupuesto, además de seguir cada una de ellas criterios completamente distintos, tanto en la definición de los precios como en el desglose de recursos. Se decide, por tanto, desarrollar la medición y presupuesto del proyecto a partir de los datos aportados por memoria, especificaciones técnicas y planos. Los sistemas constructivos son los definidos en el proyecto, sin embargo los criterios de clasificación y medición son los desarrollados en el BCCA. Los PUS y precios descompuestos se desarrollan a partir de los datos del BCC de Chile y del BCCA.

Para realizar la medición y presupuesto del proyecto [32] en primer lugar se realiza una relación de partidas (PUS), a continuación se desarrollan los precios descompuestos de cada una de ellas, ya sea directamente del BCC correspondiente o por creación por parte de un experto. Finalmente se realiza la medición sobre planos de cada partida y así se obtienen las cantidades totales a las que se aplican los precios unitarios correspondientes y se obtienen los recursos totales empleados y el presupuesto total. Todo este proceso se desarrolla en el apartado 7.8 de Adaptación al Modelo HE.

La medición completa del proyecto puede consultarse en los Anexos de Chile (*definir correctamente el apdo.*).

## 7.7. Banco de costes de la construcción empleado

Después del análisis exhaustivo de los bancos de costes de la construcción chilenos descritos en el apartado 7.3 se puede ver que el BCC del DITEC es bastante completo y apropiado para este tipo de proyecto, y en un primer análisis se trata de utilizar el mismo para entender sistemas constructivos, materiales y el desglose de los recursos empleados. Sin embargo, finalmente se decide utilizar el BCCA por las siguientes razones:

- El banco del DITEC no sigue una clasificación sistemática, lo cual dificulta la búsqueda y la inclusión de nuevos precios. Incluso en algunos casos se repite la numeración.

- La cantidad de precios desarrollados en el BCC chileno es insuficiente para la definición completa del proyecto. El capítulo con menos precios desarrollados es el de instalaciones. Ver anexo de Chile tabla .
- Definición insuficiente de los precios unitarios simples (PUS):
  - No existen epígrafes, solo descripción corta. Con lo cual no sabemos que tareas incluye cada PUS, y podrían quedarse trabajos necesarios para la ejecución correcta de la partida sin cuantificar o por el contrario darse el caso de duplicidades.
  - No se definen los criterios de medición. Por lo tanto no se pueden realizar correctamente las mediciones ya que habría que definir hipótesis de cómo cuantificar cada PUS. En el BCCA están definidos para cada PUS. (ver tablas de precios descompuestos de Chile y de BCCA)
- El descompuesto de cada precio unitario simple incluye conceptos que en BCCA se incluyen en los costes indirectos. (Ver tabla de precios descompuestos Chile). La comparativa entre proyectos de diferentes países no sería posible si no sigue el mismo criterio en todos los casos.

Al utilizar, en todos los casos de estudio del presente trabajo, el mismo banco de costes de la construcción, el BCCA, permite en primer lugar plantear un modelo unificado y finalmente una comparativa de todos los proyectos, con la certeza de que se siguen los mismos criterios en cuanto a cuantificación y definición de tareas. Sin embargo, en cada uno de ellos podría aplicarse el banco de costes de construcción correspondiente a cada lugar, siempre que el mismo conste de la descomposición de los recursos empleados.

## 7.8. Medición y Presupuesto

Para aplicar el proyecto al Modelo HE es fundamental el desarrollo de la medición y presupuesto del mismo, como ya se ha descrito en la metodología de adaptación. En este apartado se explica, en detalle y con ejemplos del caso práctico analizado, como realizar las mediciones de un proyecto y como desarrollar los descompuestos [32].

Para realizar la medición y presupuesto del proyecto el proceso a seguir es el siguiente:

- Relación de partidas. Es un listado donde se recogen todos los PUS necesarios para la construcción de la vivienda. Se sigue la clasificación sistemática por capítulos, subcapítulos y apartados e incluye el código, la unidad de medida y la descripción resumida.
- Listado de precios descompuestos. Se desarrollan cada una de las partidas con su descripción y desglose de recursos. Incluye el código, unidad de medida, descripción resumida, epígrafe, y además el desglose de recursos en materiales, mano de obra y maquinaria, con datos de cantidades, precio e importe.
- Medición sobre planos. Se sigue la relación de partidas y datos del listado de PUS, ya que se realiza la medición de cada una de ellas según los criterios establecidos de unidad de medida y criterio de medición.
- Presupuesto. A partir de las mediciones realizadas y al aplicar el correspondiente precio, obtenemos los importes totales de cada partida, capítulo y finalmente del proyecto.

### Relación de partidas

Debido a la dificultad de comprensión de la documentación en cuanto a terminología, materiales y sistemas constructivos empleados, el proceso descrito se hace doble, ya que se realiza primero con los datos del proyecto y del BCC chileno y se adapta al BCCA buscando los PUS equivalentes y creando los precios nuevos necesarios para la definición completa de las viviendas. Se sigue el siguiente procedimiento:

- Relación de partidas según criterios y clasificación chilenos.

En primer lugar se realiza la relación de partidas a nivel de capítulos, subcapítulos y apartados, partiendo de la clasificación planteada en las especificaciones técnicas del proyecto, como se puede ver en la Tabla 7.7. Dicha clasificación difiere mucho de la del BCCA. A continuación, se amplía el listado incluyendo las partidas según los datos del BCC del DITEC y la clasificación del proyecto, como se representa en el ejemplo de la Tabla 7.8. El desglose completo de la relación de partidas se encuentra en los Anexos, en Anexos Chile.



Tabla 7.7: Relación de partidas a nivel de capítulos, subcapítulos y apartados, según BCC de DITEC y prescripciones técnicas del proyecto

<b>CÓDIGO</b>	<b>CAPÍTULOS/SUBCAP./APDOS.</b>
<b>A</b>	<b>OBRA GRUESA</b>
<b>B</b>	<b>OBRAS DE CONSTRUCCIÓN</b>
<b>B.01</b>	<b>Movimiento de tierra</b>
<b>B.03</b>	<b>Hormigón</b>
B.03.02	Fundaciones
B.03.03	Base de pavimentos
<b>B.04</b>	<b>Estructuras portantes</b>
B.04.01	Tabiques perimetrales
B.04.02	Envigados de piso
<b>B.06</b>	<b>Techumbre</b>
B.06.01	Estructura de cubierta
B.06.02	Cubiertas
<b>B.07</b>	<b>Escalera</b>
<b>B.08</b>	<b>Hojalatería</b>
B.08.01	Canales, canaletas, embudillos y cubetas
B.08.02	Limahoyas y limatezas
B.08.03	Forros y botaguas
<b>B.11</b>	<b>Impermeabilizaciones</b>
B.11.01	Cave I
B.11.02	Igol Primer e Igol Denso
B.11.03	Barrera de vapor
<b>B.12</b>	<b>Aislación térmica</b>
B.12.1	En tabiques exteriores
B.12.2	En cubierta
B.12.3	En radieres
<b>C.</b>	<b>TERMINACIONES</b>
<b>C.01</b>	<b>Revestimientos exteriores</b>
C.01.01	De fibrobitumen
<b>C.01.02</b>	Smartpanel
<b>C.02</b>	<b>Revestimientos interiores</b>
C.02.01	Recintos secos
C.02.02	Recintos húmedos
<b>C.03</b>	<b>Cielos</b>
C.03.01	Cielos placa fibrocemento 7 cm
C.03.02	Cielos placa yeso cartón 10 cm
<b>C.05</b>	<b>Pavimentos y pisos</b>
<b>C.06</b>	<b>Puertas</b>
C.06.02	Puerta acceso principal
C.06.03	Puertas exteriores cocina y leñera
<b>C.07</b>	<b>Ventanas</b>

Continúa en la siguiente página

Tabla 7.7 – continúa de la página anterior

CÓDIGO	CAPÍTULOS/SUBCAP./APDOS.
C.07.01	Ventanas
<b>C.08</b>	<b>Cerrajería y quincallería</b>
C.08.01	Cerraduras
<b>C.11</b>	<b>Pintura y recubrimientos</b>
C.11.01	Esmalte al agua
C.11.02	Esmalte al oleo
C.11.04	Esmalte sintético
<b>D</b>	<b>INSTALACIONES</b>
<b>D.01</b>	<b>Agua Potable</b>
<b>D.02.</b>	<b>Alcantarillado</b>
<b>D.03</b>	<b>Gas</b>
<b>D.04</b>	<b>Electricidad (fuerza, alumbrado, corrientes débiles y alarmas)</b>

Tabla 7.8: Relación de partidas según BCC DITEC y clasificación del proyecto. Ejemplo del capítulo de Obras de Construcción, y en particular el subcapítulo de Estructuras portantes

CÓDIGO	CAPÍTULOS/ DESCRIPCIÓN	UD.
<b>B</b>	<b>OBRAS DE CONSTRUCCIÓN</b>	
<b>B.04</b>	<b>Estructuras portantes</b>	
<b>B.04.01</b>	<b>Tabiques perimetrales</b>	
32	ESTRUCTURA TABIQUE PINO 2" X 3"	m <sup>2</sup>
73	PLACA OSB ESTRUCTURAL DE PINO 11,1 MM PARA ENTRAMADO DE MADERA	uni
<b>B.04.02</b>	<b>Envigados de piso</b>	
29	ENVIGADO DE PISO, PINO 2" X 6"	m <sup>2</sup>
74	PLACA OSB ESTRUCTURAL DE PINO 15,1 MM PARA ENTRAMADO DE MADERA	uni

- Relación de partidas según BCC del DITEC y clasificación a nivel de capítulos del BCCA.

En segundo lugar se reorganiza la relación de partidas del BCC del DITEC y se adapta a la clasificación sistemática del BCCA a nivel de capítulos, para ir introduciendo el proyecto a la clasificación que será la definitiva. Se pretende así, ir comprendiendo mejor el proyecto y poder definirlo correctamente, creando además los precios que sean necesarios. Se adjunta un ejemplo del capítulo 05 de Estructuras 7.9 y se puede consultar el listado completo en Anexos, Anexos Chile.

- Relación de partidas según criterios y clasificación del BCCA. En esta fase se buscan las partidas correspondientes del DITEC en el

Tabla 7.9: Relación de partidas según criterios del BCC DITEC y clasificación de capítulos del BCCA. Ejemplo del capítulo 05. Estructuras

CÓD.	UD.	CAPÍTULOS/ DESCRIPCIÓN
<b>CAPÍTULO 05. ESTRUCTURAS</b>		
32	m <sup>2</sup>	ESTRUCTURA TABIQUE PINO 2" X 3"
29	m <sup>3</sup>	ENVIGADO DE PISO, PINO 2" X 6"
18	m <sup>2</sup>	CUBIERTA COSTANERAS 1" X 4"
36	m <sup>2</sup>	ESTRUCTURA TECHUMBRE PEND. 40%, CERCHAS A 90 cm. MADERA
73	uni	PLACA OSB ESTRUCTURAL DE PINO DE 11,1 MM PARA ENTRAMADO DE MADERA

BCCA, y se realiza una relación de partidas ya con los criterios del BCCA. Se adjunta un ejemplo en la Tabla 7.10. Esta relación de partidas no es la definitiva, ya que algunos precios no corresponden con lo exactamente requerido en el proyecto en cuanto a medidas, materiales, etc. y en otros casos no existen. En ambos casos hay que crearlos nuevos, lo cual se explica en la siguiente fase. El listado completo de esta fase se adjunta en Anexos, Anexos Chile.

Tabla 7.10: Relación de partidas según criterios y clasificación sistemática del BCCA. Ejemplo del capítulo 05. Estructuras

CÓD.	UD.	CAPÍTULOS/ DESCRIPCIÓN
<b>CAPÍTULO 05. ESTRUCTURAS</b>		
05MTT80100	m <sup>2</sup>	ESTR. C/FORJADO Y SOP. DE MADERA PINO FLANDES
05MTT80020	m	MADERA DE PINO TRATADA 20X24 cm
05MTT80060	m <sup>3</sup>	CERCHA MADERA PINO TRAT. HASTA 7 m
05MTT80080	m <sup>2</sup>	TABLERO DE MADERA MACHIEMBR. TRAT. 22 mm ESP.

- Relación de partidas definitiva, según criterios del BCCA.

Finalmente a partir del listado anterior se van adaptando cada uno de los precios según lo específico del proyecto, tanto en medidas como en materiales y se crean cada uno de los PUS que no existen, según los criterios del BCCA. Se realiza una Tabla 7.11 donde se definen todos los precios definitivos y además se añade una comparativa con las tablas anteriores, para ver la evolución de cada uno de los precios hasta llegar al PUS definitivo.

Para agilizar la comparativa sólo se indican los códigos de los precios ya definidos en las tablas anteriores, a partir del código se puede consultar la definición de cada precio. Cuando un precio no existe en cualquiera de los bancos se especifica con el término N/E.

Tabla 7.11: Relación de partidas definitiva y comparativa con listados anteriores. Ejemplo del capítulo 05. Estructuras

EQUIV.	DE	CÓDIGOS	CAPÍTULO 05. ESTRUCTURAS	
BCC CHILE	BCCA	BCCR CHILE	UD.	DESCRIPCIÓN RESUMIDA
32	N/E	05MTT70100	m <sup>2</sup>	ESTRUCTURA TABIQUE PINO 2" X3"
29	05MTT80100	05MTT70110	m <sup>2</sup>	ESTRUCTURA DE FORJADO DE MADERA P.FLANDES CON VIGUETAS DE 45X145 MM.
18	N/E	05MTT70200	m <sup>2</sup>	ESTRUCTURA CUBIERTA INCLINADA DE MADERA DE PINO 2" X3"
18	N/E	05MTT70300	m <sup>2</sup>	ESTRUCTURA CUBIERTA INCLINADA DE MADERA DE PINO 1" X 4"
N/E	05MTT80020	05MTT70020	m	JÁCENA MADERA PINO TRAT. 70X140 MM.
36	05MTT80060	05MTT70060	m <sup>2</sup>	CERCHAS DE MADERA A 75 cm. PEND. 40 %, PARA ESTRUCTURA DE CUBIERTA
36	05MTT80060	05MTT70070	m <sup>2</sup>	CERCHAS DE MADERA A 54 cm. PEND. 22 %, PARA ESTRUCTURA DE CUBIERTA
73	05MTT80080	05MTT70080	m <sup>2</sup>	TABLERO DE MADERA MACHIEMBR. TRAT. 11 MM. ESP. PARA ESTRUCT.TABIQUES
73	05MTT80080	05MTT70090	m <sup>2</sup>	TABLERO DE MADERA MACHIEMBR. TRAT. 15 MM. ESP. PARA ESTRUCT. FORJ.

Se definen tres columnas de códigos, la primera con el código del banco de precios chileno, en la segunda se define el código del precio del BCCA que le correspondería al precio chileno, o en su caso el que sea más parecido. Y en la última columna de códigos el del precio definitivo ya sea existente en el BCCA o creado nuevo.

En las siguientes columnas se definen la unidad de medida y la descripción resumida del precio definitivo.

Partiendo de los precios existentes en el BCC de Chile y en el BCCA se pueden dar varios casos, los cuales se definen a partir del ejemplo del Capítulo 05 de Estructuras expuesto en la Tabla 7.11:

- Caso 1. Partimos de un precio del BCC del DITEC, sin embargo no existe un precio en el BCCA que se le asemeje, por tanto habrá que crearlo nuevo.

Es el caso del **precio 32 (m<sup>2</sup>. Estructura de tabique de pino de 2" x3")**. El precio definitivo sería, siguiendo los criterios del BCCA para su clasificación y definición, el 05MTT70100.

- Caso 2. Partimos de un precio del BCC del DITEC y en el BCCA se encuentra un precio similar, en el cual se basa el precio que se crea como definitivo con los materiales y medidas exactas de proyecto.

Como en el **PUS 29 (m<sup>2</sup>. Envigado de piso de pino de 2" x6")**, en el cual se define la estructura del forjado de ma-

dera del techo de planta baja, el equivalente del BCCA sería : 05MTT80100 (m<sup>2</sup>. Estructura c/forjado y sop. de madera pino flandes), aunque no es exactamente lo definido en proyecto, por tanto se usa de referencia para crear el precio definitivo, que es 05MTT70110 (m<sup>2</sup>. Estructura de forjado de madera de pino con viguetas de 45\*145 mm.), que corresponde exactamente con lo definido en el proyecto.

- Caso 3. No existe el precio en el banco chileno y se busca el precio en el BCCA, donde se encuentra el precio exacto o similar. Si es parecido se crea el definitivo en base a éste. Si no existe, se crea nuevo con los criterios y clasificación del BCCA.

Es el caso del PUS 05MTT80020 (m. Jácena de madera de pino tratada de 20X24 cm.). Este es un precio que hay que definir para el proyecto pero que no existe en el BCC de Chile. En el BCCA sí está definido aunque las medidas no son las necesarias para el proyecto, por tanto se crea un precio nuevo, similar al existente, con los criterios del BCCA.

- Caso 4. El precio existe en el BCC del DITEC pero hace falta uno o varios precios similares aunque con medidas diferentes. Estos precios pueden existir o no en el BCCA, siguiendo el procedimiento definido en los casos anteriores.

Sería el ejemplo del PUS 36 (m<sup>2</sup>. Estructura techumbre pend. 40 %, cerchas a 90 cm. Madera). Éste es el único precio en el banco de Chile y en el proyecto se definen dos tipos de cerchas colocadas a distancias y pendientes diferentes. En el BCCA existe un precio similar, pero no corresponde con las medidas exactas, es el PUS 05MTT80060 (m<sup>3</sup>. Cercha madera de pino tratada hasta 7 m). Por tanto, hay que crear dos precios nuevos en base a éste. Los precios definitivos serían: 05MTT70060 (m<sup>2</sup>. Cerchas de madera a 75 cm. pend. 40 %, para estructura de cubierta) y el 05MTT70070 (m<sup>2</sup>. Cerchas de madera a 54 cm. pend. 22 %, para estructura de cubierta), como se define en la Tabla 7.11.

Se puede apreciar así todo el proceso realizado además de la justificación del uso del BCCA.

La relación de partidas definitiva se define en la Tabla 7.12 consta de 113 precios de los cuales 44 se han creado nuevos, y se adjuntan en el Anexo, en Anexo Chile.

Tabla 7.12: Relación de partidas definitiva, según criterios del BCCA

CÓDIGOS	UD.	CAPÍTULOS/ DESCRIPCIÓN
<b>BCCR_CH</b>		
<b>CAPÍTULO 02. EXCAVACIONES</b>		
02ACC00001	m <sup>3</sup>	EXCAVACIÓN APERTURA DE CAJA, TIERRAS CONSISTENCIA MEDIA
02RRM00001	m <sup>3</sup>	RELLENO CON TIERRAS, MEDIOS MECÁNICOS
02ZBB00002	m <sup>3</sup>	EXC. ZANJAS, TIERRA C. MEDIA, MEDIOS MANUALES, PROF. MÁX. 1,50 m
02ZMM00002	m <sup>3</sup>	EXC. ZANJAS, TIERRAS C. MEDIA, MEDIOS MECÁNICOS, PROF. MÁX. 4 m
<b>CAPÍTULO 03. CIMENTACIÓN</b>		
03ACC00010	kg	ACERO EN BARRAS CORRUGADAS B400S EN CIMENT.
03ERM00001	m <sup>2</sup>	ENCOFRADO DE MADERA EN ZUNCHOS, ZAPATAS Y ENCEPADOS
03HAA80060	m <sup>3</sup>	HORMIGÓN HA-25/P/40/IIa EN VIGAS/ ZUNCHOS DE CIMENTACIÓN
03HAZ00002	m <sup>3</sup>	HORMIGÓN HA-25/P/40/IIa EN ZAPATAS Y ENCEP.
03WSS00011	m <sup>3</sup>	RELLENO DE GRAVA GRUESA LIMPIA EN ELEMENTOS CIMENTACIÓN
03WSS80000	m <sup>2</sup>	CAPA DE HORMIGÓN DE LIMPIEZA 10 cm ESP. MEDIO
<b>CAPÍTULO 04. SANEAMIENTO</b>		
04EAS00002	u	ARQUETA SIFÓNICA 1x1 m EXC. EN TIERRAS
04ECP70003	m	COLECTOR ENTERR. TUB. PRES. PVC DIÁM. 75 mm.
04ECP70005	m	COLECTOR ENTERR. TUB. PRES. PVC DIÁM. 110 mm.
04VBM70001	m	BAJANTE CHAPA DE CINCO DIÁM. 70 mm, ESP. 1,5 mm
<b>CAPÍTULO 05. ESTRUCTURAS</b>		
05MTT70100	m <sup>2</sup>	ESTRUCTURA TABIQUE PINO 2"X 3"
05MTT70110	m <sup>2</sup>	ESTRUCTURA DE FORJADO DE MADERA PINO CON VIGUETAS DE 45*145 MM
05MTT70200	m <sup>2</sup>	ESTRUCTURA CUBIERTA INCLINADA DE MADERA DE PINO 2"X 3"
05MTT70300	m <sup>2</sup>	ESTRUCTURA CUBIERTA INCLINADA DE MADERA DE PINO 1"X 4"
05MTT70020	m	JÁCENA MADERA PINO TRATADA 70 X 140 mm
05MTT70060	m <sup>2</sup>	CERCHAS DE MADERA A 75 cm. PEND. 40 %, PARA ESTRUCTURA DE CUBIERTA
05MTT70070	m <sup>2</sup>	CERCHAS DE MADERA A 54 cm. PEND. 22 %, PARA ESTRUCTURA DE CUBIERTA
05MTT70080	m <sup>2</sup>	TABLERO DE MADERA MACHIEMBRADA TRATADA DE 11 mm ESP. PARA ESTRUCT.TABIQUES
05MTT70090	m <sup>2</sup>	TABLERO DE MADERA MACHIEMBRADA TRATADA DE 15 mm ESP. PARA ESTRUCTURA DE FORJADO
<b>CAPÍTULO 07. CUBIERTAS</b>		
07IWF70001	m <sup>2</sup>	FALDÓN DE PLACA ONDULADA ASFÁLTICA
07IWL70001	m	CABALLETE ARTICULADO DE PLACA OND. ASFÁLTICA
07IGE00001	m	ENC. FALDÓN CHAPA CONFORMADA AC. GALV. Y PARAMENTOS EN CUMBRERA
07IGW00002	m	CANALÓN CHAPA LISA ACERO GALVANIZADO. DESARROLLO MÍNIMO 50 cm.
<b>CAPÍTULO 08. INSTALACIONES</b>		
08CVE70001	u	EXTRACTOR MEC. CON PERSIANA TOMA AIRE EXT. GALV. CON MALLA MET. 150x150 mm
08CVE70003	u	EXTRACTOR MEC. CON FILTRO Y PERSIANA TOMA AIRE

Continúa en la siguiente página

Tabla 7.12 – continúa de la página anterior

CÓDIGOS	UD.	CAPÍTULOS/ DESCRIPCIÓN
08CVR00071	u	INTERIOR, GALV. CON MALLA MET. 150x150 mm
08CVR70001	u	PERSIANA TOMA AIRE EXT. GALV. CON MALLA METALICA 300x300 mm
08ECC00105	m	REJILLA LAMAS ORIENTABLES UNA A UNA, CHAPA GALV. 250x150 mm
08ECC00102	m	CIRCUITO MONOFÁSICO 3x6 mm <sup>2</sup> EMPOTRADO
08ECC00103	m	CIRCUITO MONOFÁSICO 3x1,5 mm <sup>2</sup> EMPOTRADO
08EID00005	m	CIRCUITO MONOFÁSICO 3x2,5 mm <sup>2</sup> EMPOTRADO
08EIM00101	u	INTERRUPT. DIFERENCIAL II, INT. N. 25 A SENS. 0,03 A
08EIM00102	u	INTERRUPT. AUTOM. MAGNET. BIPOLAR DE 10 A
08EKK00001	u	INTERRUP. AUTOMÁTICO MAGNET. BIPOLAR DE 16 A
08ELL00001	u	INSTALACIÓN MODULAR DE CONTADOR MONOFÁSICO CENTRALIZADO
08ELL00002	u	PUNTO DE LUZ SENCILLO EMPOTRADO
08ELL00006	u	PUNTO DE LUZ CONMUTADO EMPOTRADO
08EPP00003	u	PUNTO DE LUZ DOBLE EMPOTRADO
08EPP00005	u	ARQUETA CONEX. DE PUESTA A TIERRA 38x50x25 cm
08EPP00102	u	PICA DE PUESTA A TIERRA
08ETT00002	m	LÍNEA PRINCIPAL PUESTA TIERRA, 25 mm <sup>2</sup> EMP.
08ETT00003	u	TOMA CORRIENTE EMP. 10/16 A CON 1,5 mm <sup>2</sup>
08EWW00001	u	TOMA CORRIENTE EMPOTRADA 16 A CON 2,5 mm <sup>2</sup>
08EWW00010	u	PUNTO TIMBRE 1,5 mm <sup>2</sup>
08EWW00030	u	CAJA CUADRO MANDO Y PROT. 1 DIF. + 4 MAGN. ARMARIO CUADRO MANDO Y DISTRIBUCIÓN DE 9 ELEMENTOS DE PLÁSTICO, EMPOTRADO
08EWW00095	u	CAJA PROTECCIÓN Y MEDIDA, NIVEL ELECTRIF. MEDIO CONTADOR MONOFÁSICO
08FAC00006	u	CONTADOR GENERAL DE AGUA, DE 25 mm
08FCC00052	m	CANALIZACIÓN COBRE CALORIFUGADA, EMP. 18 mm
08FDP00004	m	CANALIZACIÓN DERIVACIÓN PARA DESAGÜES PVC DIÁM. 40x1,9 mm
08FDP00005	m	CANALIZACIÓN DERIVACIÓN PARA DESAGÜES PVC DIÁM. 50x2,4 mm
08FDP70052	u	DESAGÜE BAÑERA, CÓN SIFÓN IND. CON PVC DIÁM. 50x2,4 mm
08FDP70081	u	DESAGÜE FREGADERO UN SENO, CON SIFÓN IND. CON PVC 50x2,4 mm
08FDP70091	u	DESAGÜE DE INODORO VERT. CON MANGUETÓN DE PVC 110 mm
08FDP70101	u	DESAGÜE LAVABO UN SENO CON PVC DE DIÁM. 40x2,4 mm
08FDP70121	u	DESAGÜE LAVADERO CON SIFÓN IND. CON PVC DIÁM. 50x2,4 mm
08FDP70131	u	DESAGÜE LAVADORA LAVAVAJILLAS CON SIFÓN IND. CON PVC DIÁM. 50x2,4 mm.
08FFP90500	m	CANALIZACIÓN POLIPROPILENO, EMPOTRADA, DE DIÁM. 20x1,9 mm
08FFP90510	m	CANALIZACIÓN POLIPROPILENO, EMPOTRADA, DE DIÁM. 25x2,3 mm
08FGF00004	u	EQUIPO GRIFERÍA FREGADERO MEZCL. CAL. MEDIA
08FGL00009	u	EQUIPO GRIFERÍA LAVABO MONOMANDO PRIM. CAL.
08FGN00003	u	EQUIPO GRIFERÍA BAÑO-DUCHA MONOM. PRIM. CAL.

Continúa en la siguiente página

Tabla 7.12 – continúa de la página anterior

CÓDIGOS	UD.	CAPÍTULOS/ DESCRIPCIÓN
08FGW00051	u	EQUIPO GRIFERÍA INODORO, PRIMERA CALIDAD
08FGW00008	u	EQUIPO GRIFERÍA PILETA-LAVADERO CALIDAD MEDIA
08FSF00091	u	FREGADERO 1 SENO CON ESCURRIDOR ACERO INOX.
08FSI00001	u	INODORO TANQUE BAJO, PORC. VITRIF. BLANCO
08FSL00003	u	LAVABO PEDESTAL PORC. VITRIF. 0,50x0,50 m BLANCO
08FSN70004	u	BAÑERA CHAPA ACERO C. BLANCO 1,20x0,70 m
08FSW70051	u	PILETA LAVADERO PORC. VITRIF. 0,40x0,35 m BLANCO
08FTC00551	u	CALENTADOR IND. INSTANTÁNEO GAS PRES. NORMAL 10 l/min
08LPP70815	u	DEPÓSITO SUPERFICIAL DE DOS CILINDROS DE PROPANO-BUTANO DE 45 kg
08LPP70053	m	CANALIZACIÓN ENTER. AC. NEGRO EST. DIÁM. 1/2"
08NOC90001	u	CAPTADOR SOLAR PLANO MONTAJE HORIZONTAL SUP. ABSORBEDORA 1,80 m
08NAA90100	u	INTERACUMULADOR SOLAR CON SERPENTÍN FIJO DE CAPACIDAD 80 LITROS
08NEE90001	u	ESTRUCTURA PLANA UN COLECTOR
<b>CAPÍTULO 09. AISLAMIENTOS</b>		
09ISS70020	m <sup>2</sup>	IMPERMEABILIZACIÓN BAJO CUBIERTA, B. VAPOR LAMINADO POLIETILENO DE 0.1 mm
09TPP70011	m <sup>2</sup>	AISLAM. PAREDES PLANCHAS RIG. POLIEST. 25 mm
09TPP70012	m <sup>2</sup>	AISLAM. PAREDES PLANCHAS RIG. POLIEST. 50 mm
09TPP70014	m <sup>2</sup>	AISLAM. PAREDES PLANCHAS RIG. POLIEST. 80 mm
09TTT70110	m <sup>2</sup>	AISLAM. TECHOS PL. RÍG. POLIEST. EXTRUS. 40 mm
<b>CAPÍTULO 10. REVESTIMIENTOS</b>		
10LMM70013	m <sup>2</sup>	REVESTIMIENTO TABLERO FIBRAS MADERA Y RESINAS, HIDRÓFUGO DM
10LWW70002	m <sup>2</sup>	REVESTIDO PANELES PLACAS YESO LAMINADO 10mm PERFILES DE MADERA FIJ. MEC.
10LWW70018	m <sup>2</sup>	REVESTIMIENTO PLACA YESO LAM. 15mm PERFILES DE MADERA FIJ. MEC.
10LWW70020	m <sup>2</sup>	REVESTIMIENTO PLACA FIBROCEM. 7mm PERFILES DE MADERA FIJ. MEC.
10SCS00006	m <sup>2</sup>	SOLADO CON BALDOSAS CERÁMICA VIDR. 30x30 cm
10SCR00002	m	RODAPIÉ BALDOSAS CERÁMICAS 10x20 cm ADHESIVO
10SLS00010	m <sup>2</sup>	SOLADO CON ROLLOS DE MOQUETA TENSADA
10SMR90010	m	RODAPIÉ CHAPADO ROBLE 7x1,6 cm
10SSS70001	m <sup>2</sup>	SOLERA HORMIGÓN HM-20, 8 cm ESP
10TMT70008	m <sup>2</sup>	ENTRAMADO PARA SOPORTE DE REV. TECHO DE MADERA PINO 4,5*4,5 CM
10TWW70011	m <sup>2</sup>	TECHO CONTINUO CON PLACAS DE YESO LAMINADO 10 mm PERF. MAD. FIJ. MEC.
10TWW70013	m <sup>2</sup>	TECHO CONTINUO CON PLACAS DE FIBROCEMENTO DE 7 mm PERF. MAD. FIJ. MEC.
10WRG70001	m	REMATE LATERAL EN TABIQUES Y HUECOS EXT. DE CHAPA LISA ACERO GALVANIZADO
<b>CAPÍTULO 11. CARPINTERÍA</b>		
11LPA00125	m <sup>2</sup>	PUERTA ABATIBLE ALUM. TIPO III (1,50-3 m <sup>2</sup> )
11LVA00126	m <sup>2</sup>	VENTANA ABATIBLE ALUM. TIPO II (0,50-1,50 m <sup>2</sup> )
11LVF00126	m <sup>2</sup>	VENTANA FIJA ALUM. TIPO II (0,50-1,50 m <sup>2</sup> )
11MPP00151	m <sup>2</sup>	PUERTA PASO PINTAR 1 H. CIEGA ABATIBLE CERCO 70x40 mm
11SBM70001	m	BARANDILLA MADERA BASTIDOR SENCILLO DE PINO GR1, 45X70 mm

Continúa en la siguiente página



Tabla 7.12 – continúa de la página anterior

CÓDIGOS	UD.	CAPÍTULOS/ DESCRIPCIÓN
11SEM70001	m	ESCALERA DE MADERA DE 0,60 M. DE ANCHO, PARA SALVAR ALT. DE 2.63 M.
12LIS70005	m <sup>2</sup>	<b>CAPÍTULO 12. VIDRIOS</b> ACRIST. LUNA PULIDA, INCOL., 4 mm, COLOCADO CON MASILLA
13IEE00004	m <sup>2</sup>	<b>CAPÍTULO 13PINTURAS</b> PINTURA ESMALTE SINTÉTICO SOBRE CARPINTERÍA DE MADERA
13IEE70001	m <sup>2</sup>	PINTURA AL ESMALTE GRASO SOBRE MADERA, YESO O CEMENTO
13IOO70001	m <sup>2</sup>	PINTURA AL ÓLEO SOBRE MADERA, YESO O CEMENTO <b>CAPÍTULO 17. GESTIÓN DE RESIDUOS</b>
17AHA00140	t	RETIRADA RESIDUOS ACERO N.P. DIST. MÁX. 15 km
17HAW00140	m <sup>3</sup>	RETIRADA RESIDUOS ARIDOS Y PIEDRAS N.P. A PLANTA VALORIZ. 15 km
17HCC00001	m <sup>3</sup>	RETIRADA RESIDUOS CERÁMICOS N.P. A PLANTA VALORIZ. 15 km
17HHW00001	m <sup>3</sup>	RETIRADA RESIDUOS HORMIGÓN, CEMENTO Y CAL N.P. A PLANTA VALORIZ. 15 km
17MMM00120	t	RETIRADA RESIDUOS PLÁSTICOS Y SINTÉTICOS, DIST. MÁX. 15 km MEC.
17MMM00120	t	RETIRADA RESIDUOS PLÁSTICOS Y SINTÉTICOS, DIST. MÁX. 15 km MEC.
17RRR00220	m <sup>3</sup>	RETIRADA DE RESIDUOS MIXTOS N.P. A PLANTA DE VALORIZ. 15 km

### Ejemplo de cálculo de los precios descompuestos

Una vez definida la relación de partidas definitiva, se procede al desglose de cada una de ellas. El descompuesto de cada PUS incluye el rendimiento de la mano de obra y de la maquinaria, así como la cantidad de cada material empleado. Se crean 44 precios nuevos, en los cuales hay que definir los rendimientos y cantidades, se pueden consultar en el Anexo, Anexo Chile. Los precios del proyecto que son del BCCA, se pueden consultar en el documento original (incluir referencia del BCCA Andalucía), por tanto no se incluyen en el presente documento.

Para realizar el descompuesto de cada partida hay que definir:

- Mano de obra. Se define el rendimiento de la mano de obra a partir de los datos del BCCA.
- Maquinaria. Se define el rendimiento de la maquinaria a partir de los datos del BCCA.
- Materiales. Para definir las cantidades de los materiales, se estudian los criterios de medición del país de origen y el criterio seguido en

Tabla 7.13: Listado de descompuestos según criterios del BCC DITEC. Ejemplo del capítulo B. Obras de Construcción. Estructuras portantes

CÓD.	CAPÍTULOS/ DESCRIPCIÓN	UD.	RTO.	COST. (UF)	TOTAL (UF)
<b>B</b>	<b>OBRAS DE CONSTRUCCIÓN</b>				
<b>B.04</b>	<b>ESTRUCTURAS PORTANTES</b>				
<b>B.04.01</b>	<b>TABIQUES PERIMETRALES</b>				
<b>32</b>	<b>ESTRUCTURA TABIQUE DE PINO 2" X 3"</b>	<b>m<sup>2</sup></b>			<b>0,12</b>
	Pino cepillado seco 2" x 3"	uni	1,1	0,08	0,09
	Clavos corrientes 4"	kg	0,05	0,05	0,00
	Pérdidas	%	0,05	0,09	0,00
	Carpintero	HD	0,02	0,72	0,01
	Ayudante	HD	0,02	0,39	0,01
	Leyes Sociales	%	0,29	0,02	0,01
<b>73</b>	<b>PLACA OSB ESTR. DE PINO 11,1 MM. PARA ENTRAM. MAD.</b>	<b>uni</b>			<b>0,80</b>
	OSB estruct. 2440 x 1220 x 11,1 mm.	uni	1	0,30	0,30
	Clavos corrientes 2"	kg	0,33	0,06	0,02
	Pérdidas	%	0,15	0,32	0,05
	Carpintero	HD	0,3	0,72	0,22
	Ayudante	HD	0,3	0,39	0,12
	Leyes sociales	%	0,29	0,33	0,10

Tabla 7.14: Ejemplo para cálculo de precio descompuestos del PUS 32. Precio definitivo según criterios del BCCA

05MTT70100		m <sup>2</sup>	ESTRUCTURA de TABIQUE MADERA DE PINO 2" X 3"			
Estructura vertical de soportes de madera de pino, para alturas hasta 4 m, formada por soportes de 5x7,5 cm, separadas 30 cm interejos, cadenas colocadas en altura cada 70 cm., de soleras y bajo soleras, todos de madera de pino de sección 5x7,5cm., incluso material de ensamble estructural, p.p. de cortes, ensambles, aplomado, elementos de atado y refuerzo; según CTE.						
Medida superficie ejecutada.						
TA00300	h		AYUDANTE CARPINTERÍA	0,02	18,42	0,37
TO01500	h		OF. 1ª CARPINT.	0,02	19,23	0,38
KM75100	m <sup>3</sup>		MADERA PINO	<b>0,03</b>	376,2	9,37
PX00200	kg		PINT. INSECT.-FUNG. AC. CON RES, INCOL.	0,50	5,53	2,77
<b>Costes Directos</b>				<b>(Euros)</b>		<b>12,88</b>

Tabla 7.15: Ejemplo para cálculo de precio decompuestos del PUS 32.  
Medición de pilares de los tabiques estructurales de la vivienda.

Comentario	Nº	Ancho	Long.	Alto	Total	Ud.
<i>Pilares</i>						
<i>Planta baja</i>						
<i>Fachada oeste</i>	12			2,40	28,80	
	4			2,40	9,60	
<i>Fachada este</i>	3			2,40	7,20	
	12			2,40	28,80	
<i>Fachada norte</i>	28			2,40	67,20	
<i>Fachada sur</i>	11			2,40	26,40	
	12			2,40	28,80	
	9			2,40	21,60	
<i>Planta primera</i>						
<i>Fachada oeste</i>	2			1,85	3,70	
	2			2,15	4,30	
	1			2,55	2,55	
	2			2,95	5,90	
	1			3,05	3,05	
	1			3,35	3,35	
	1			3,25	3,25	
	1			2,70	2,70	
	1			2,40	2,40	
<i>Fachada este</i>	2			1,85	3,70	
	2			2,15	4,30	
	2			2,55	5,10	
	1			2,95	2,95	
	1			3,35	3,35	
	1			3,15	3,15	
	1			2,70	2,70	
	1			2,40	2,40	
<i>Fachada norte</i>	33			1,75	57,75	
<i>Fachada sur</i>	32			1,75	56,00	
<b>Total</b>					<b>391,00</b>	<b>m</b>

Tabla 7.16: Ejemplo para cálculo de precio decompuestos del PUS 32. Medición de cadenetas de los tabiques estructurales de la vivienda.

Comentario	Nº	Ancho	Long.	Alto	Total	Ud.
<i>Cadenetas</i>						
<i>Planta baja</i>						
<i>Fachada norte</i>	4		7,20		28,80	
<i>Fachada sur</i>	4		3,15		12,6	
	4		2,45		9,80	
	4		3,10		12,40	
<i>Fachada oeste</i>	4		3,35		13,40	
	4		1,20		4,80	
<i>Fachada este</i>	4		3,35		13,40	
	4		1,20		4,80	
<i>Planta primera</i>						
<i>Fachada norte</i>	4		7,20		28,80	
<i>Fachada sur</i>	4		3,15		12,60	
	4		2,45		9,80	
	4		3,10		12,40	
<i>Fachada oeste</i>	4		3,35		13,40	
	4		1,20		4,80	
<i>Fachada este</i>	4		3,35		13,40	
	4		1,20		4,80	
			<b>Total</b>		<b>200,00</b>	<b>m</b>

Tabla 7.17: Ejemplo para cálculo de precio decompuestos del PUS 32. Medición de soleras y bajo soleras de madera de los tabiques estructurales de la vivienda.

Comentario	Nº	Ancho	Long.	Alto	Total	Ud.
<i>Soleras y bajo soleras</i>						
<i>Planta baja</i>						
<i>Fachada norte</i>	2		7,20		14,40	
<i>Fachada sur</i>	2		3,15		6,30	
	2		2,45		4,90	
	2		3,10		6,20	
<i>Fachada oeste</i>	2		3,35		6,70	
	2		1,20		2,40	
<i>Fachada este</i>	2		3,35		6,70	
	2		1,20		2,40	
			<b>Total</b>		<b>50,00</b>	<b>m</b>

Tabla 7.18: Ejemplo para cálculo de precio decompuestos del PUS 32. Cambio de la unidad de medida de la madera de longitud a volumen.

Comentario	Nº	Ancho	Long.	Alto	Total	Ud.
<i>Pilares</i>	1	0,05	391,00	0,08	1,51	
<i>Cadenetas</i>	1	0,05	200,00	0,08	0,77	
<i>Soleras y bajo soleras</i>	1	0,05	50,00	0,08	0,19	
<b>Total</b>					<b>2,48</b>	<b>m<sup>3</sup></b>

Tabla 7.19: Ejemplo para cálculo de precio decompuestos del PUS 32. Medición de los tabiques estructurales de la vivienda.

Comentario	Nº	Ancho	Long.	Alto	Total	Ud.
<i>Fachada norte</i>	1	7,20		4,45	32,04	
					<b>32,04</b>	<b>m<sup>2</sup></b>
<i>Fachada sur</i>	1	3,15		4,45	14,02	
	1	2,47		4,45	10,99	
	1	2,10		4,45	9,35	
					<b>34,35</b>	<b>m<sup>2</sup></b>
<i>Fachada oeste</i>	1	3,35		4,45	14,91	
	0,5	3,35		1,80	3,02	
					<b>17,92</b>	<b>m<sup>2</sup></b>
<i>Fachada este</i>	1	3,35		4,45	14,91	
	0,5	3,35		1,80	3,02	
					<b>17,92</b>	<b>m<sup>2</sup></b>
<b>Total</b>					<b>102,24</b>	<b>m<sup>2</sup></b>

Tabla 7.20: Ejemplo para cálculo de precio decompuestos del PUS 32. Repercusión de volumen de madera (m<sup>3</sup>) por unidad de superficie de tabique (m<sup>2</sup>)

Madera	Ud.	Tabique	Ud.	Total	Ud.
2,48	m <sup>3</sup>	/	102,24	m <sup>2</sup>	= <b>0,024 m<sup>3</sup> madera/m<sup>2</sup> estructura</b>

la metodología, que es el planteado en el BCCA. Así se realiza la medición exacta del precio en particular para incluirla en el precio nuevo.

En cada uno de los precios creados para realizar el descompuesto hay que calcular la cantidad de material que se necesita. Cada caso depende de la unidad de medida y criterio de medición del material y de la partida a la que pertenece. Se muestra como se realiza a través de un ejemplo representativo, con el PUS 32 de la relación de partidas del DITEC.

En la Tabla 7.13 se aporta un ejemplo de dos precios descompuestos del BCC del DITEC, que conforman la estructura de las viviendas, la cual se realiza con tabiques estructurales de madera de pino de 2x3 y con revestimiento de placa OSB estructural de madera de pino de 11 mm. de espesor.

El PUS 32. Como se refleja en la tabla 7.13, cuya unidad de medida es en superficie ( $m^2$ ), no especifica criterio de medición, y en la descomposición se contempla que la unidad de medida del precio básico de la madera de pino es la unidad. En Chile 1 unidad de madera de pino equivale a 3.20 m.

El precio definitivo del PUS 32 es el PUS 05MTT70100.  $m^2$ . Estructura de tabique de madera de 2x3 pulgadas (ver Tabla 7.11), la unidad de medida es igualmente en superficie, el criterio de medición es medida la superficie ejecutada y el precio básico de la madera de pino es en volumen ( $m^3$ ). Como se puede ver en la tabla de precios descompuestos de ejemplo (ver Tabla 7.14) y en los Anexos, Anexos de Chile.

En el epígrafe del precio definitivo se indica lo que incluye el metro cuadrado de estructura de tabique, está formada por: pilares, cadenetas, soleras y bajo soleras. Todos ellos de madera de pino de dimensiones 2x3 pulgadas y representadas gráficamente en las secciones de las figuras Fig. 7.21 y Fig. 7.22.

Los pilares están colocados cada 25 o 50 cm. dependiendo de las necesidades estructurales de la vivienda. Y su medición se adjunta en la Tabla 7.15. Se puede consultar en los planos de estructuras en los Anexos, Anexos Chile.

Las cadenetas se colocan perpendiculares a los pilares, se colocan en altura cada 70 cm. Y su medición se adjunta en la Tabla 7.16

Las soleras y bajo soleras de madera, se colocan en la base del tabique, sobre el zuncho de hormigón. Y su medición se adjunta en

la Tabla 7.17.

Se realiza, por tanto, la medición total de todos los elementos que componen el tabique, de toda la vivienda y se suman todos ellos, para determinar la cantidad de madera empleada en total. El criterio de medición es la longitud ejecutada y unidad de medida el metro. La sección de la madera de cada uno de los elementos es 2 x 3 pulgadas, se aplica este valor a la longitud total de madera y se obtiene el volumen total de madera. Lo cual se especifica en la Tabla 7.18.

Por otro lado se realiza la medición en superficie de los tabiques, en la Tabla 7.19, para finalmente calcular la repercusión de madera en volumen ( $m^3$ ) por superficie de tabique ( $m^2$ ). Este valor es el que se incluye en el descompuesto del precio del tabique nuevo aplicándole un porcentaje de pérdidas de un 5%. Finalmente la cantidad de madera por unidad de superficie es  $0.025 m^3/m^2$ , que pasa a 0.03 al redondear el número de decimales a 2 unidades. El resultado se refleja en la Tabla 7.14 del precio definitivo.

## 7.9. Banco de Cuantificación de Recursos

Una vez terminados todos los precios descompuestos y la medición detallada del proyecto se procede a elaborar el banco de cuantificación de recursos (BCCR) tal cual se define en la metodología.

El BCCR del presente caso de estudio es una aplicación real y particular para un proyecto específico, las soluciones constructivas y los precios son particulares del mismo. Por tanto, este proceso podría aplicarse a cualquier otro proyecto que quiera analizarse.

Del BCCR obtenemos los recursos necesarios para ejecutar el proyecto, y a partir de los mismos se evalúa la mayor parte de la HE. Para ello hay que introducir los datos que ya tenemos del proyecto, el proceso es el siguiente:

- Introducir la medición del proyecto (ver Fig. 7.24), que ya se ha definido en el apartado anterior. A continuación se incluye en el Modelo HE:
  - Introducir la clasificación del proyecto a nivel de capítulos, subcapítulos y/o apartados.
  - Introducir las partidas de proyecto, definidas con su código y unidad de medida.
  - Introducir la medición de cada precio.

- Desarrollar el BCCR con los precios descompuestos del proyecto y aplicarle la medición. (Ver Fig. 7.23).
  - Incluir cada uno de los PUS, se define su descomposición según los diferentes recursos: materiales, mano de obra y maquinaria.
  - Aplicar la medición real.
- Obtener resultados para evaluar el proyecto desde el punto de vista ambiental (HE) y económico (ver Fig. 7.23).
  - Se obtienen los recursos totales del proyecto a partir de los cuales se evalúa la HE.
  - Se obtienen los importes totales para realizar la evaluación económica del proyecto.

PROCEDENCIA: PRECIO NUEVO SEGÚN CRITERIOS BCCA 2014			MEDICIÓN DE PROYECTO			PRECIOS DEL BCCA 2014		
CÓDIGO	UD.	DESCRIPCIÓN BCCA/ DESCOMPUESTO	Cantidad recursos	Cantidad recursos	Cantidad total (PUS)	PRECIOS PB	IMPORTE PUS (€)	IMPORTE TOTAL (€)
05MTT70100	m <sup>2</sup>	ESTRUCTURA TABIQUE PINO 2" X 3"	aux. (PA)	(PB)	102,24	€	12,92	1.321,23
<b>MATERIALES</b>								
KM75100	m <sup>3</sup>	MADERA PINO		0,03	2,56	376,20	9,41	961,56
PX00200	kg	PINTURA INSECTICIDA-FUNGICIDA ACEITE CON RESINAS, INCOL.		0,50	51,12	5,53	2,77	282,69
<b>MANO DE OBRA</b>								
TA00300	h	AYUDANTE CARPINTERÍA		0,02	2,04	18,42	0,37	37,66
TO01500	h	OF. 1ª CARPINTERÍA		0,02	2,04	19,23	0,38	39,32
<b>MAQUINARIA</b>								

Figura 7.23: Ejemplo del BCCR de Chile

Este proceso se realizaría para cualquier otro proyecto a evaluar.

En el caso del proyecto de Chile, a nivel de capítulos, se define con los mismos capítulos que se plantean en el modelo para los proyectos del caso de España. Sin embargo a nivel de subcapítulos y/o apartados se han añadido algunos nuevos, así como se han eliminado otros que no existen, para poder definir correctamente el proyecto chileno. Se puede ver la Fig. 7.24, donde se aporta el ejemplo del Capítulo 05. Estructuras. Se definen primero por columnas el código, a continuación el concepto a nivel de capítulos, subcapítulos y/o apartados.

En este caso, se introduce un subcapítulo nuevo, 05MT. Madera tradicional, el cual no existe en los casos de los proyectos de España y sin



CÓDIGO	CONCEPTO	UD.	CÓDIGO	Cantidad (u)
<b>CAPÍTULO 05. ESTRUCTURAS</b>				
05AE	Acero Estructuras Metálicas	kg	-	-
05F	Forjados	m <sup>2</sup>	-	-
05HA	Armaduras	kg	-	-
05HE	Encofrados	m <sup>2</sup>	-	-
05HA	Hormigones Armados	m <sup>3</sup>	-	-
05MT	Madera tradicional	m <sup>2</sup>	05MTT70100	102,24
		m <sup>2</sup>	05MTT70110	21,63
		m <sup>2</sup>	05MTT70200	40,10
		m <sup>2</sup>	05MTT70300	1,10
		m	05MTT70020	31,04
		m <sup>2</sup>	05MTT70060	36,00
		m <sup>2</sup>	05MTT70070	3,00
		m <sup>2</sup>	05MTT70080	102,24
		m <sup>2</sup>	05MTT70090	21,81

Figura 7.24: Ejemplo de la definición del proyecto para el BCCR de Chile

embargo es fundamental en el caso de Chile, ya que la estructura de la vivienda está realizada en madera. Se observan otros subcapítulos sin código ni cantidad ya que no existen en este proyecto.

Las siguientes columnas son para definir cada precio indicando la unidad de medida, el código y la medición. Esta medición es la que se aplica a cada uno de los PUS definidos a continuación en el BCRR.

Se aporta el ejemplo del BCCR del precio de los tabiques estructurales de madera en la Fig. 7.23. El BCCR del caso de Chile se puede consultar completo en los Anexos, en Anexos Chile (añadir BCCR a anexos y añadir aquí la referencia).

Cada uno de los precios del BCCR se divide en tres bloques de columnas diferenciadas por colores.

- El primer bloque de columnas para identificar el precio unitario simple (PUS) (color naranja).
- EL segundo define las mediciones parciales y totales (color azul).
- El último aporta el precio e importe parcial y total (color verde).

La identificación del precio se realiza mediante el código, en este caso creado nuevo, según los criterios del BCCA, unidad de medida y descrip-

ción corta. Esto se define además para cada uno de los precios básicos (PB) y/o auxiliares (PA) que definen el descompuesto. Además se diferencian los diferentes recursos que forman parte del descompuesto en bloques de filas por escala de colores (color gris), según la clasificación de materiales, mano de obra y maquinaria.

La medición del proyecto tiene en las dos primeras columnas las cantidades unitarias del precio, ya sea un precio auxiliar o un precio básico, y en la tercera columna el resultado de aplicar estos datos a la medición total de esa partida en el proyecto, por lo tanto, en esta columna se representan los totales de cada uno de los recursos de ese precio. Estos totales son los que se utilizan para contabilizar los recursos y calcular la HE del proyecto.

Para obtener el importe del proyecto se reserva el último bloque de columnas, donde se indican los precios de los PB y PA. Éstos se aplican a los totales de la medición y así se obtienen: primero el importe total del PUS, a continuación el importe del capítulo y finalmente el total del proyecto. La moneda empleada es el euro.

## 7.10. HE del proyecto de Chile

A partir de los resultados obtenidos en el BCCR, definido en el apartado anterior, y de los datos generales del proyecto, se evalúa la HE del proyecto de viviendas analizado.

### 7.10.1. Electricidad

Cada uno de los cuatros sistemas eléctricos definidos, tiene diferente mix energético, nuestro caso de estudio, situado en Temuco (Araucanía, novena región) pertenece al sistema eléctrico del SIC, es el mayor de los cuatro sistemas eléctricos que suministran energía al territorio chileno, cuenta con una potencia instalada al 31 de Diciembre de 2013, que alcanza los 14.147,0 MW, y una cobertura de abastecimiento que alcanza en esa fecha, cerca del 92,2% de la población.

Se define, por tanto, para nuestro caso el mix energético del SIC para el año 2013. A partir del mismo obtenemos el dato de emisiones de CO<sub>2</sub>/kWh para poder obtener la electricidad en el punto de consumo.

Los datos que se necesitan para el caso de Chile son los siguientes:

- Mix energético del SIC de Chile, con los porcentajes de las diferentes productores de energía, lo cual se refleja en la Tabla 7.21. Las centrales térmicas son las que han producido mayor cantidad de energía en el año 2013, sobre un 61 %, seguido del valor de las

centrales hidroeléctricas que representan el 38 % de la generación, los valores de eólico y solar todavía no son representativos siendo su generación es de un 1 % y casi cero respectivamente.

- El mix energético y las emisiones de CO<sub>2</sub> de los sistemas de generación de energía dependen además del combustible empleado, por tanto, en la Fig. 7.25 se aportan dichos porcentajes según el combustible que se utilice. En este caso son las centrales hidroeléctricas que generan la electricidad con de agua embalsada las responsables de el valor más alto de la generación anual un 24 % de energía, seguido del 22 % de las centrales térmicas alimentadas con gas. El carbón y el petróleo, que también alimentan a las centrales térmicas, representan valores bastantes altos, 19 y 18 % respectivamente. El 14 % de pasada corresponde a las hidroeléctricas que utilizan la energía del agua directamente de los ríos sin necesidad de embalse. El 2 % de otros corresponde a centrales térmicas alimentadas por leña o desechos y finalmente el 1 % que corresponde a la eólica.
- Se aportan los datos de emisiones de CO<sub>2</sub> por kWh de cada uno de los principales productores de energía, según el combustible empleado, para aplicarlos a los porcentajes de cada una de ellas del gráfico anterior.
- Finalmente se representan en la Tabla 7.22 los resultados de emisiones de CO<sub>2</sub>/kWh según cual es el sistema generador de energía, siendo el total de 0.000517 CO<sub>2</sub>/kWh.

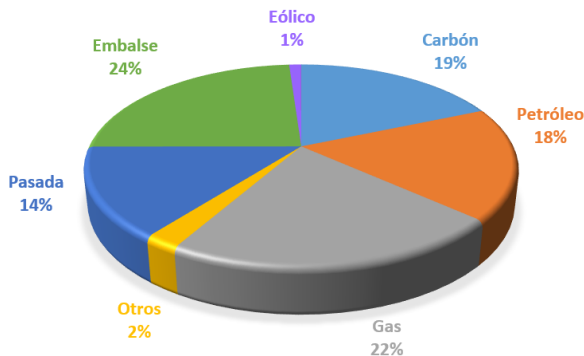


Figura 7.25: Mix energético para el SIC de Chile según el tipo de combustible. Año 2013. Fuente: Anuario 2013 del CDEC-SIC.

Tabla 7.21: Producción de energía y demanda máxima del sistema SIC de Chile, en el año 2013. Fuente: CDCSIC. Estadísticas de operación año 2013.

Producción de energía	Generación bruta (GWh)	Porcentaje (%)
<b>Térmico</b>	30.856,80	60,58
<b>Hidráulico</b>	19.530,20	38,34
<b>Eólico</b>	548,20	01,08
<b>Solar</b>	3,30	0,01
<b>Total SIC</b>	50.938,50	100,00

Tabla 7.22: Emisiones de GEI en Sistemas de Generación Eléctrica (promedio en Chile)

Termoeléctrica Carbón	Gas natural Ciclo combinado	Termoeléctrica Petróleo	Hidroeléctrica de embalse
(kg CO <sub>2</sub> eq/1kWh)			
1,09	0,58	1,13	0,004

### 7.10.2. Agua

Nuestro caso de estudio, situado en Temuco, región IX, está gestionado por la empresa sanitaria de Aguas de Araucanía, que pertenece al grupo Aguas Nuevas, y por tanto consideramos los datos que dicha empresa nos proporciona.

Debido al tamaño y dispersión geográfica donde opera, en la Región de La Araucanía, Aguas Araucanía utiliza diferentes métodos y tecnologías para entregar servicios sanitarios a las 35 localidades que atiende. Es así como el agua potable proviene de una combinación de fuentes subterráneas, como de fuentes superficiales (mayoritariamente ríos), que son potabilizadas en plantas de tratamiento y que posteriormente son distribuidas a la población a través de redes de distribución. En materia de saneamiento, con la excepción de Licanray, que no cuenta con redes de recolección, todas las localidades atendidas disponen de plantas de tratamiento de aguas servidas. Así, existen plantas con tratamiento primario, secundario, y lagunas aireadas o de estabilización.

Desde el año 2010, comienzan a medir la huella de carbono de la empresa, de acuerdo a la norma ISO 14.064, estableciendo el impacto que las actividades de la compañía provocan en el medioambiente respecto del recuento de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) producidos.

Tabla 7.23: Emisiones de CO<sub>2</sub> de los sistemas de generación eléctrica del SIC, año 2013

<b>Generación de energía según tipo de combustible</b>	<b>Emisiones en sistemas de generación eléctrica (tCO<sub>2</sub>/ kWh)</b>
<b>Térmicas fósiles</b>	<b>5,16E-04</b>
Carbón	2,01E-04
Petróleo	1,98E-04
Gas Natural	1,17E-04
<b>Hidroelectricidad</b>	<b>5,76E-07</b>
<b>Total</b>	<b>5,17E-04</b>

En 2011 se estableció un sistema de monitoreo de actividades por área en cada empresa del grupo, con el objetivo de llevar un control mensual de las emisiones y así mejorar la capacidad resolutoria en torno a las medidas de prevención y mitigación. Desde esa fecha hasta ahora continúan midiendo sus emisiones.

A partir de los datos obtenidos de Aguas de la Araucanía, obtenemos kWh consumidos repercutidos a los metros cúbicos de agua consumida, que es 0.46 kWh/m<sup>3</sup>, lo cual se representa en la Tabla 7.24 y aplicamos así la metodología del presente trabajo para obtener su huella [89].

Tabla 7.24: Datos agua suministrada, tratada y alcantarillado. Fuente: Realizada a partir de datos del informe anual de Aguas de la Araucanía, año 2013.

	<b>Agua potable</b>	<b>Alcantarillado</b>	<b>Agua tratada</b>	<b>Total</b>
<b>Mm<sup>3</sup> anuales</b>	<b>79.037</b>	<b>73.752</b>	<b>109.099</b>	<b>261.888</b>
<b>Porcentaje (%)</b>	30	28	42	100
<b>kWh/anuales</b>	36.276.000	33.857.600	50.786.400	120.920.000
<b>kWh/Mm<sup>3</sup></b>	458,97	459,07	465,51	461,72
<b>kWh/m<sup>3</sup></b>	<b>0,46</b>	<b>0,46</b>	<b>0,47</b>	<b>0,46</b>

### 7.10.3. Materiales

#### Transporte

El transporte de materiales se considera para las 17 viviendas que se construyen en el condominio (urbanización) y se calcula la repercusión

por cada vivienda.

Para determinar las distancias del transporte de los materiales tenemos en cuenta la ciudad de procedencia, lo cual dependerá si son materiales de importación o de procedencia nacional, ya sean de otra región o de la misma provincia. Se recoge de forma detallada en la Tabla 7.26.

- Importados desde otros países. En este caso se transportarán desde la capital del país, Santiago de Chile, ya que no se conoce realmente la procedencia exacta de cada material. Este es el caso por ejemplo de pinturas, aislamientos, revestimientos, etc. La distancia de Temuco a Santiago de Chile es de 700 km.
- Todos los materiales de origen nacional, provenientes de otra región, se consideran que proceden de Concepción, cuya distancia a Temuco es de 300 km. Este es el caso del cemento, cal, yeso, metales, etc.
- Materiales como el hormigón, áridos y la madera proceden del mismo Temuco, y se considera una distancia media de transporte a la obra de 10 km.

Las distancias aplicadas se adjuntan en la Tabla 7.25.

Tabla 7.25: Distancias para el transporte de materiales

<b>Procedencia material</b>	<b>Distancias (km)</b>
Importados	700
Nacionales	300
Regionales	10

## Residuos de construcción y demolición (RCD)

Para aplicar la metodología necesitamos en primer lugar determinar el porcentaje de reciclaje de cada material, se aplican los mismos porcentajes que en el caso de España y se obtienen así el total de RCD que hay que transportar a la planta gestora.

En nuestro caso, dada la situación de la vivienda que es en Temuco, donde existen plantas de gestión de residuos, se considera la correcta gestión de los mismos. La distancia de la obra a la planta gestora es de 15 km, y se contabiliza ida y vuelta, es decir 30 km.

Tabla 7.26: Distancias para el transporte de materiales según ciudad de procedencia

<b>Materiales importados</b>	<b>Materiales nacionales</b>	
	<b>Regionales</b>	<b>Provinciales</b>
	Ciudad de procedencia del material	
Santiago	Concepción	Temuco
Asfalto	Acero	Áridos
Cerámico	Aluminio	Hormigón
Fibra de vidrio	Cal	Madera
Fibrocemento NT	Cemento	
Pintura	Cobre	
Plástico ABS	Escayola, yeso	
Porcelana	Latón	
Poliestireno	Piedra	
Polietileno	Vidrios	
Polipropileno	Varios (moqueta)	
Poliester		
PVC		
Sellantes (caucho, siliconas, resinas epoxi, etc.)		

#### 7.10.4. Mano de obra

Aplicamos la metodología y los datos particulares de Chile para definir los alimentos consumidos en obra y los RSU generados por los trabajadores de la misma.

#### Alimentos

Los datos de HE sobre alimentos son generales para todo el país, como ya se ha definido en el apartado 7.4.5. Para aplicarlo a nuestro caso particular se necesita el número de trabajadores y las horas trabajadas para obtener la HE referente a la alimentación de los operarios en la obra a realizar.

#### Residuos sólidos urbanos (RSU)

Los datos de HE sobre RSU son generales para todo el país, como ya se ha definido en el apartado 7.4.5. Para aplicarlo a nuestro caso particular se necesita el número de trabajadores y las horas trabajadas para obtener la HE referente a los RSU generados en la obra a realizar.

#### 7.10.5. Maquinaria

Los datos de HE sobre maquinaria son generales para todo el país, como ya se ha definido en el apartado 7.4.6. Para aplicarlo a nuestro caso particular se necesita la maquinaria utilizada en la obra, diferenciando si es de combustible o eléctrica y las horas totales empleadas de cada tipo.

#### 7.10.6. Costes indirectos (CI)

El caso de estudio es una urbanización de 17 viviendas, para contabilizar correctamente dichos CI, se calcula para el total de urbanización, y finalmente se repercute el total por cada vivienda, que es nuestro caso de estudio.

Se adjunta la tabla de CI 7.27, que recoge la organización de obra, tanto de personal, como maquinaria y medios auxiliares específicos de la obra analizada, y a partir de la cual se obtienen los datos necesarios para evaluar la HE de los mismos.

La obra del proyecto estudiado está organizada: Mano de obra indirecta: encargado durante toda la obra, guardería y listeros la mitad de la ejecución. Medios auxiliares: mano de obra, materiales y maquinaria, durante toda la obra Instalaciones accesorias y complementarias: casetas, oficinas, acometidas etc. Personal: técnicos adscritos a la obra: jefe



Tabla 7.27: Costes indirectos del proyecto chileno según criterios del BC-CA

DATOS GENERALES DE OBRA				
	CDE Total	(Euros)	564098,02	
	PLAZO	(meses)	7,07	
	SUPERFICIE CONSTRUIDA	(m <sup>2</sup> )	884,00	
	Número de plantas SR		2,00	
	Número de viviendas		17,00	
	SUPERFICIE PARCELA	(m <sup>2</sup> )	1958,51	
CÓD.	CONCEPTO	U.	CANT.	% S/CDE
<b>C12</b>	<b>COSTES INDIRECTOS DE EJECUCIÓN</b>			<b>15,36 %</b>
<b>C121</b>	<b>MANO DE OBRA INDIRECTA</b>			<b>5,40 %</b>
C1211	Encargado	mes	7,07	3,74 %
C1214	Guardería y Listeros	mes	3,53	1,65 %
<b>C122</b>	<b>MEDIOS AUXILIARES</b>			<b>0,67 %</b>
C1221	Mano de Obra Auxiliar			0,20 %
C12211	Personal transporte interior	m <sup>2</sup>	884,00	0,04 %
C12212	Personal de limpieza general y regado	m <sup>2</sup>	884,00	0,08 %
C12213	Recogida y transporte de útiles y herramientas	m <sup>2</sup>	884,00	0,07 %
C12214	Otros			
C1222	Materiales Auxiliares			0,02 %
C12221	Pasta para fijación reglas	m2	884,00	0,00 %
C12222	Ladrillos y pastas para elementos provisionales	m <sup>2</sup>	884,00	0,01 %
C12223	Materiales para replanteos	m <sup>2</sup>	884,00	0,01 %
C12224	Agua	m <sup>2</sup>	884,00	0,00 %
C1223	Maquinaria, Útiles y Herramientas			0,45 %
C12233	Cortadoras	mes	3,00	0,12 %
C12234	Andamios	m <sup>2</sup>	884,00	0,10 %
C12235	Herramientas	m <sup>2</sup>	884,00	0,23 %
C12236	Otros	mes	0,00	0,00 %
<b>C123</b>	<b>INSTAL., ACCESORIAS Y COMPLEM.</b>			<b>1,95 %</b>
C1231	Casetas de obra			1,40 %
C12311	Oficinas	mes	7,07	0,18 %
	Aseos y vestuarios	mes	7,07	0,18 %
	Comedor	mes	7,07	0,18 %
C12313	Almacenes	m <sup>2</sup>	35,00	0,86 %
C1232	Acometidas y Tendidos Provisionales			0,55 %
C12321	Acometida de Electricidad	u	1,00	0,28 %
C12322	Acometida de Agua y Saneamiento	u	1,00	0,06 %
C12323	Tendido Eléctrico	u	1,00	0,18 %
C12324	Instalación Provisional de Agua	u	1,00	0,04 %
C1235	Consumo Eléctrico	m <sup>2</sup>	884,00	0,00 %
C1236	Otros			0,00 %
<b>C124</b>	<b>PERSONAL</b>			<b>7,34 %</b>
C1241	Técnicos Adscritos a la Obra			3,96 %
C12411	Jefe de Obra	mes	7,07	3,80 %
C1242	Administr. adscritos permanentem. a la obra	mes	7,07	3,38 %
<b>C125</b>	<b>VARIOS</b>			<b>0,28 %</b>
C1251	Gastos de Oficinas y Almacenes de Obra			
C12511	Gastos de Oficinas	mes	7,07	0,28 %

de obra y administrativos, empleados durante toda la ejecución. Varios:  
Gastos de oficinas y almacenes empleados durante toda la ejecución.

#### **7.10.7. Superficie consumida**

Se aplicara la metodología del Modelo HE a la superficie del proyecto analizado.

## Capítulo 8

# Validación del modelo y resultados

## 8.1. Validación del modelo

Una vez definido el modelo HE se procede a validar su funcionamiento a través de diferentes análisis. En el presente capítulo se presentan la definición de las características de los proyectos seleccionados necesarios para realizar cada uno de los análisis propuestos. Los resultados obtenidos de la validación y la discusión de los mismos se recogen posteriormente. Los análisis propuestos se detallan a continuación:

- En primer lugar se realiza un análisis de sensibilidad del modelo: *Evaluación de 97 tipologías de edificios residenciales*, donde se obtienen los resultados de todos los proyectos de la base de datos clasificados según su tipología en función del número de plantas, haciendo las medias para obtener un resultado único por tipología. Así se comprueba si el modelo es sensible a los cambios tipológicos.
- En segundo lugar, se realiza un análisis según tipología edificatoria: *Evaluación de la edificación en España de 2007 a 2010*. Dónde se aplica el modelo a 10 tipologías y se pretende diferenciar los cambios entre ellas. Además se presenta un análisis más pormenorizado de cada proyecto, diferenciando los resultados por capítulos y detallando cada uno de los recursos de materiales, mano de obra y maquinaria.
- Para finalizar la validación del modelo HE, se realiza un análisis según sistema constructivo: *Estudio de edificios según la cimentación proyectada*. Así se presenta, como se puede realizar el estudio de un elemento específico e importante de un proyecto, como plantear su análisis, cuales son las herramientas de las que partimos y los elementos susceptibles de análisis, para poder cuantificar y decidir qué solución constructiva emplear o cual es el material o la maquinaria más adecuados. Se realiza, por tanto, un estudio pormenorizado, planteando el análisis por capítulos de proyecto y desmembrándolo según sus recursos de materiales, mano de obra y maquinaria, estableciendo así las pautas para el análisis pormenorizado que incluye el punto de vista económico y el ambiental para la correcta toma de decisiones en un proyecto desde la fase de diseño.

Una vez definidos los diferentes puntos de vista de los análisis a realizar y definidos los proyectos seleccionados para cada caso, en el presente capítulo se presentan los resultados clasificados en dos grupos: los obtenidos a partir de la validación del modelo y su aplicación a los casos de proyectos de España y en segundo lugar los resultados obtenidos de la

aplicación del modelo a Chile. Una vez expuestos se procede al análisis y discusión de los mismos.

En los siguientes apartados se adjuntan de forma detallada los resultados y discusión de los mismos.

### **8.1.1. Análisis de sensibilidad del modelo: Evaluación de 97 tipologías de edificios residenciales**

Para determinar la sensibilidad del modelo se emplean los 97 proyectos de los que parte la metodología propuesta, para su análisis y discusión de resultados. Para ello se siguen los siguientes pasos:

- Se clasifican según su tipología en función del número de plantas sobre rasante. De cada tipología se cuenta con varios proyectos, los cuales se cuantifican en la Tabla 8.1. Cada proyecto incluye varias viviendas, en el caso de las unifamiliares, o de varios edificios en los plurifamiliares.
- Las características generales de cada uno de ellos se pueden consultar en los Anexos. Se definen y diferencian como ya se explica en el capítulo de Aplicación a España: la cimentación, uso de la planta baja, estructura, cubierta, y número de plantas sobre y bajo rasante.
- Para definir las mediciones de los proyectos se seleccionan las características constructivas, materiales y/o tipo de maquinaria empleada, en los apartados que el modelo lo permite, en la Tabla 8.2. Se mantiene la misma selección para todos los casos para poder realizar correctamente la comparativa.
- Los consumos de recursos generados a partir de la medición parten de los Qi de las 97 tipologías, cuyos valores medios se presentan, agrupados por tipologías en función del número de plantas sobre rasante en la Tabla 6.20 del apartado 6.3.2.
- Para presentar los resultados y simplificar su análisis, se calculan los valores medios en función de las tipologías propuestas.

Tabla 8.1: Número de proyectos clasificados por tipologías según número de plantas sobre rasante

Número plantas sobre rasante	Número proyectos
1	4
2	3
3	22
4	24
5	21
10	23
<b>Total</b>	<b>97</b>

CÓDIGO	UD.	CONCEPTO	Desplegables (PUS)
<b>CAP. 02</b>		<b>EXCAVACIONES</b>	
02E	m <sup>3</sup>	Excavaciones	<b>Pala</b>
02R	m <sup>3</sup>	Rellenos	<b>Medios mecánicos</b>
02T	m <sup>3</sup>	Transporte Tierras	<b>Medios mecánicos</b>
<b>CAP. 03</b>		<b>CIMENTACIONES</b>	
03A	kg	Armaduras	_____
03P	m	Pilotes	_____
03E	m <sup>2</sup>	Encofrados	<b>Metálico</b>
03HA	m <sup>3</sup>	Hormigones armados zapatas	<b>Vertido grúa</b>
03HM	m <sup>3</sup>	Hormigones masa	_____
03H	m <sup>3</sup>	Hormigones zunchos	_____
<b>CAP. 04</b>		<b>SANEAMIENTO</b>	
04A	u	Arquetas	<b>In situ</b>
04C	m	Coletores	<b>Hormigón</b>
04B	m	Bajantes	<b>PVC</b>
<b>CAP. 05</b>		<b>ESTRUCTURAS</b>	
05AE	kg	Acero estructuras metálicas	_____
05F	m <sup>2</sup>	Forjados	<b>Bovedillas cemento</b>
05HA	kg	Armaduras	_____
05HE	m <sup>2</sup>	Encofrados	<b>Metálico</b>
05HA	m <sup>3</sup>	Hormigones armados	_____
<b>CAP. 06</b>		<b>ALBAÑILERÍA</b>	
06FB	m <sup>2</sup>	Fcas. de bloques	_____
06DC	m <sup>2</sup>	Distr. tabiquería (cámaras)	_____
06DT	m <sup>2</sup>	Distr. tabiquería (partic.)	_____
06LE	m <sup>2</sup>	Fcas. exteriores de ladrillo	_____
06LI	m <sup>2</sup>	Fcas. interiores de ladrillo	_____
<b>CAP. 07</b>		<b>CUBIERTAS</b>	
07H	m <sup>2</sup>	Cubiertas horizontales	<b>Transitable</b>
07I	m <sup>2</sup>	Cubiertas inclinadas	<b>Teja cerámica</b>
<b>CAP. 08</b>		<b>INSTALACIONES</b>	
<b>08CA</b>	<b>u</b>	<b>Aparatos climatización</b>	_____
08CC	m	Conductos	_____
<b>08CR</b>	m <sup>2</sup>	<b>Radiadores</b>	_____
08EC	m	Circuitos	_____
08ED	m	Líneas y derivaciones	<b>PVC</b>
08EL	<b>u</b>	Puntos de luz	_____
08ET	<b>u</b>	Toma de corriente	_____
08EP	m	Conductor de puesta a Tierra	_____
08FC	m	Canalizaciones agua caliente	<b>Cobre</b>

08FD	u	Desagües	_____
08FF	m	Canalizaciones agua fría	Cobre
08FG	u	Griferías	_____
08FS	u	Aparatos Sanitarios	Porcelana
08FT	u	Termos/calentadores	Eléctrico
<b>08NA</b>	<b>u</b>	<b>Acumuladores</b>	_____
<b>08NE</b>	<b>u</b>	<b>Estructuras portantes</b>	_____
<b>08NO</b>	<b>u</b>	<b>Captadores solares</b>	_____
<b>08NP</b>	<b>m</b>	<b>Circuito pirmario</b>	_____
<b>CAP. 09</b>		<b>AISLAMIENTOS</b>	
09A	m <sup>2</sup>	Aislamientos acústicos	Polietileno
09T	m <sup>2</sup>	Aislamientos térmicos	Poliuretano
<b>CAP. 10</b>		<b>REVESTIMIENTOS</b>	
10AA	m <sup>2</sup>	Alicatados	Con adhesivo
10AC	m <sup>2</sup>	Chapados	Piedra caliza
10CE	m <sup>2</sup>	Enfoscados	_____
10CG	m <sup>2</sup>	Guarnecidos	Escayola
10S	m <sup>2</sup>	Solados	Cerámica
10SS	m <sup>2</sup>	Soleras	_____
10T	m <sup>2</sup>	Techos	Fij. Metálica
10R	m	Remates	Piedra caliza
<b>CAP. 11</b>		<b>CARPINTERÍA Y ELEM. SEG. Y PROTECCIÓN</b>	
11CA	m <sup>2</sup>	Carpintería acero	_____
11CL	m <sup>2</sup>	Carpintería ligera	_____
11M	m <sup>2</sup>	Carpintería madera	_____
11MA	m <sup>2</sup>	Armarios	_____
11MP	m <sup>2</sup>	Puertas madera	_____
11B	m <sup>2</sup>	Barandillas	Acero
11P	m <sup>2</sup>	Persianas	_____
11R	m <sup>2</sup>	Rejas	_____
<b>CAP. 12</b>		<b>VIDRIOS</b>	
12A	m <sup>2</sup>	Acristalamientos	_____
<b>CAP. 13</b>		<b>PINTURAS</b>	
13PE	m <sup>2</sup>	Pinturas exteriores	Pintura elastómera lisa
13PI	m <sup>2</sup>	Pinturas interiores	Pintura plástica lisa
<b>CAP. 17</b>		<b>GESTIÓN RCDs</b>	
<b>17AH</b>	<b>t</b>	<b>Hierro y acero</b>	_____
<b>17HA</b>	<b>m<sup>3</sup></b>	<b>Áridos y piedras naturales</b>	_____
<b>17HC</b>	<b>m<sup>3</sup></b>	<b>Cerámicos</b>	_____
<b>17HH</b>	<b>m<sup>3</sup></b>	<b>Hormigón, cemento y cal</b>	_____
<b>17MM</b>	<b>t</b>	<b>Madera</b>	_____
<b>17MP</b>	<b>t</b>	<b>Plásticos y sintéticos</b>	_____
<b>17RR</b>	<b>m<sup>3</sup></b>	<b>Residuos mezclados</b>	_____

## Resultados

Los resultados de los 97 proyectos se agrupan por tipologías según el número de plantas sobre rasante: 1, 2, 3, 4, 5 y 10, obteniendo así 6 tipologías. Se cuantifican todos los proyectos y se calculan de cada resultado el valor medio para cada una de las tipologías, para facilitar así su lectura y correspondiente análisis. Los resultados se expresan por unidad de superficie construida, es decir, por m<sup>2</sup>, para así poder realizar las correspondientes comparativas. Los resultados se presentan según los

siguientes apartados:

- HE total
- Huellas parciales e impactos
- Huellas por recursos: materiales, mano de obra y maquinaria
- Materiales
- HE por vivienda y persona, según tipologías

### HE total

Según los resultados obtenidos representados en la Fig 8.1, se puede afirmar que las viviendas de 1 planta sobre rasante (sr) son las que producen mayor impacto con mucha diferencia con respecto al resto de tipologías, con un valor de 0,203 hag/m<sup>2</sup>. Las viviendas de 2 plantas sr producen menor HE que la tipología anterior, 0,147 hag/m<sup>2</sup>, pero la diferencia con el resto de tipologías es un poco superior. A partir de las 3 plantas sr el impacto que se produce sigue una línea más homogénea, siendo su impacto de 0,130 hag/m<sup>2</sup>, el cual es muy cercano al valor de 0,123 y 0,119 de los edificios de 4 y 5 plantas sr, respectivamente y le siguen con menor impacto las tipologías de edificios de 10 plantas sr, lo cual cumple con la lógica de la repercusión que tiene el repartir los recursos para una superficie construida mayor.

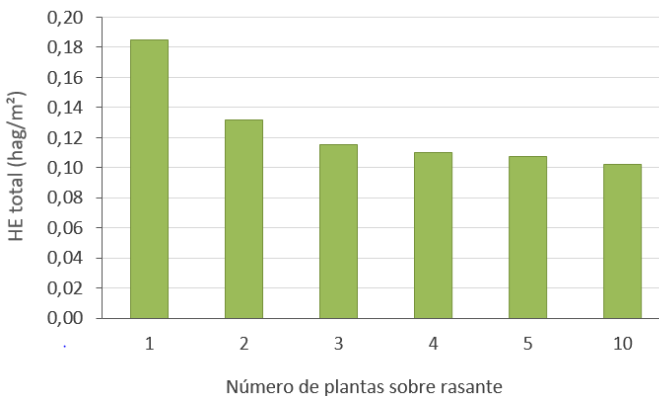


Figura 8.1: HE total según tipologías en función del número de plantas sobre rasante



## Huellas parciales e impactos

Para obtener la HE total se determinan en primer lugar las huellas parciales que la componen. En la Fig. 8.2 se representa a partir de todas las medias de todos los proyectos, los porcentajes de las huellas parciales, las cuales mantienen la misma proporción con pequeñas variaciones en cada tipología y tipo de huella, salvo en la huella de la superficie ocupada dónde en las tipologías de una planta su valor es bastante superior al resto, siendo los porcentajes de 1,63 % sobre el total en las tipologías de una planta y 0,09, 0,06, 0,05, 0,04 y 0,02 % para el resto de tipologías de 2, 3, 4, 5 y 10 plantas sr respectivamente. Lo cual se puede observar también en el gráfico Fig. 8.3 con valores de  $2,51 \text{ E-}04 \text{ hag/m}^2$  en las viviendas de una planta y hasta  $2,50 \text{ E-}05 \text{ hag/m}^2$  en los edificios de 10 plantas sr.

La huella que produce mayor impacto, según lo representado en la Fig. 8.2 es la huella de la energía, que representa el 88,12 % del total de cada proyecto, la siguiente es la huella de bosques producida por la madera empleada en cada proyecto, con un valor de 9,15 % con respecto al total, y con menor importancia los cultivos, mar y pastos que representan el 1,37, 0,70 y 0,52 % respectivamente, que son las huellas producidas por la alimentación de los operarios.

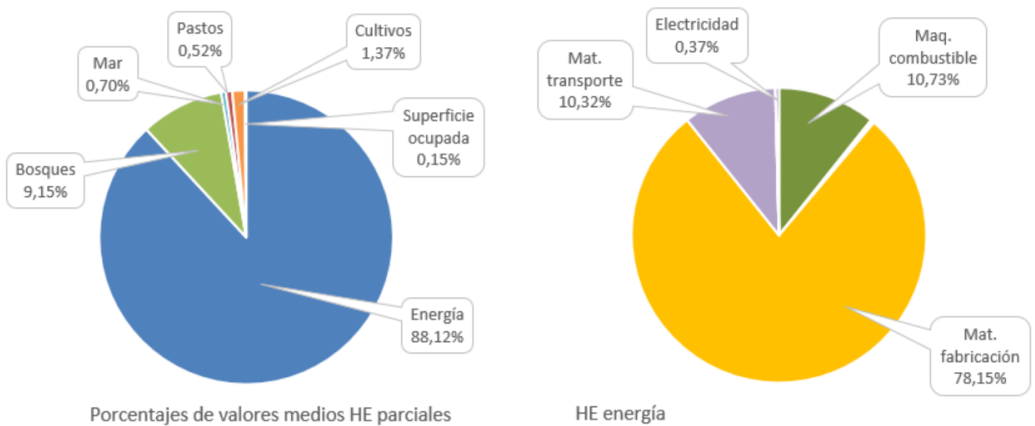


Figura 8.2: Huellas parciales según tipologías en función del número de plantas sobre rasante

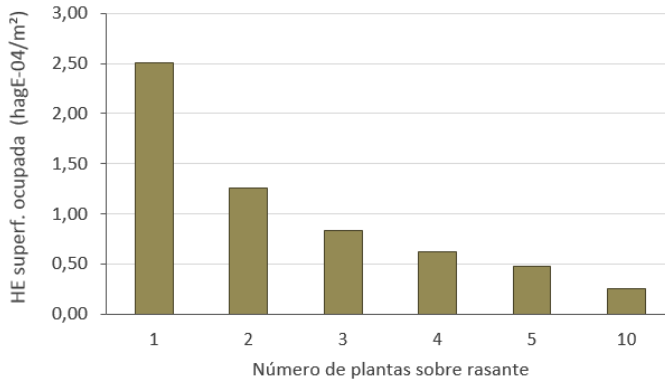


Figura 8.3: HE de la superficie consumida según tipologías en función del número de plantas sobre rasante

Al ser la energía la huella que genera la mayor parte del impacto generado por la construcción de los proyectos estudiados, se analiza de forma pormenorizada en la Fig. 8.2, donde se observa que de todos los impactos producidos, es la fabricación de los materiales la responsable del 78,15%. Por otro lado, los impactos producidos por la maquinaria de combustible empleada en obra y la del transporte de los materiales son parecidos y mucho menores que el primero cuantificándose en 10,73 y 10,32% respectivamente. En último lugar se representa la electricidad consumida en obra con un 0,37%. El resto de impactos producidos por los materiales (RCDs), mano de obra (energía de alimentos y RSU) y maquinaria, así como el consumo de agua en obra tienen valores mínimos y no se representan en la gráfica.

### **Huellas por recursos: materiales, mano de obra y maquinaria**

Los recursos de materiales, mano de obra y maquinaria producen diferentes impactos, en la Tabla 8.3 se presentan desglosados.

Tabla 8.3: HE, huellas parciales, impactos y valores de HE por vivienda y persona, de la construcción de edificios residenciales según el número de plantas sobre rasante

Huellas parciales	HE (hag/m <sup>2</sup> ) según número de plantas sobre rasante					
	1	2	3	4	5	10
Bosques	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Pastos	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Mar	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Cultivos	0,003	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Ocupación directa	2,51	1,26	8,37	6,36	5,02	2,50
Energía	E-04	E-04	E-05	E-05	E-05	E-05
Maq. combustible	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Maq. eléctrica	3,61E-04	1,92E-04	9,57E-05	1,02E-04	1,04E-04	1,13E-04
Mano de obra alim.	2,83E-04	2,21E-04	1,70E-04	1,73E-04	1,67E-04	1,68E-04
Mano de obra RSU	8,29E-05	6,47E-05	5,23E-05	5,23E-05	5,02E-05	4,96E-05
Mat. fabricación	0,14	0,10	0,09	0,09	0,08	0,08
Mat. transporte	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Mat. RCD	5,14E-05	3,07E-05	2,94E-05	2,61E-05	2,41E-05	2,15E-05
Agua	5,41E-06	5,51E-06	2,98E-06	4,20E-06	4,13E-06	1,86E-06
Electricidad	6,58E-04	5,50E-04	4,86E-04	4,86E-04	4,62E-04	4,36E-04
<b>Total HE (hag/m<sup>2</sup>)</b>	<b>0,203</b>	<b>0,147</b>	<b>0,130</b>	<b>0,123</b>	<b>0,119</b>	<b>0,112</b>
Superficie por viv.(m <sup>2</sup> )	181,0	143,0	72,0	70,0	72,0	72,0
Núm. habitac.	5	5	3	3	3	3
Pers. por viv.	6	6	4	4	4	4
<b>HE por viv. (hag)</b>	<b>36,82</b>	<b>21,01</b>	<b>9,38</b>	<b>8,62</b>	<b>8,54</b>	<b>8,03</b>
<b>HE por pers. (hag)</b>	<b>6,14</b>	<b>3,50</b>	<b>2,35</b>	<b>2,15</b>	<b>2,14</b>	<b>2,01</b>

El impacto de los materiales se produce en la fabricación, el transporte y la generación de RCDs, todos ellos generan huella de energía.

La fabricación de materiales es la que genera mayor impacto, siendo de 0,14 hag/m<sup>2</sup> en las viviendas de 1 planta y va bajando proporcionalmente según suben el número de plantas pasando de 0,10 a 0,08 hag/m<sup>2</sup>.

El transporte de los materiales también produce un alto impacto siendo 0,02 en viviendas de una planta sr y 0,01 hag/m<sup>2</sup> en el resto. El transporte de los RCDs sin embargo produce un impacto mucho menor de 5,14 E-05 en viviendas de 1 planta hasta 2,15 E-05 en las de 10 plantas sr, con una bajada proporcional.

La huella total de los materiales incluyendo todos los impactos (fabricación, transporte y RCDs) se reproduce en la Fig. 8.4, donde se observa un impacto superior en las viviendas de 1 planta sr, con un valor total de 0,17 hag/m<sup>2</sup>, seguido de las viviendas de 2 plantas sr con 0,13 hag/m<sup>2</sup>, los edificios de 3 y 4 plantas tienen 0,11 y los de 5 y 10 plantas sr 0,10 hag/m<sup>2</sup>.

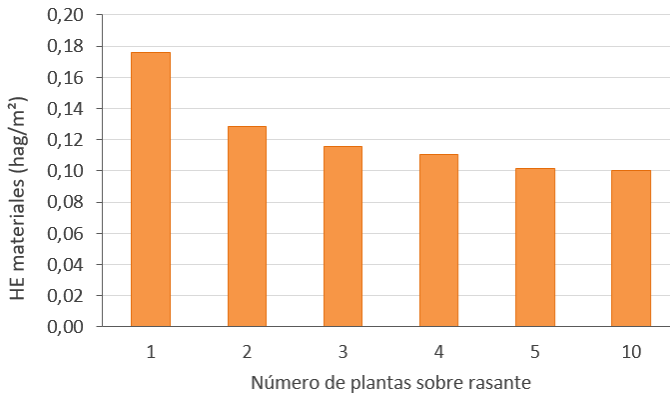


Figura 8.4: HE de los materiales según tipologías en función del número de plantas sobre rasante

La mano de obra produce dos tipos de impactos, la alimentación y los RSU, y la suma de estos valores se representa en la Fig.8.5 , donde se observa que la HE es bastante mayor en las viviendas de 1 planta sr, seguidos de las de 2 plantas, en las siguientes tipologías se estabiliza el valor, entre 3,80 y 3,50 hag/m<sup>2</sup>.

En la Tabla 8.3 se desglosa además los valores de huellas de cultivos , mar y pastos que son las correspondientes con los alimentos, siendo de 0.001 el valor de mar y pastos para todas las tipologías y un poco mayor la huella de cultivos siendo su valor 0.003 en viviendas de 1 planta, que contarán con mayor cantidad de mano de obra por unidad de superficie y 0.002 hag/m<sup>2</sup> en el resto de tipologías.

Los RSU tienen un impacto bastante menor que oscila entre 8,29 E-05 hasta 4,96E-05 entre viviendas de 1 planta y los edificios de 10 plantas sr, y va bajando de forma proporcional a partir de los edificios de 2 plantas sr.

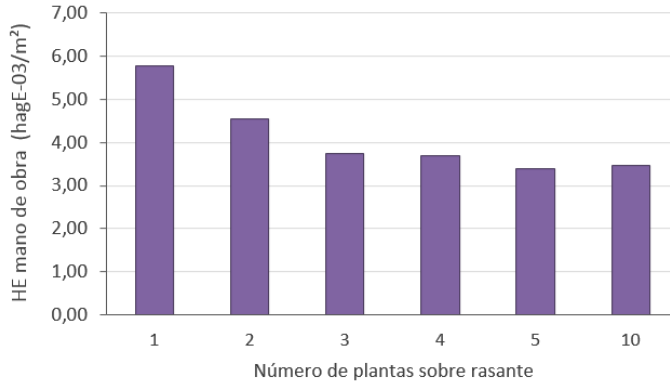


Figura 8.5: HE de la mano obra según tipologías en función del número de plantas sobre rasante

La maquinaria empleada en obra alimentada con combustible produce un gran impacto, como se representa en la Tabla 8.3, siendo de 0,02 hag/m<sup>2</sup> en las viviendas de 1 planta y de 0,02 en el resto. Sin embargo la maquinaria eléctrica tiene mucho menos impacto, con valores entre 3,61 E-04 y 1,02 E-04 hag/m<sup>2</sup>, variando de forma diferente en las distintas tipologías. Si sumamos ambos impactos se obtiene la huella de la maquinaria, que incluye además la contabilizada en los costes indirectos de cada obra. Se representa en la Fig.8.6, donde se observa que la HE de la maquinaria en las viviendas de 1 planta sr es mucho mayor que en el resto, y que a partir de los edificios de 2 plantas sr va bajando levemente su valor de forma proporcional.

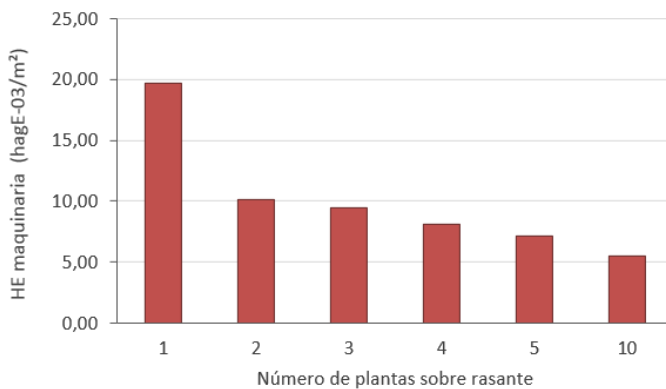


Figura 8.6: HE de la maquinaria según tipologías en función del número de plantas sobre rasante

Cuando los valores obtenidos no son proporcionales con el cambio de tipología según el número de plantas sr habría que realizar un estudio pormenorizado de cada proyecto, para así, determinar qué produce cada impacto y su correspondiente huella. En el análisis completo de los 97 proyectos no se presenta el estudio más detallado ya que esto se va a realizar en los siguientes apartados planteados para la validación del modelo HE.

## **Materiales**

Ya que el mayor impacto es producido por los materiales, en particular en el proceso de fabricación, se realiza un estudio pormenorizado de la huella de los mismos. Se seleccionan las familias de materiales que tienen mayor importancia tanto en consumo en kg, como por su impacto y se analiza el valor de cada una de ellas en ambos casos y según la clasificación del número de plantas sobre rasante. Las familias más importantes son: acero, áridos, cemento, cerámico, hormigón, madera, pintura y poliuretanos. En la Fig 8.7 se representan los porcentajes de materiales según su importancia en consumo (kg) sobre el total del proyecto, los materiales más importantes son en este orden: el hormigón, cerámico, áridos, acero, cemento y madera. En este caso la pintura y los poliuretanos tienen muy poca presencia y no se representan en la figura. La madera se representa en todos los casos por ser la responsable de la huella parcial de los bosques.

En todas las tipologías el hormigón supera en porcentaje al resto, variando entre un 68 % en las viviendas de 1 planta sr y un 61 % de los edificios de 10 plantas sr. Se observa un valor elevado en los edificios de 3 plantas sobre rasante, habría que analizar de forma más pormenorizada los capítulos de proyecto para determinar el porqué de este valor, puede ser motivado por que haya un mayor número de proyectos con cimentación mediante pilotes, los cuales consumen más hormigón que el resto, lo cual sería motivo de un análisis más exhaustivo para poder determinarlo con certeza. El material cerámico es el que a continuación tiene mayor consumo, con valores entre 14 y 19 % ya sean viviendas de 1 planta o edificios de 10 plantas sr respectivamente, no hay una secuencia en cuanto al uso del material cerámico, lo cual puede ser debido a las tipologías de cubiertas de tejas que tienen un mayor consumo de este material, con respecto al resto. Igualmente para determinarlo será necesario un análisis pormenorizado a nivel de capítulos de proyecto, lo cual se realizará en otros análisis propuestos. Los áridos tienen una alta presencia en todos los proyectos y de forma bastante homogénea sobre un 12-13 % en todos los casos. El acero y el cemento tienen mucha menos presencia con va-

lores entre 1 y 1,50 y entre 1,50 y 1,60% respectivamente. Y en último lugar la madera con un porcentaje en peso muy bajo en relación con el total y el resto de materiales, con valores entre 0,38 y 0,45% entre las tipologías de 1 a 10 plantas sr.

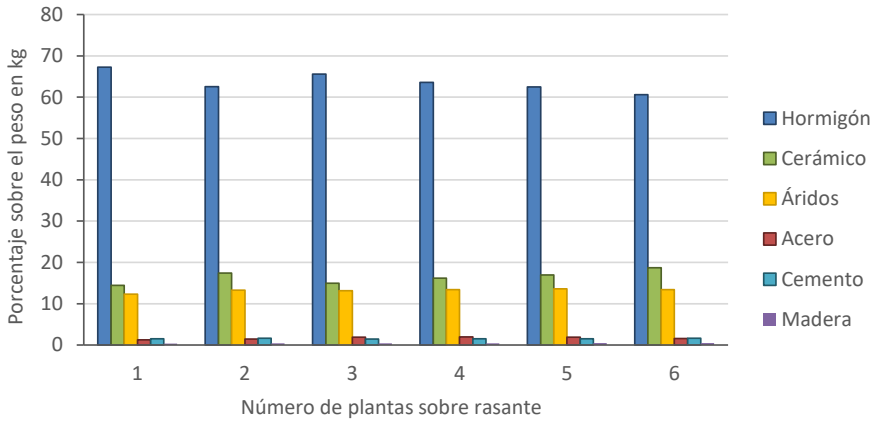


Figura 8.7: Porcentaje del consumo en kg de las principales familias de materiales según tipologías en función del número de plantas sobre rasante

A continuación para analizar el comportamiento de las mismas familias de materiales en función del impacto y la HE que producen, se adjunta la Fig. 8.8. En este caso sí aparecen en la gráfica las familias de las pinturas y el poliuretano y sin embargo desaparecen de la gráfica la familia de los áridos, siendo un material que tiene un consumo muy alto en todos los proyectos y sin embargo su impacto es prácticamente cero en todos los casos.

El hormigón es el material que produce mayor impacto en todos los casos, coincidiendo con los datos de consumo, su porcentaje con respecto a la HE de materiales de cada proyecto oscila entre 43 y 36% entre las viviendas de 1 y los edificios de 10 plantas sr. En segundo lugar produce mayor impacto, igualmente, el material cerámico, presente fundamentalmente en cerramientos, particiones y las tejas de cubiertas inclinadas, con valores no homogéneos entre 24 y 27%, como ya se explicó para los datos de consumo de material, habría que realizar un análisis a nivel de capítulos de proyecto y de recursos para determinar de dónde proviene el consumo y huella de cada material y determinar si se puede sustituir por otro material con menores emisiones de CO<sub>2</sub> o por otros materiales que apuesten por un proceso de fabricación más ecológico.

El tercer lugar en cuanto al impacto de materiales lo tiene el acero, hay que tener en cuenta que el acero en cuanto a peso en el proyecto tiene valores muy bajos (1-2%), lo cual nos indica, que es un material altamente contaminante y podrían buscarse otras alternativas para bajar el impacto que éste produce en la totalidad del proyecto, los porcentajes van desde el 17 a un 21% y no es proporcional al número de plantas, habría que estudiar cada tipología de forma pormenorizada.

A continuación, el cemento tiene un impacto intermedio, con valores entre 7 y 8% y finalmente la pintura y el poliuretano con valores entre 2,50 y 3,75 y 0,90 y 2,35% respectivamente. La madera tiene impacto negativo como ya se definió en el modelo teórico referente al indicador HE, con valores de -2,00 a -2,50% entre las tipologías de 1 a 10 plantas sr, variando los valores según el número de plantas de forma proporcional.

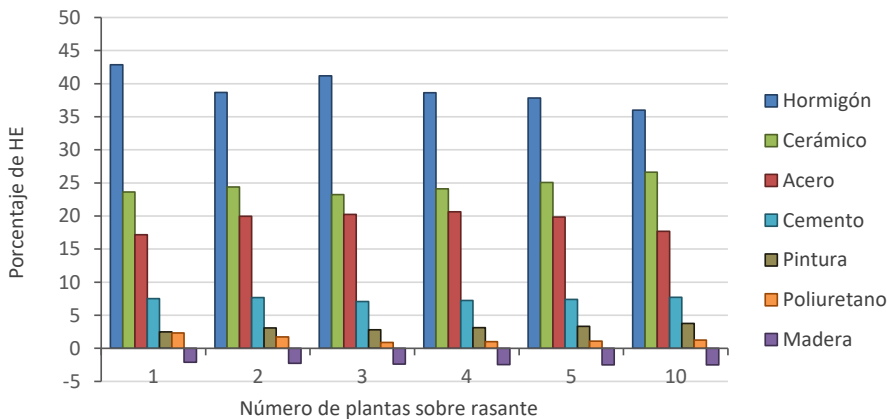


Figura 8.8: Porcentaje de la HE de materiales de las principales familias de materiales según tipologías en función del número de plantas sobre rasante

## HE por vivienda y persona, según tipologías

Como parte del análisis se representa la HE por vivienda y de las personas que las habitan, en función de las tipologías propuestas, y a partir de los datos planteados en el apartado de selección de tipologías 6.1.4 del capítulo de Aplicación a España del modelo HE, y los resultados de HE obtenidos para los 97 proyectos reflejados en la Tabla 8.3. Los cálculos para obtener el número de personas por vivienda se basan en el documento DB-HS3 del CTE [90], se determina el número de dormitorios por vivienda [26] y se definen para cada tipología.

En la misma Tabla 8.3 se representan los resultados, para las vivien-



das de 1 planta sr, se considera una superficie construida de 182 m<sup>2</sup>, y una HE de 36,82 hag, siendo el valor muy superior al resto de tipologías. Las viviendas de 2 plantas sr, con una superficie construida de 143 m<sup>2</sup>, producen una HE de 21,01 hag, lo cual también es bastante alto en comparación con el resto de tipologías, las cuales tienen una superficie construida entre 70 y 72 m<sup>2</sup>, y producen un impacto de 9,38, 8,62, 8,54 y 8,03 hag, según tengan 3, 4, 5 ó 10 plantas sr, respectivamente.

Los resultados por persona reflejados en la Tabla 8.3, siguen la misma tendencia que la HE por vivienda, es decir, las personas que habitan en viviendas de tipologías 1 y 2 que corresponden a viviendas unifamiliares tienen mayor HE que el resto, que habitan viviendas plurifamiliares.

### 8.1.2. Análisis según tipología edificatoria: Evaluación de la edificación en España de 2007 a 2010

El objetivo principal de este análisis es la evaluación de los edificios residenciales construidos entre 2007 y 2010 mediante el indicador HE. Se desagrega la información en materiales, mano de obra y maquinaria, y en las fases del proyecto. Así, se evalúa la HE por capítulos del proyecto y se identifican los elementos que controlan la huella en cada etapa constructiva, obteniéndose además las soluciones constructivas con mayor impacto. Finalmente, y partiendo de los resultados previos, se obtiene el cálculo total de HE en España y por persona de las viviendas evaluadas. Para aplicar el modelo HE a la construcción en España en el período 2007 a 2010, se parte de estudios estadísticos presentados en el apartado 6.1.2 del capítulo de Aplicación a España, que definen las tipologías de viviendas construidas en dicho período. El procedimiento de trabajo seguido para el presente análisis es:

- Identificación de las características de los edificios residenciales construidos en España en el período 2007-2010, realizado en el apdo. 6.1.2 del capítulo de Aplicación a España.
- Selección de las 10 tipologías edificatorias más representativas de ese período y búsqueda de proyectos reales, realizado en el apdo. 6.1.4 del capítulo de Aplicación a España.
- Se obtienen los recursos de las 10 tipologías a partir del BCRR.
- Aplicación del indicador HE.
- Análisis de los resultados.

## Análisis tipológico de la edificación residencial en España (2007-2010)

De las características recogidas en los estudios estadísticos presentados en el apartado 6.1.2, la más importante para el presente análisis es el número de plantas sobre y bajo rasante, ya que dicha característica define en gran medida las soluciones constructivas, siendo un factor determinante para la HE de cada edificio. Se identifica en la Tabla 8.4 un mayor porcentaje de edificios entre 4 y 5 plantas sobre rasante y los menos representativos son los de 0 ó 1 planta. Se recogen los porcentajes de los edificios de nueva planta de uso residencial según tipología constructiva, instalaciones y acabado interior, referentes a cada año desde 2007 a 2010, siendo todos los años los datos muy similares, por lo que se han representado los valores medios en la Tabla 8.5.

### Selección de tipologías representativas y proyectos reales

A partir de los datos analizados en la Tabla 8.5, y de acuerdo a los porcentajes que representa cada elemento sobre el total de cada parte en que se divide el edificio o vivienda, se obtiene la propuesta de las 10 viviendas tipo Tab.6.16 y Tab.6.17 presentadas en el apartado 6.1.4.

Tabla 8.4: Número de viviendas construidas en España según el número de plantas sobre rasante del edificio (2007-2010)

Nº de pl.: Sobre rasante	Año							
	2007		2008		2009		2010	
	Total	%	Total	%	Total	%	Total	%
<b>0 y 1</b>	23.572	4	14.042	5	7.759	6	7.479	8
<b>2</b>	151.902	24	63.913	24	27.668	21	24.101	26
<b>3</b>	144.723	23	52.694	20	25.014	19	13.631	15
<b>4 y 5</b>	210.065	33	86.744	32	38.515	30	25.661	28
<b>6 ó más</b>	103.836	16	51.042	19	31.590	24	20.773	23
<b>TOTAL</b>	<b>634.098</b>	<b>100</b>	<b>268.435</b>	<b>100</b>	<b>130.546</b>	<b>100</b>	<b>91.645</b>	<b>100</b>
Bajo rasante	2007		2008		2009		2010	
	Total	%	Total	%	Total	%	Total	%
<b>0</b>	141.777	22	66.840	22	30.507	23	25.216	28
<b>1</b>	328.920	52	121.018	52	59.321	45	37.288	41
<b>2 ó más</b>	163.401	26	80.577	26	29.141	31	29.141	32
<b>TOTAL</b>	<b>634.098</b>	<b>100</b>	<b>268.435</b>	<b>100</b>	<b>118.969</b>	<b>100</b>	<b>91.645</b>	<b>100</b>

Tabla 8.5: Porcentajes de edificios de nueva planta de uso residencial según características constructivas.

Características constructivas de edificios residenciales (%)							
Estructura vertical				Estructura horizontal		Cubierta	
Horm. arm.	Met.	Muros carga	Mixta y otros	Unid.	Losa	Plana	Inclin.
73	6	15	6	84	16	33	67
Cerramiento exterior				Carpintería exterior			
Cerám.	Pétreos	Revest. cont.	Otros	Mad.	Alum.	Plást.	Acero y otros
50	12	34	4	8	84	7	1
Instalaciones							
Evac. aguas resid.	Sum. agua pot.	Agua caliente	Calef.	Refrig.	Ascens. y/o montac.	Trat. aguas resid.	Trat. otros resid.
100	100	96	65	18	68	7	2
Acabado Interior							
Cerám.	Solería		Otros	Carpintería Interior		Falso techo	Con pers.
	Pétreo	Mad.		Mad.	Otros		
53	15	29	3	98	2	76	93

Hay características que son comunes en todas las tipologías, como:

- La carpintería exterior es de aluminio y tienen persianas.
- La carpintería interior es de madera.
- Las instalaciones de evacuación de aguas residuales, suministro de agua potable y agua caliente sanitaria se colocan en todas las viviendas, sin embargo ninguna tiene un sistema de tratamiento de residuos.
- La energía más utilizada es la electricidad.

Las demás características varían en función de cada tipología y se definen en las Tablas Tab.6.16 y Tab.6.17. Algunos de los datos porcentuales para definir las 10 tipologías (16) son: las plurifamiliares (2 o más viviendas) representan el 75 % y las unifamiliares el 25 % (10 % aisladas, 13 % adosadas y 2 % pareadas). Según el número de plantas sobre rasante, el 6 % son de una planta, 24 % son de dos, repartido entre unifamiliares y plurifamiliares. De tres o más plantas son todas plurifamiliares: 18 % de tres, 31 % de cuatro y cinco y 21 % de 6 o más. Según el número de plantas bajo rasante y plurifamiliares tienen una 45 %, y dos 30 %. Las

unifamiliares, que son el restante 25 %, no disponen de sótano. Se realiza una búsqueda de 10 proyectos reales que se correspondan con las tipologías de viviendas más construidas en España en los años 2007 a 2010, mostradas en las Tablas Tab.6.16 y Tab.6.17.

A partir de los datos de las 10 tipologías seleccionadas se aplica la metodología propuesta para el modelo HE y se evalúan desde el punto de vista económico y ambiental.

## **Resultados**

Según los proyectos seleccionados se presenta a continuación su evaluación económica y ambiental a partir del modelo HE, los resultados se plantean en los siguientes apartados:

- Consumos: recursos empleados
- Huellas parciales, HE total y por persona
- HE por capítulos del proyecto
- HE en España: total y por persona

### **Consumos: recursos empleados**

Los recursos totales empleados, por unidad de superficie y proyecto se representan en las tablas: Tab.8.6 y Tab.8.7, permiten obtener los resultados de HE por vivienda (parciales y total) de las diez tipologías representativas, por unidad de superficie.

Tabla 8.6: Consumos de recursos y datos generales de obra de las tipologías 1 a 5

	Consumos u/m <sup>2</sup>	Clasificación por tipología				
		1 c85	2 c02	3 c117*	4 c46	5 c38
<b>Materiales</b>						
<b>Peso (kg)</b>	Acero	36,4	31,8	29,8	29,3	29,3
	Áridos	375,8	253,9	299,5	259,3	284,5
	Cerámico	439,7	396,5	321,3	275,5	282,8
	Hormigón	2.205,9	1.379,6	1.286,8	1.313,4	1.313,4
	Madera	12,7	8,9	9,2	9,8	9,8
	Otros	131,9	497,4	413,0	351,7	369,3
	<b>Total</b>	<b>3.189,60</b>	<b>2.171,60</b>	<b>2.038,24</b>	<b>1.963,49</b>	<b>2.006,35</b>
<b>Emisiones kgCO2</b>	Acero	92,95	96,77	59,14	61,65	61,65
	Áridos	11,78	1947,98	0,60	0,52	0,57
	Cerámico	145,34	116,09	82,63	80,87	74,82
	Hormigón	256,19	168,60	143,91	146,65	146,65
	Madera	-12,91	-9,14	-13,56	-9,99	-9,99
	Otros	82,68	-1.869,85	233,85	103,68	67,67
	<b>Total</b>	<b>576,03</b>	<b>450,44</b>	<b>506,58</b>	<b>383,36</b>	<b>341,36</b>
<b>RCDs (t)</b>	Acero	0,0003	0,0002	0,0003	0,0003	0,0003
	Áridos	0,0038	0,0025	0,0030	0,0026	0,0028
	Cerámico	0,0274	0,0242	0,0190	0,0167	0,0167
	Hormigón	0,1523	0,0842	0,0790	0,0831	0,0831
	Madera	0,0005	0,0003	0,0004	0,0004	0,0004
	Otros	0,0079	0,0065	0,0055	0,0047	0,0051
	<b>Total</b>	<b>0,192</b>	<b>0,118</b>	<b>0,107</b>	<b>0,108</b>	<b>0,108</b>
<b>Mano de obra</b>						
Directa	(h)	15,92	13,58	9,70	9,17	9,15
Indirecta	(h)	2,16	1,97	1,35	1,57	1,57
<b>Total</b>	<b>(h)</b>	<b>18,08</b>	<b>15,56</b>	<b>11,05</b>	<b>10,75</b>	<b>10,73</b>
<b>RSU</b>						
MOD	(t)	1,22E-03	4,82E-03	7,46E-04	7,05E-04	7,04E-04
MOI	(t)	6,16E-08	1,82E-07	1,81E-08	2,73E-08	2,73E-08
<b>Total</b>	<b>(t)</b>	<b>1,22E-03</b>	<b>4,82E-03</b>	<b>7,46E-04</b>	<b>7,05E-04</b>	<b>7,04E-04</b>
<b>Maquinaria</b>						
Combustible	(h)	1,29	0,004	0,33	0,56	0,25
Eléctrica	(h)	0,36	0,26	0,22	0,18	0,18
<b>Electricidad</b>	<b>(kWh)</b>	<b>10,84</b>	<b>9,66</b>	<b>7,59</b>	<b>7,58</b>	<b>7,57</b>
<b>Agua</b>	<b>(m3)</b>	<b>0,29</b>	<b>0,24</b>	<b>0,24</b>	<b>0,13</b>	<b>0,13</b>
<b>Superficie</b>	<b>(ha)</b>	<b>0,27</b>	<b>0,19</b>	<b>0,29</b>	<b>0,15</b>	<b>0,15</b>

Tabla 8.7: Consumos de recursos y datos generales de obra de las tipologías 6 a 10

	Consumos u/m <sup>2</sup>	Clasificación por tipología				
		6 c135*	7 c43	8 c148*	9 c42	10 c122*
<b>Materiales</b>						
<b>Peso (kg)</b>	Acero	59,3	23,9	52,7	21,4	47,4
	Áridos	258,2	259,1	263,7	241,1	264,9
	Cerámico	248,0	299,5	266,4	316,3	274,8
	Hormigón	1.129,5	1.109,5	1.072,3	1.125,5	1.029,2
	Madera	7,0	8,7	7,1	8,2	7,2
	Otros	327,6	388,7	345,0	409,6	353,6
	<b>Total</b>	<b>1.781,78</b>	<b>1.789,94</b>	<b>1.740,76</b>	<b>1.805,86</b>	<b>1.702,27</b>
<b>Emisiones kgCO2</b>	Acero	96,17	53,87	89,72	50,13	82,05
	Áridos	0,52	0,52	0,53	0,48	0,53
	Cerámico	66,34	78,67	75,45	82,59	76,35
	Hormigón	125,84	123,49	119,38	124,58	114,22
	Madera	-7,26	-8,99	-7,34	-8,49	-7,40
	Otros	60,32	67,92	60,98	72,07	62,53
	<b>Total</b>	<b>341,92</b>	<b>315,48</b>	<b>338,71</b>	<b>321,36</b>	<b>328,27</b>
<b>RCDs (t)</b>	Acero	0,0006	0,0002	0,0005	0,0002	0,0004
	Áridos	0,0026	0,0026	0,003	0,0024	0,0026
	Cerámico	0,0146	0,0177	0,0160	0,0187	0,0164
	Hormigón	0,0669	0,0708	0,0635	0,0710	0,0609
	Madera	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003
	Otros	0,0048	0,0052	0,0048	0,0054	0,0048
	<b>Total</b>	<b>0,090</b>	<b>0,097</b>	<b>0,088</b>	<b>0,098</b>	<b>0,085</b>
<b>Mano de obra (h)</b>	Directa (h)	8,88	8,87	9,09	9,04	8,93
	Indirecta (h)	1,29	1,64	1,42	1,41	1,30
	<b>Total (h)</b>	<b>10,17</b>	<b>10,51</b>	<b>10,51</b>	<b>10,44</b>	<b>10,23</b>
<b>RSU</b>	MOD (t)	6,83E-04	6,82E-04	6,99E-04	6,95E-04	6,87E-04
	MOI (t)	1,49E-08	1,89E-08	1,40E-08	8,85E-09	7,49E-09
	<b>Total (t)</b>	<b>6,83E-04</b>	<b>6,82E-04</b>	<b>6,99E-04</b>	<b>6,95E-04</b>	<b>6,87E-04</b>
<b>Maquinaria</b>	Combustible (h)	<b>0,32</b>	<b>0,20</b>	<b>0,46</b>	<b>0,15</b>	<b>0,41</b>
	Eléctrica (h)	<b>0,16</b>	<b>0,17</b>	<b>0,16</b>	<b>0,18</b>	<b>0,16</b>
<b>Electricidad (kWh)</b>		<b>7,26</b>	<b>7,25</b>	<b>7,24</b>	<b>6,97</b>	<b>6,89</b>
<b>Agua (m3)</b>		<b>0,15</b>	<b>0,15</b>	<b>0,15</b>	<b>0,07</b>	<b>0,07</b>
<b>Superficie (ha)</b>		<b>0,17</b>	<b>0,13</b>	<b>0,16</b>	<b>0,12</b>	<b>0,13</b>

### Huellas parciales, HE total y por persona

A continuación se evalúa la HE parcial y total de las 10 tipologías propuestas, y a partir de los recursos de cada proyecto, se analizan cuáles son las fuentes de impacto que producen dichas huellas y su repercusión por unidad de superficie y persona, incluyendo los resultados en las siguientes tablas: Tab. 8.8 y Tab. 8.9. Los valores de la superficie construida,

incluidos en las tablas, resultan de incrementar un 20 % la superficie útil obtenida de los informes estadísticos analizados.

Tabla 8.8: HE parciales, total y HE por persona.

HE parcial (hag E-03/m <sup>2</sup> )	Clasificación por tipologías									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Energía	199,83	145,81	105,88	113,64	105,89	106,33	96,20	108,76	96,51	104,30
Bosques	18,11	12,79	13,93	13,93	13,93	10,16	12,55	10,29	11,91	10,39
Pastos	0,92	0,78	0,52	0,54	0,53	0,50	0,52	0,52	0,51	0,51
Mar	1,46	1,24	0,90	0,87	0,85	0,80	0,84	0,83	0,82	0,81
Cultivos	3,23	2,81	1,97	1,94	1,95	1,81	1,93	1,88	1,90	1,83
Superficie consumida	0,251	0,125	0,126	0,084	0,84	0,063	0,050	0,050	0,025	0,025
<b>HE Total (hag/m<sup>2</sup>)</b>	<b>0,224</b>	<b>0,164</b>	<b>0,123</b>	<b>0,131</b>	<b>0,123</b>	<b>0,120</b>	<b>0,112</b>	<b>0,122</b>	<b>0,112</b>	<b>0,118</b>
Superf. constr. por viv. (m <sup>2</sup> )	217,2	171,6	86,4	86,4	86,4	86,4	86,4	86,4	86,4	86,4
Número dormitorios	5	5	3	3	3	3	3	3	3	3
Número personas s/CTE	6	6	4	4	4	4	4	4	4	4
Número personas por m <sup>2</sup>	0,03	0,03	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
HE por persona (hag)	7,46	5,45	2,46	2,62	2,46	2,39	2,24	2,45	2,23	0,00



La HE total es prácticamente constante a partir de 3 plantas (tipologías 4 a 10), y menor que en las viviendas unifamiliares (tipologías 1 y 2), como se observa en los resultados recogidos en la Tabla 8.8. Se cuantifican las huellas parciales producidas por los impactos de la construcción de las 10 tipologías, y se representan calculando los valores medios en la Fig.8.9. De todas las huellas es la energética la que produce mayor impacto en todas las tipologías, ya que engloba a su vez, la fabricación y transporte de materiales, el transporte de residuos, la energía en el procesado de alimentos, los RSU, la maquinaria y la energía necesaria para que el agua llegue al punto de consumo. A continuación le sigue la huella de bosques, aunque con un valor mucho menor. Las huellas producidas por los alimentos, es decir, pastos, mar y cultivos tienen mucha menos repercusión y por último con valor mínimo la superficie consumida.

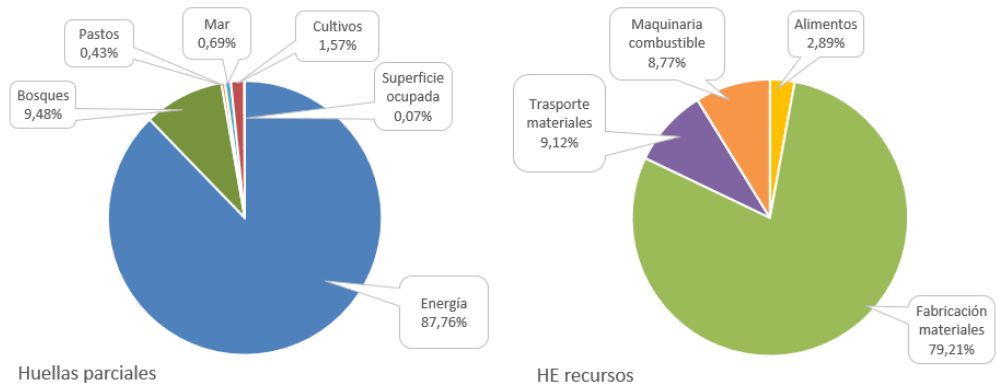


Figura 8.9: Porcentaje de huellas parciales y HE de los recursos en función de los impactos, valores medios de las 10 tipologías

Una vez cuantificadas las huellas parciales para todas las tipologías, cabe destacar que es la tipología 1 la que produce un impacto muy superior al resto, seguida de la tipología 2, ambas corresponden a viviendas unifamiliares. Desde la tipología 3 hasta la 10, los valores son menores y más homogéneos, representando estas tipologías a edificios plurifamiliares.

Por otro lado, se desglosa la HE de cada uno de los recursos de materiales, mano de obra y maquinaria de obtenidos a partir de la medición de los proyectos, lo cual se incluye en la Tabla 8.9. Cada uno de los recursos se descompone según las fuentes de impacto, para los materiales: fabricación, transporte y RCDs, la mano de obra: alimentos y RSU y la maquinaria: de combustible o eléctrica. Los resultados se expresan por unidad de superficie y se incluye además, el porcentaje que representa cada recurso en el total de HE de cada proyecto. Finalmente se agrupan

calculando los valores medios de las 10 tipologías para representar en la Fig. 8.9, de forma general, los impactos de mayor importancia en la HE total de los proyectos. La mayor huella la producen los materiales, (88%), siendo un 79% del impacto producido por la fabricación de los mismos y un 9,05% por el transporte a la obra. La maquinaria alimentada con combustible también es relevante representando casi el 9% del total. La huella de pastos, mar y cultivos agrupada en huella de alimentos también es apreciable con casi un 3% del impacto del proyecto. La maquinaria eléctrica y los RSU, tienen valores mínimos dentro de la HE total de los recursos, lo cual se expresa también en la Tabla 8.9.

Además se puede realizar un análisis más detallado de los recursos empleados y los impactos producidos de cada tipología, según los datos presentados en la Tabla 8.9:

- Los materiales se desglosan en fabricación, responsable de la mayor parte del impacto, en transporte, que también tiene una repercusión considerable y con mucha menos presencia los RCDs.
- La HE provocada por la mano de obra se divide en los RSU, y la alimentación (pastos, mar productivo, cultivos y energía), los alimentos suponen casi todo el impacto de la mano de obra, ya que los residuos tienen un valor mínimo.
- La HE producida por la maquinaria de motor de combustión es bastante alta, a pesar de que su uso se limita a las primeras fases de la obra (movimiento de tierras y cimentación) y a la gestión de residuos, mientras que en el resto de la obra la maquinaria empleada consume principalmente energía eléctrica.

Como sucede en la HE total y parcial, en los recursos la tipología con mayor impacto es la 1, seguida de la 2 (viviendas unifamiliares), y a continuación con valores similares el resto de tipologías (plurifamiliares).



Tabla 8.9: Desglose de HE de los recursos de proyecto: mano de obra, materiales y maquinaria, según tipologías de edificios en función del número de plantas sobre rasante

Impacto de materiales (hag/m <sup>2</sup> )	Huella Ecológica de los materiales en la edificación (hag/m <sup>2</sup> )									
	Clasificación por tipología									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Fabricación	1,64E-01	1,27E-01	1,00E-01	1,00E-01	1,00E-01	9,66E-02	9,23E-02	9,59E-02	9,31E-02	9,33E-02
Transporte	1,99E-02	1,28E-02	1,23E-02	1,21E-02	1,24E-02	1,09E-02	1,05E-02	1,05E-02	1,05E-02	9,99E-03
RCDs	6,42E-05	2,54E-05	2,67E-05	3,19E-05	2,75E-05	2,23E-05	2,31E-05	2,37E-05	2,29E-05	2,24E-05
HE mat.(2)	<b>0,184</b>	<b>0,139</b>	<b>0,113</b>	<b>0,112</b>	<b>0,113</b>	<b>0,107</b>	<b>0,103</b>	<b>0,106</b>	<b>0,104</b>	<b>0,103</b>
Percent./HE total	<b>82 %</b>	<b>85 %</b>	<b>91 %</b>	<b>86 %</b>	<b>91 %</b>	<b>90 %</b>	<b>92 %</b>	<b>87 %</b>	<b>93 %</b>	<b>88 %</b>

Impacto de la mano de obra (hag/m <sup>2</sup> )	Huella Ecológica de la mano de obra (MO) en la edificación (hag/m <sup>2</sup> )									
	Clasificación por tipología									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Alimentos	5,96E-03	5,14E-03	3,46E-03	3,57E-03	3,55E-03	3,31E-03	3,50E-03	3,45E-03	3,45E-03	3,35E-03
RSU	8,57E-05	7,37E-05	5,01E-05	5,10E-05	5,08E-05	4,82E-05	4,98E-05	4,98E-05	4,95E-05	4,85E-05
HE MO (1)	<b>0,006</b>	<b>0,005</b>	<b>0,004</b>	<b>0,004</b>	<b>0,004</b>	<b>0,003</b>	<b>0,004</b>	<b>0,004</b>	<b>0,003</b>	<b>0,003</b>
Percent./HE total	<b>2,70 %</b>	<b>3,19 %</b>	<b>2,85 %</b>	<b>2,76 %</b>	<b>2,92 %</b>	<b>2,81 %</b>	<b>3,17 %</b>	<b>2,86 %</b>	<b>3,13 %</b>	<b>2,88 %</b>

Impacto de maquinaria (hag/m <sup>2</sup> )	Huella Ecológica de la maquinaria en la edificación (hag/m <sup>2</sup> )									
	Clasificación por tipología									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Combustible	3,29E-02	1,79E-02	6,39E-03	1,43E-02	6,39E-03	8,23E-03	5,08E-03	1,18E-02	4,00E-03	1,06E-02
Eléctrica	3,16E-04	2,04E-04	9,61E-05	9,61E-05	9,61E-05	8,42E-05	1,03E-04	8,96E-05	1,12E-04	9,37E-05
HE maq.(3)	<b>0,033</b>	<b>0,018</b>	<b>0,006</b>	<b>0,014</b>	<b>0,006</b>	<b>0,008</b>	<b>0,005</b>	<b>0,012</b>	<b>0,004</b>	<b>0,011</b>
Percent./HE total	<b>14,70 %</b>	<b>10,96 %</b>	<b>5,19 %</b>	<b>10,94 %</b>	<b>5,19 %</b>	<b>6,88 %</b>	<b>4,53 %</b>	<b>9,68 %</b>	<b>3,58 %</b>	<b>8,95 %</b>

HE (1+2+3)	<b>99,44 %</b>	<b>99,42 %</b>	<b>99,44 %</b>	<b>99,50 %</b>	<b>99,47 %</b>	<b>99,49 %</b>	<b>99,45 %</b>	<b>99,51 %</b>	<b>99,48 %</b>	<b>99,53 %</b>
Resto HE	<b>0,56 %</b>	<b>0,58 %</b>	<b>0,56 %</b>	<b>0,50 %</b>	<b>0,53 %</b>	<b>0,51 %</b>	<b>0,55 %</b>	<b>0,49 %</b>	<b>0,52 %</b>	<b>0,47 %</b>

Como parte del análisis se representa la HE de las personas que habitan cada vivienda Tab. 8.8. Los cálculos se basan en el documento DB-HS3 del CTE [90] según el número de dormitorios por vivienda, definidos para cada tipología, en el apdo. 6.1.4 del capítulo de Aplicación a España.

Los resultados, igual que en el análisis de sensibilidad del modelo, siguen la misma tendencia que la HE por vivienda, es decir, las personas que habitan en viviendas de tipologías 1 y 2 que corresponden a viviendas unifamiliares tienen mayor HE que el resto, que habitan viviendas plurifamiliares.

### **HE en España: total y por persona**

Al aplicar los datos obtenidos de HE de cada una de las tipologías a las Estadísticas de Fomento sobre el número de viviendas construidas 8.4 , y con los porcentajes de cada una de ellas en la Tabla 8.5 obtenemos la HE total construida por año y la HE por persona en el período 2007-2010 8.16, ambas definida en el apartado ?? del capítulo de Validación del modelo. Las columnas de porcentajes corresponden a las viviendas construidas de cada tipología para cada año.

La HE de la edificación de tipo residencial en España por persona es muy similar cada año, sin embargo en el año 2010 8.16 es mayor que en los anteriores, debido a que existe un mayor porcentaje de viviendas construidas de tipo unifamiliar.

Para establecer una comparativa con la HE a nivel país, se realizan las siguientes consideraciones:

- Se calcula el valor medio de los valores de HE total por persona (3,16 hag/persona).
- Se define una vida útil estimada para los edificios estudiados (50 años), lo que nos da una HE de 0,067 hag/persona/año.
- Comparamos este resultado con los datos de HE y biocapacidad disponibles para España (30) (4,74 y 1,46 hag/persona/año respectivamente), obteniendo que un habitante consume anualmente el 1,41 % de su HE y el 4,59 % de su biocapacidad disponible en la construcción de esas viviendas.

Tabla 8.10: HE total y por persona de las viviendas construidas en España en el período 2007-2010.

Tip.	HE (3) de viviendas construidas (hag) y porcent. por tipología y año							
	%	2007	%	2008	%	2009	%	2010
<b>1</b>	3,7	1.145.807	5,23	682.565	5,94	377.156	8,16	363.545
<b>2</b>	12	2.131.523	11,9	896.841	10,6	388.244	13,15	338.191
<b>3</b>	12	827.925	11,9	348.351	10,6	150.801	13,15	131.360
<b>4</b>	11,4	819.072	9,82	298.226	9,58	141.569	7,44	77.146
<b>5</b>	11,4	770.458	9,82	280.526	9,58	133.166	7,44	72.567
<b>6</b>	11	703.802	10,77	290.627	9,83	129.041	9,33	85.975
<b>7</b>	11	678.077	10,77	280.004	9,83	124.324	9,33	82.832
<b>8</b>	11	740.101	10,77	305.617	9,83	135.696	9,33	90.409
<b>9</b>	8,2	500.918	9,51	246.233	12,1	152.394	11,33	100.212
<b>10</b>	8,2	528.648	9,51	259.864	12,1	160.830	11,33	105.759
<b>HE por año</b>	100	<b>8.846.331</b>	100	<b>3.888.854</b>	100,0	<b>1.893.221</b>	99,99	<b>1.447.995</b>
<b>HE por pers. y año</b>		<b>3,05</b>		<b>3,13</b>		<b>3,14</b>		<b>3,31</b>

### HE por capítulos del proyecto

Para poder realizar el análisis de las características constructivas y los sistemas empleados, se amplía el modelo desglosando los recursos según los capítulos de la clasificación sistemática de la BCCA [33]. Seleccionadas tres tipologías (3, 7 y 9) definidas en las Tablas 6.16 y 6.17, del apartado 6.1.4, se realiza la comparativa en la Fig. (8.10), según el número de plantas, que en este caso corresponden a edificios de viviendas de 2, 5 y 10 plantas sobre rasante y una planta bajo rasante, respectivamente. Las tres tipologías se ejecutan mediante cimentación por zapatas aisladas, estructura de hormigón armado y cubierta plana transitable, por tanto, los cambios en recursos e impactos vienen determinados por la tipología según el número de plantas sobre rasante.

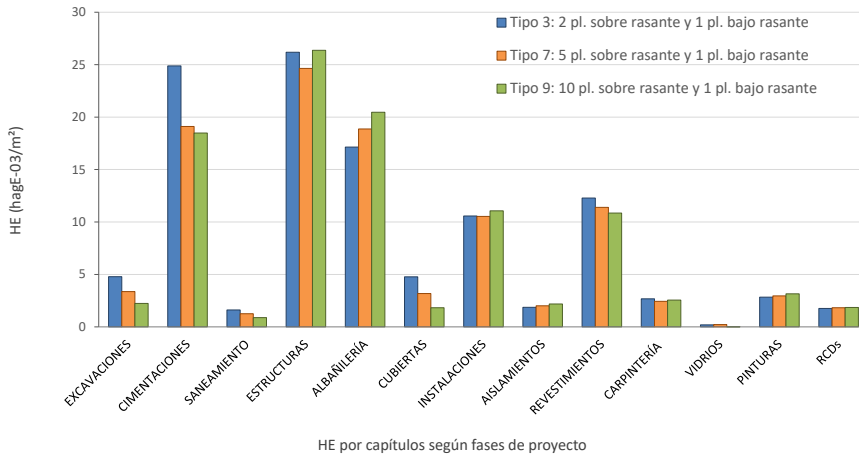


Figura 8.10: HE por capítulos según fases de proyecto.

Según se observa en la Fig. 8.10, los capítulos que determinan la HE de cada proyecto son estructuras, albañilería, cimentaciones, instalaciones y revestimientos, ya que los restantes tienen menor impacto. Se analizan los capítulos en función de la importancia en la huella de cada recurso, para poder cuantificar correctamente cada fase de obra, lo cual se representa en la Fig.8.12 a partir de los valores medios de los proyectos analizados. Así, en capítulos como las estructuras, el mayor impacto lo producen los materiales, y así sucede en la mayor parte de las fases de obra, debido a la alta repercusión de este recurso. Sin embargo en los capítulos de excavaciones y gestión de residuos, es la maquinaria la que produce una huella mayor, siendo un 98 % del total de la HE del capítulo. En el caso de los aislamientos, la maquinaria es el 50 % de la HE, un 45 % corresponde al impacto de los materiales y el 5 % restante la mano de obra. Esto se debe, en el caso de excavaciones y RCDs a la maquinaria de combustible como la cala cargadora y el camión basculante y en el caso de los aislamientos, al compresor eléctrico utilizado para proyectar el poliuretano, que se emplea en todas las tipologías, como aislamiento colocado en la cámara de aire del cerramiento. En el resto de capítulos el impacto de los materiales oscila entre un 88 y 98 % sobre el total. Sin embargo hay capítulos donde no hay consumo de materiales o su presencia es mínima, es el caso del capítulo de excavaciones y el de gestión de residuos donde en el primer caso es nulo y en el segundo hay menos de un 1 %, correspondiente al transporte de los residuos a la planta gestora.

En los capítulos de excavaciones, cimentación, estructuras, cubiertas, revestimientos y carpintería, el impacto disminuye con el número de plantas, es decir, que la huella es mayor en las viviendas unifamiliares de

una planta sobre rasante que en el resto, debido a su alta repercusión por unidad de superficie ( $m^2$ ). Por el contrario en los capítulos de albañilería, instalaciones, aislamientos, pinturas y RCDs el impacto disminuye al aumentar el número de plantas sobre rasante de las diferentes tipologías, y por tanto la repercusión por  $m^2$  es menor.

A continuación, se analizan con más detalle los cinco capítulos que se han mencionado como los de mayor importancia, ya que conforman el 83 % de la HE total del proyecto:

- Para el caso de la cimentación, que representa el 20 % del total de HE de los capítulos del proyecto, los materiales suponen el 99 % sobre el total de los recursos (materiales, mano de obra y maquinaria) del mismo capítulo, siendo el tipo 3 (2 plantas) el que tiene mayor HE, y el impacto mayor lo producen el hormigón y el acero de las armaduras.
- En el caso del capítulo de estructuras, supone un 25 % sobre el total de HE del proyecto, y los materiales suponen un 97 % del total de los recursos del capítulo. El proyecto de mayor huella es el tipo 9 (10 plantas), pero muy igualado con el tipo 3 y los materiales que producen mayor impacto son el acero de las armaduras, el cemento en sacos, el hormigón armado y las viguetas que forman el forjado ya sean autoresistentes o semiresistentes pretensadas, en ese orden.
- Para el capítulo de albañilería, que representa el 18 % sobre el total de los proyectos, los materiales representan el 95 % y la mano de obra un 5 %. En esta fase el proyecto de mayor HE es el tipo 9 (10 plantas), y el impacto de los materiales es debido sobre todo a la cerámica de los ladrillos.
- En el caso del capítulo de revestimientos, que supone el 11 % del impacto total de los proyectos, los materiales generan el 90 % de dicho impacto, frente al 5 % de la mano de obra. El proyecto tipo 3 (2 plantas) es el que produce mayor huella y los materiales con mayor impacto son el hormigón en masa de las soleras, la cerámica de los azulejos y solería, y por último el mortero de perlita del guarnecido y enlucido.
- Por último, las instalaciones representan el 10 % de la HE del proyecto, los materiales producen el 94 % del impacto de esta fase y un 6 % la mano de obra. Siendo el proyecto tipo 9 el que tiene mayor repercusión y estando muy igualado en las otros dos tipologías (2 y 5 plantas). Los principales materiales responsables de



prácticamente toda la huella del capítulo son, en primer lugar, el acero procedente de aparatos de climatización, seguido del cobre y el PVC de los circuitos eléctricos y en último lugar la porcelana de los aparatos sanitarios.

La maquinaria empleada en las distintas fases de obras que no se contabiliza en los recursos, por no estar incluida en los descompuestos de los PUS de la BCCA, se contabiliza como parte de los costes indirectos, en maquinaria auxiliar.

### Viabilidad económica y ambiental

Se realiza la comparativa entre el impacto económico y ambiental, de todo el proyecto, para ello se utilizan los resultados de la tipología 9 (10 plantas sr y 1 planta br), y se desglosa según los capítulos de proyectos basados en la clasificación sistemática del BCCA.

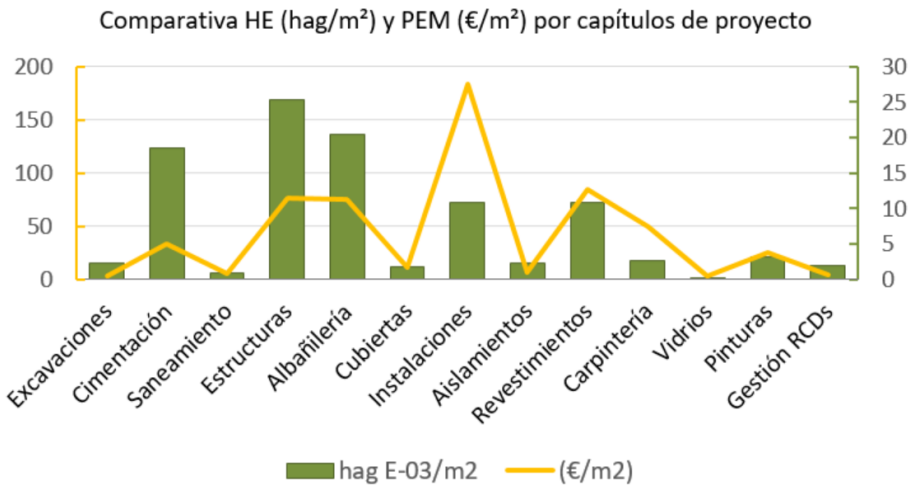


Figura 8.11: Comparativa de la viabilidad económica, PEM (€/m<sup>2</sup>) y ambiental, HE(hag/m<sup>2</sup>) expresado por capítulos del proyecto de la tipología 9

En la Fig. 8.11 se observa que no hay coincidencia entre los capítulos de mayor huella y los de mayor PEM, siendo el capítulo de mayor importe del proyecto el correspondiente a las instalaciones, seguido de los revestimientos y en tercer lugar por las estructuras y albañilería. Sin embargo, las fases con mayor impacto son estructuras, albañilería y cimentaciones. Para mejorar la viabilidad económica y ambiental se propone un análisis pormenorizado de los capítulos más relevantes, o que nos interesen por

algún sistema constructivo empleado que se quiera analizar desde ambos puntos de vista, y se proponen distintas alternativas de materiales.

Para comprobar la validez del modelo en la toma de decisiones en cuanto a soluciones constructivas, materiales, tipo de maquinaria, etc. se propone un cambio en uno de los capítulos de los proyectos, en el tipo 9 (10 plantas), dónde se sustituye el aislamiento de poliuretano proyectado (aislamiento tipo 1) por otro tipo de material: lana mineral (aislamiento tipo2). En los gráficos representados en las Fig. 8.12y Fig. 8.13 se puede observar como cambian la huella y los recursos en cada caso.

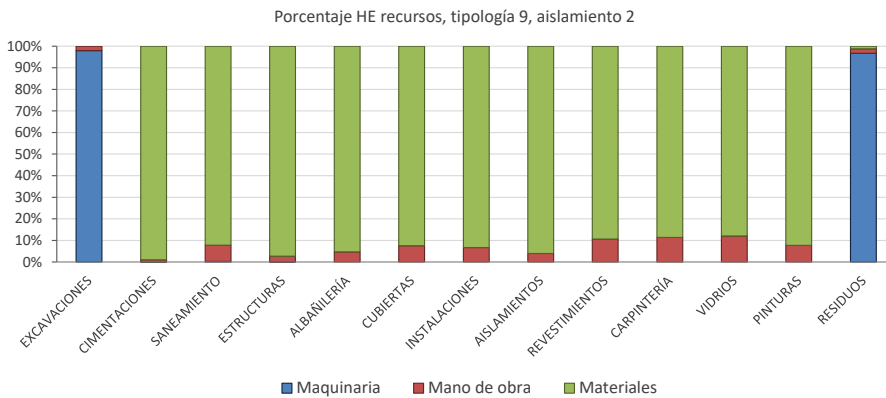


Figura 8.12: Porcentaje de recursos de HE clasificado por capítulos de proyecto. Tipología 9: de 10 plantas sobre rasante y 1 planta bajo rasante, y aislamiento tipo 1: poliuretano proyectado

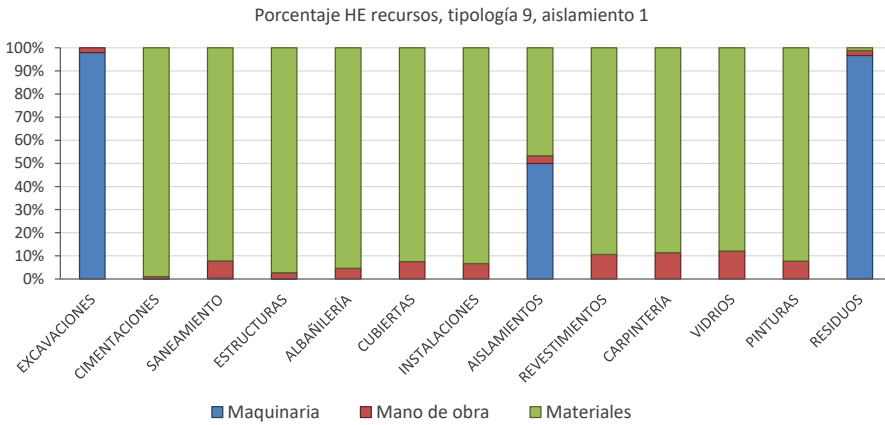


Figura 8.13: Porcentaje de recursos de HE clasificado por capítulos de proyecto. Tipología 9: de 10 plantas sobre rasante y 1 planta bajo rasante, y aislamiento tipo 2: lana mineral

Cuando se emplea aislamiento 1, con poliuretano proyectado, ya se ha definido anteriormente, que el impacto del capítulo viene determinado por la maquinaria, como se observa en la Fig. 8.12.

Sin embargo, con el aislamiento tipo 2, la lana mineral, se observa en la Fig. 8.13 como cambia la huella del capítulo, al cambiar también los recursos que lo conforman. Desaparece el empleo de maquinaria, pasando a ser los materiales los responsables del 96 % del impacto y el 4 % restante de la mano de obra.

Se incluyen los datos del proyecto tipo 9, diferenciando las dos alternativas de aislamientos propuestas 1 y 2, poliuretano y lana mineral respectivamente, en las tablas: Tab. 8.11 donde se representan los datos con el aislamiento 1 y Tab.8.12 para el aislamiento tipo 2. Se aportan los datos del PEM ( $\text{€}/\text{m}^2$ ) y HE ( $\text{hag}/\text{m}^2$ ) de las dos alternativas, así como los porcentajes, en ambos casos, que representan cada capítulo con respecto al total del proyecto. La huella total del proyecto disminuye con el cambio de material, es decir, pasa de ser 0,101 con el aislamiento 1, a 0,100  $\text{hag}/\text{m}^2$  con el aislamiento tipo 2 y a partir del desglose del proyecto en capítulos, se determina que el capítulo de aislamientos representa en la HE total, un 2,16 % con el aislamiento 1 y pasa a ser un 1,37 % con el aislamiento 2, como se recoge en Tab. 8.11 y Tab.8.12. Por tanto, se puede afirmar, desde el punto de vista ecológico, que la lana mineral es un material más viable que el poliuretano proyectado.

Tabla 8.11: Desglose por capítulos del proyecto tipo 9 de PEM (€/m<sup>2</sup>) Y HE (hag/m<sup>2</sup>), aislamiento tipo 1 (poliuretano proyectado)

Tipología 9. Aislamiento 1 (poliuretano proyectado)					
CÓD.	CONCEPTO	PEM		HE	
		(€/m <sup>2</sup> )	Porc. (%)	(hag E-03//m <sup>2</sup> )	Porc. (%)
Cap. 02	Excavaciones	3,10	0,55 %	2,24	2,22
Cap. 03	Cimentación	33,51	5,95	18,48	18,33
Cap. 04	Saneamiento	4,92	0,87	0,87	0,86
Cap. 05	Estructuras	76,55	13,60	25,37	25,17
Cap. 06	Albañilería	75,68	13,45	20,46	20,29
Cap. 07	Cubiertas	10,74	1,91	1,83	1,81
Cap. 08	Instalaciones	183,88	32,68	10,75	10,66
Cap. 09	Aislamientos	<b>6,84</b>	<b>1,22</b>	<b>2,18</b>	<b>2,16</b>
Cap. 10	Revestimientos	84,98	15,10	10,85	10,76
Cap. 11	Carpintería	49,77	8,85	2,55	2,53
Cap. 12	Vidrios	3,33	0,59	0,22	0,22
Cap. 13	Pinturas	25,44	4,52	3,16	3,13
Cap. 17	Gestión RCDs	3,91	0,70	1,85	1,84
	<b>Total</b>	<b>562,65</b>	<b>100</b>	<b>100,80</b>	<b>100</b>

Tabla 8.12: Desglose por capítulos del proyecto tipo 9 de PEM (€/m<sup>2</sup>) Y HE (hag/m<sup>2</sup>), aislamiento tipo 2 (lana mineral)

Tipología 9. Aislamiento 2 (lana mineral)					
CÓD.	CONCEPTO	PEM		HE	
		(€/m <sup>2</sup> )	Porc. %	(hag E-03/m <sup>2</sup> )	Porc. %
Cap. 02	Excavaciones	3,09	0,55	2,24	2,24
Cap. 03	Cimentación	33,43	5,94	18,48	18,48 %
Cap. 04	Saneamiento	4,90	0,87	0,87	0,87
Cap. 05	Estructuras	76,38	13,57	25,37	25,37
Cap. 06	Albañilería	75,51	13,42	20,46	20,46
Cap. 07	Cubiertas	10,72	1,90	1,83	1,83
Cap. 08	Instalaciones	183,47	32,61	10,75	10,75
Cap. 09	Aislamientos	<b>8,06</b>	<b>1,43</b>	<b>1,37</b>	<b>1,37</b>
Cap. 10	Revestimientos	84,79	15,07	10,85	10,85
Cap. 11	Carpintería	49,66	8,83	2,55	2,55
Cap. 12	Vidrios	3,32	0,59	0,22	0,22
Cap. 13	Pinturas	25,38	4,51	3,16	3,1
Cap. 17	Gestión RCDs	3,95	0,70	1,87	1,87
	<b>Total</b>	<b>562,68</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>

Por otro lado, para el análisis económico, se analiza el PEM total del proyecto desglosado por capítulos para ambas soluciones (Tab.8.11 y Tab.8.12). En el caso del capítulo de aislamientos, se puede observar que el que contempla la solución tipo 1 (poliuretano proyectado) representa económicamente el 1,22% en el total y la solución tipo 2 (lana mineral) el 1,43%, incrementando el PEM total del proyecto de 562,65 a 562,68

€/m<sup>2</sup>. Por lo tanto, desde el punto de vista económico el poliuretano es más rentable que la lana mineral.

Una vez expuestos los datos, será el técnico o promotor, en definitiva, el usuario del modelo el que evalúe los resultados obtenidos y decida que solución determinar. Teniendo en cuenta que, a pesar de que económicamente puede ser más viable un material que otro, siempre hay que evaluar si se opta por un material con mejor comportamiento desde el punto de vista ecológico a la larga puede dar mejores resultados si consigue una mejora en el comportamiento energético del edificio, ya que el cómputo en el ACV puede suponer un ahorro energético y económico a largo plazo.

### 8.1.3. Análisis según sistema constructivo: estudio de edificios según la cimentación proyectada

Una vez se obtiene el modelo se plantea validar la capacidad de obtener el análisis de los proyectos en función de la solución constructiva de algún elemento del proyecto.

Para poder realizar el análisis de la construcción de los edificios según las características constructivas y los sistemas empleados, el modelo se plantea de forma que los resultados económicos y ambientales se estructuran según los capítulos del proyecto y desglosando los recursos, siguiendo la clasificación sistemática de la BCCA [33], realizando los siguientes pasos:

- Determinar el impacto económico por capítulos del proyecto.
- Determinar la HE de cada una de los capítulos.
- Comparativa de la importancia de cada capítulo según el impacto económico y ambiental que producen y su porcentaje dentro de la huella global del edificio.
- Estudio pormenorizado según los recursos empleados de materiales, maquinaria y mano de obra.

Una vez obtenidos estos datos, se puede evaluar la HE de los sistemas constructivos y poder así controlar desde la fase de proyecto la sostenibilidad y viabilidad del edificio a construir.

Se seleccionan una serie de proyectos cuya tipología es de cuatro plantas sobre rasante, es decir, planta baja más tres, y una planta bajo rasante. Se clasifican según el tipo de cimentación empleada. Se adjuntan en la Tabla 8.14 las características generales de cada uno de ellos. Se

incluye, además, del detalle de la selección de los despleables para los capítulos: 02. Excavaciones y 03. Cimentaciones, donde se definen los elementos necesarios para ejecutar las cimentaciones, en la Tabla 8.13. Esta selección es común en todos los proyectos.

Tabla 8.13: Detalle de la selección A de los despleables para el capítulo de excavaciones y cimentaciones en los proyectos seleccionados

<b>CÓDIGO</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CONCEPTO</b>	<b>Desplegables (PUS)</b>
<b>CAPÍTULO 02</b>		<b>EXCAVACIONES</b>	
02E	m <sup>3</sup>	Excavaciones	<b>Pala</b>
02R	m <sup>3</sup>	Rellenos	<b>Medios mecánicos</b>
02T	m <sup>3</sup>	Transporte Tierras	<b>Medios mecánicos</b>
<b>CAPÍTULO 03</b>		<b>CIMENTACIONES</b>	
03A	kg	Armaduras	_____
03P	m	Pilotes	_____
03E	m <sup>2</sup>	Encofrados	<b>Metálico</b>
03HA	m <sup>3</sup>	Hormigones armados zapatas	<b>Vertido grúa</b>
03HM	m <sup>3</sup>	Hormigones masa	_____
03H	m <sup>3</sup>	Hormigones zunchos	_____

Tabla 8.14: Características de los edificios seleccionados de 4 plantas sobre rasante

Código del modelo	Nº pl. sobre rasante	Nº pl. bajo rasante	Superf. constr. (m <sup>2</sup> )	Nº de trabaj.	Uso en P.b.	Cimentación	Estructura	Cubierta	PEM total (€)	PEM unit. (€/m <sup>2</sup> )
c89	4	1	5550,5	45	Viviendas	Losa armada	Horm. arm.	Horizontal	2.622.025	472,39
c93	4	1	5550,5	39	Locales	Losa armada	Horm. arm.	Horizontal	2.250.189	405,40
c97	4	1	5550,5	44	Viviendas	Losa armada	Horm. arm.	Inclinada	2.666.143	480,34
c101	4	1	5550,5	38	Locales	Losa armada	Horm. arm.	Inclinada	2.302.189	414,77
c26	4	1	5550,5	44	Viviendas	Zapatatas aisl.	Horm. arm.	Horizontal	2.599.598	468,35
c41	4	1	5550,5	38	Locales	Zapatatas aisl.	Horm. arm.	Horizontal	2.223.584	400,61
c44	4	1	5550,5	43	Viviendas	Zapatatas aisl.	Horm. arm.	Inclinada	2.638.731,86	475,4044
c49	4	1	5550,5	37	Locales	Zapatatas aisl.	Horm. arm.	Inclinada	2.272.575	409,43
c72	4	1	5550,5	39	Locales	Pilotes	Horm. arm.	Horizontal	2.328.074	419,44
c73	4	1	5550,5	46	Viviendas	Pilotes	Horm. arm.	Horizontal	2.699.512	486,35
c74	4	1	5550,5	45	Viviendas	Pilotes	Horm. arm.	Inclinada	2.745.590	494,66
c75	4	1	5550,5	38	Locales	Pilotes	Horm. arm.	Inclinada	2.381.030	428,98

Para el análisis pormenorizado de los recursos empleados en los proyectos, se analiza un sólo proyecto, y se propone un cambio en la selección de los desplegables (PUS) en los capítulos de excavaciones y cimentación, como se adjunta en la Tabla 8.15, así se observan los cambios en cuanto a la huella y se ofrecen las alternativas para mejorar el impacto de un proyecto.

Tabla 8.15: Detalle de la selección B de los desplegables para el capítulo de excavaciones y cimentaciones en los proyectos seleccionados

CÓDIGO	UNIDAD	CONCEPTO	Desplegables (PUS)
<b>CAPÍTULO 03</b>		<b>CIMENTACIONES</b>	
03A	kg	Armaduras	_____
03P	m	Pilotes	_____
03E	m <sup>2</sup>	Encofrados	<b>Madera</b>
03HA	m <sup>3</sup>	Hormigones armados zapatas	<b>Vertido grúa</b>
03HM	m <sup>3</sup>	Hormigones masa	_____
03H	m <sup>3</sup>	Hormigones zunchos	_____
<b>CAPÍTULO 05</b>		<b>ESTRUCTURAS</b>	
05AE	kg	Acero estructuras metálicas	_____
05F	m <sup>2</sup>	Forjados	<b>Bovedillas cemento</b>
05HA	kg	Armaduras	_____
05HE	m <sup>2</sup>	Encofrados	<b>Madera</b>
05HA	m <sup>3</sup>	Hormigones armados	_____

## Resultados

A continuación se presentan los resultados en función del sistema de cimentación utilizado. La codificación numérica procede de la base de datos de los 97 proyectos estudiados inicialmente. El análisis prouesto divide los resultados de la siguiente forma:

- Huellas parciales y HE total
- HE por capítulos
- HE de los recursos empleados
- Viabilidad económica y ambiental

### Huellas parciales y HE total

Se obtienen los resultados de huellas parciales y HE total de los proyectos de cuatro plantas sobre rasante y una planta de sótano clasificados según el tipo de cimentación, ya sea por pilotes, zapatas aisladas o losa armada y se representan en la Tabla 8.16.



Tabla 8.16: HE parciales y totales (hag) y por unidad de superficie (hag/m<sup>2</sup>) de edificios de 4 plantas sobre rasante clasificados según tipo de cimentación

HE parcial (hag/m <sup>2</sup> )	Losas armadas				Tipo de cimentación Zapatillas aisladas					Pilotes			
	89	93	97	101	26	41	44	49	72	73	74	75	
Energía	567,020	536,149	602,420	582,887	553,642	528,094	589,042	557,984	571,352	602,318	637,841	606,892	
Bosques	67,920	58,571	67,920	58,571	74,072	64,723	74,072	64,723	65,338	74,688	75,303	65,338	
Pastos	2,948	2,680	3,002	2,755	2,898	2,648	2,952	2,684	2,737	3,004	3,061	2,791	
Mar	4,713	4,285	4,799	4,405	4,632	4,233	4,719	4,291	4,376	4,803	4,893	4,462	
Cultivos	10,837	9,842	10,830	9,849	10,669	9,743	10,663	9,668	10,074	11,066	11,067	10,067	
Sup. consum.	0,348	0,348	0,348	0,348	0,348	0,348	0,348	0,348	0,348	0,348	0,348	0,348	
<b>HE Total</b> (hag)	653,785	611,875	689,319	658,815	646,262	609,790	681,796	639,699	654,225	696,227	732,513	689,900	
<b>HE Total</b> (hag/m <sup>2</sup> )	0,118	<b>0,110</b>	0,124	0,119	0,116	<b>0,110</b>	0,123	0,115	0,118	<b>0,125</b>	<b>0,132</b>	0,124	

El proyecto que tiene mayor HE es el c74, con 0,132 hag/m<sup>2</sup> cuya cimentación es por pilotes y seguido del c73 con el mismo tipo de cimentación y un valor de 0,125 hag/m<sup>2</sup>, los proyectos que tienen menor huella son c93 y c41 ambos con una HE de 0,110 hag/m<sup>2</sup> y con cimentación de losa armada y zapatas aisladas respectivamente. Por tanto, la HE de un proyecto no depende directamente del tipo de cimentación y hay que analizar más detenidamente los proyectos para determinar que factores influyen en que tengan mayor o menor impacto.

Agrupando los proyectos según el tipo de cimentación se van a analizar el resto de características generales para intentar determinar que factores son los que influyen en el impacto que produce cada proyecto:

- Los proyectos cuya cimentación es por pilotes son los que producen mayor impacto, como ya se ha definido, con valores de 0,132 para el c74, seguido del c73 con 0,125 y con algo más de diferencia c75 y c72 con 0,124 y 0,118 hag/m<sup>2</sup>, respectivamente. El proyecto de mayor huella, el c74, tiene en planta baja viviendas, y su cubierta es inclinada. Las diferencias con los otros proyectos de su grupo son: el c72 y c73 tienen la cubierta horizontal, y con el c72 y c75, que la planta baja está destinada a locales comerciales en lugar de viviendas, cuyo nivel de revestimientos, instalaciones y acabados es menor.
- Cuando la cimentación es con losa armada, los impactos producidos son diversos, variando la HE entre 0,110 del c93 a 0,124 hag/m<sup>2</sup> del c97. La diferencia del proyecto de menor huella con el resto es que el uso en planta baja es de locales a diferencia de los otros dos cuyo uso es de vivienda y la cubierta es plana coincidiendo con el c89, ya que el c97 tiene cubierta inclinada.
- Por último en los proyectos con cimentación de zapatas aisladas la HE también toma diferentes valores, de 0,110 del c41 a 0,123 hag/m<sup>2</sup> del c44. El de menor huella tiene en planta baja locales y la cubierta es plana a diferencia con el resto de proyectos que tienen en planta baja viviendas. A continuación le sigue en impacto el c26 con 0,116 y cubierta plana y finalmente el c44 con 0,123 hag/m<sup>2</sup>, cubierta inclinada y con un impacto más cercano a los proyectos de mayor HE.

Lo que se puede obtener de este análisis es que dentro de la HE de un edificio de viviendas, la cimentación no es un capítulo que domine el impacto del mismo. Sí se puede afirmar que la cimentación por pilotes tiende a tener mayor HE que el resto, sin embargo, no se puede definir

cual es la más viable entre la losa armada y las zapatas aisladas. El que sí supone un factor determinante en la huella, es el tipo de acabado, ya que los proyectos con viviendas en planta baja tienen una HE superior a los que tienen locales, debido a que el nivel de acabado considerado para estos últimos es menor y por otro lado que a igualdad de características los proyectos con cubierta inclinada tienen mayor impacto que los de cubierta horizontal transitable.

Se propone realizar un estudio más exhaustivo, para determinar realmente cuáles son los impactos de la cimentación de cada proyecto. Se determinarán además, cuáles son las fases más influyentes en las que deben centrarse los estudios para poder reducir el impacto de cada proyecto, estudiando diferentes soluciones constructivas y su HE con la ayuda del presente modelo.

### **HE por capítulos**

Para poder analizar correctamente cual es la cimentación más viable se realiza un estudio más pormenorizado de los proyectos, para ello se seleccionan 3 de los 12 anteriores, los criterios de selección son, en primer lugar, disponer de los tres tipos de cimentación propuestos y en segundo lugar, que mantengan iguales el resto de características, para realizar mejor la comparativa. Se selecciona en primer lugar, el proyecto de mayor HE, c74, cuya cimentación es con pilotes, además del c97 con losa armada y c44 con zapatas aisladas, los tres cuentan con viviendas en la planta baja de los edificios y la cubierta es inclinada, los tres tienen una superficie ejecutada de 5.550,50 m<sup>2</sup>, lo cual corresponde a 3 edificios cada proyecto (según las hipótesis que se toman para el desarrollo del modelo).

Se propone el desglose en capítulos de cada uno de los proyectos, según la clasificación sistemática de la BCCA, en la Fig. 8.14, donde se observa que en el capítulo de cimentaciones, es el proyecto c74 el de mayor HE como ya se había confirmado anteriormente. Si se comparan las otras dos tipologías, es el proyecto con cimentación de losa armada el que parece más viable por tener menor impacto, sin embargo existe poca diferencia con el proyecto de zapatas aisladas. Es necesario, por tanto, estudiar otros capítulos que también intervienen o influyen en la cimentación para determinarlo con certeza. Para ello se tienen en cuenta, por un lado, las excavaciones, como parte del proceso de ejecución de la cimentación, y por otro lado la estructura en la también influye el tipo de cimentación. Se extraen para ello estos tres capítulos de los tres proyectos y se incluyen sus datos en la Tabla 8.17, donde se observa que sigue siendo el proyecto con cimentación por pilotes el de mayor impacto

y sin embargo haciendo el cómputo de todas las fases necesarias es, el proyecto de zapatas aisladas (c44), el que produce menor huella.

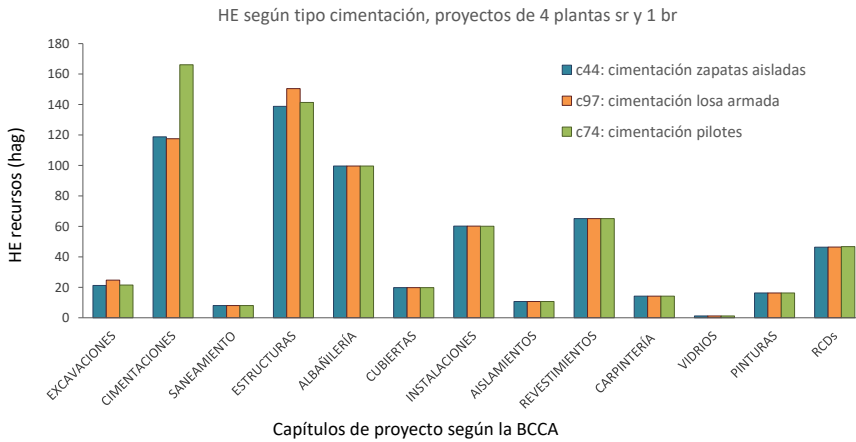


Figura 8.14: HE de los recursos de los edificios de viviendas de 4 plantas sobre rasante y una planta de sótano clasificados según el tipo de cimentación

Tabla 8.17: HE desglosada en los capítulos de proyecto de la construcción de edificios de 4 plantas sr y 1 planta br, clasificados según el tipo de cimentación.

Cód.	Concepto	HE (hag) según tipologías		
		Pilotes (c74)	Losa armada (c97)	Zapatas aisladas (c44)
Cap. 02	Excavaciones	21,46	24,74	21,23
Cap.03	Cimentaciones	166,10	117,58	118,83
Cap. 05	Estructuras	141,40	150,49	138,79
	<b>HE total (hag)</b>	<b>328,96</b>	<b>292,80</b>	<b>278,85</b>

El resto de capítulos tienen el mismo impacto para las 3 tipologías, como se puede ver en la Fig. 8.14, ya que se han seleccionado proyectos con las mismas características generales y las mismas opciones en los desplegables. El capítulo de estructuras sólo que es un factor determinante en la huella, ya es el de mayor impacto, aunque en el caso del proyecto cimentado con pilotes la cimentación es la fase que mayor huella presenta.

### HE de los recursos empleados

Se van a seleccionar los 3 proyectos desglosados por capítulos, según su cimentación sea por pilotes (c74), losa armada (c97) o zapatas ais-

ladas (c44), y a su vez se hace una selección de capítulos: excavaciones, cimentaciones y estructuras, para estudiar los recursos que los conforman: materiales, mano de obra. Con este análisis se pretende poder estudiar los diferentes elementos de un proyecto que nos pueden influir a la hora de barajar diferentes alternativas para poder disminuir la huella.

Se plantea, por tanto, el estudio de los materiales, mano de obra y maquinaria, su presencia e impacto en cada proyecto y en particular en los capítulos 02. Excavaciones, 03. Cimentaciones y 05. Estructuras.

- En primer lugar se analizan los materiales, que es el recurso que produce mayor impacto en cada proyecto, y en particular las emisiones procedentes de la fabricación de los mismos.
  - El capítulo 02 de excavaciones no tiene consumo de materiales, por tanto no se estudia en este apartado.
  - Los materiales que intervienen en el capítulo 03 de Cimientos, se incluyen en la Fig. 8.17, se expresa su consumo en kilogramos por unidad de superficie ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ), siendo para las 3 tipologías los materiales de mayor importancia: el hormigón, el acero y la madera de los encofrados. El hormigón es, en cualquier caso, el material con mayor consumo y es en la cimentación por pilotes donde es superior, en particular el hormigón armado y en masa. Para el caso del acero utilizado sobre todo en barras corrugadas B400S y B500S, su consumo es mucho menor que el anterior, y es también en el caso de los pilotes donde su cuantificación es mayor, seguida de la losa armada y en tercer lugar por la cimentación mediante zapatas aisladas. La madera tiene un repercusión mínima pero es interesante incluirla para tener en cuenta cual es el impacto que produce, tiene más consumo en los pilotes y en zapatas aisladas y menor representación en la losa armada, lo cual es lógico según la geometría y ejecución de cada elemento. En todos los proyectos se utiliza desencofrante pero su consumo e impacto es muy pequeño y no se representa en las gráficas.

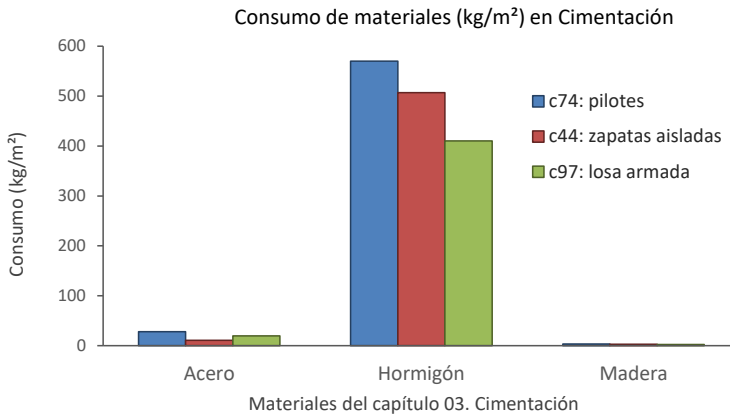


Figura 8.15: Consumo de materiales en el capítulo de cimentaciones en edificios de 4 plantas sr y una planta de sótano clasificados según el tipo de cimentación

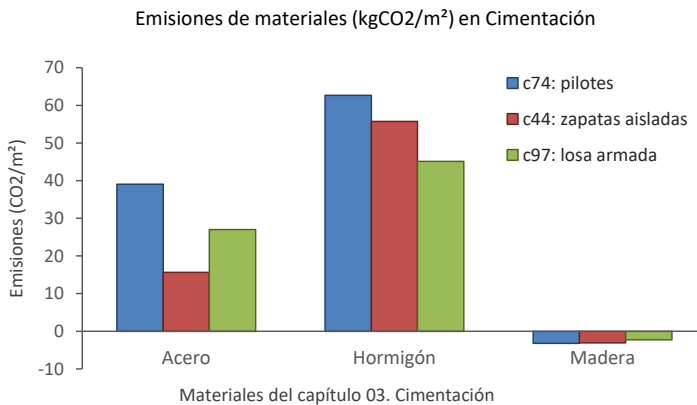


Figura 8.16: HE de materiales en el capítulo de cimentaciones en edificios de 4 plantas sr y una planta de sótano clasificados según el tipo de cimentación

A continuación se plantean las emisiones de CO<sub>2</sub> producidas en la fabricación de los materiales utilizados en esta fase, en la Fig.8.16, donde se observa que los impactos producidos por los materiales siguen la misma tendencia que en el consumo, en cuanto a que es el hormigón el que produce mayor impacto, seguido del acero y en tercer lugar con valores negativos la madera. Sin embargo, también se aprecia el alto valor de las emisiones del acero, el cual tiene poco consumo y unos altos valores en emisiones. La madera, si se cuantifica en valor ab-

soluto, tiene mayor presencia si se compara con su peso en el proyecto.

- A continuación se analiza el capítulo 05 de estructuras se analiza, y en la Fig. 8.17 se representan los materiales que participan en esta fase y sus consumos expresados en  $\text{kg}/\text{m}^2$ . Vuelve a ser el hormigón el material con mayor presencia en los tres casos, siendo además su valor idéntico, lo cual se debe a que las tipologías y superficies son las mismas. Sin embargo, la cantidad de acero sí que varía siendo un poco superior en el caso de los edificios con cimentación de losa armada y menor en el caso de zapatas aisladas. En esta fase aparece también en segundo lugar el cemento, el cual se emplea en sacos y en las bovedillas de mortero de cemento que se colocan en los forjados unidireccionales (según se ha seleccionado en los despleables). La madera se utiliza en los encofrados pero con mucha menos presencia que en los cimientos, así como el desencofrante, los valores son tan bajos que no se representan en la gráfica.

En cuanto a las emisiones de los materiales del capítulo de Estructuras se representan en la Fig.8.18, siendo el material que causa mayor impacto el hormigón, seguido del acero y del cemento en último lugar, el impacto por proyectos sigue la misma tendencia que en la gráfica del consumo.

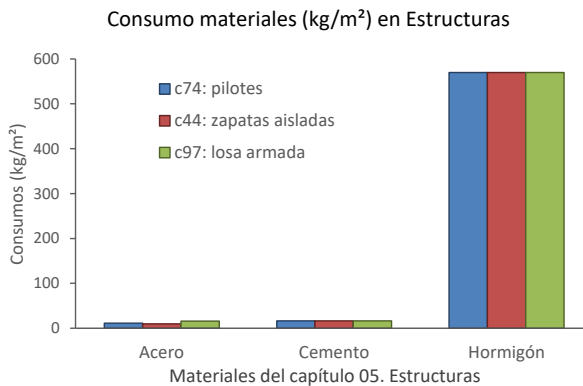


Figura 8.17: Consumo de materiales en el capítulo de estructuras en edificios de 4 plantas sr y una planta de sótano clasificados según el tipo de cimentación

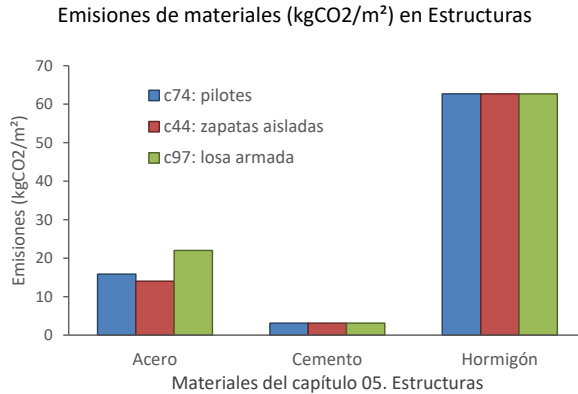


Figura 8.18: HE de materiales en el capítulo de estructuras en edificios de 4 plantas sr y una planta de sótano clasificados según el tipo de cimentación

- El siguiente recurso analizado, es la mano de obra necesaria para la ejecución de la obra, en la Fig. 8.19 se adjuntan los consumos de cada capítulo según las 3 tipologías. El rendimiento total de mano de obra incluye la mano de obra necesaria para ejecutar el proyecto procedente de los PUS del proyecto, además de la mano de obra que maneja la maquinaria definida también en las mediciones. El capítulo que ocupa más cantidad de operarios es el de estructuras, se necesitan para ejecutar los forjados unidireccionales, pilares y vigas, colocación de armaduras, montaje de encofrados, labores de hormigonado y posterior desencofrado, son todas tareas que ocupan mucho personal y mucha intensidad en poco tiempo. El proyecto con cimentación de losa armada es el que necesita más trabajadores de los tres, lo cual coincide con los datos de consumo de materiales del capítulo de estructuras, donde se reflejaba un mayor consumo de armaduras, lo cual conlleva más operarios para su colocación. En el capítulo de cimentación también existe gran cantidad de operarios, sobre todo en la cimentación por pilotes, seguida, pero con menos importancia la losa armada y por último las zapatas aisladas. Finalmente, las excavaciones son el capítulo con menor consumo de mano de obra, siendo mayor en el proyecto de losa armada, seguida por los otros dos proyectos con el mismo valor.



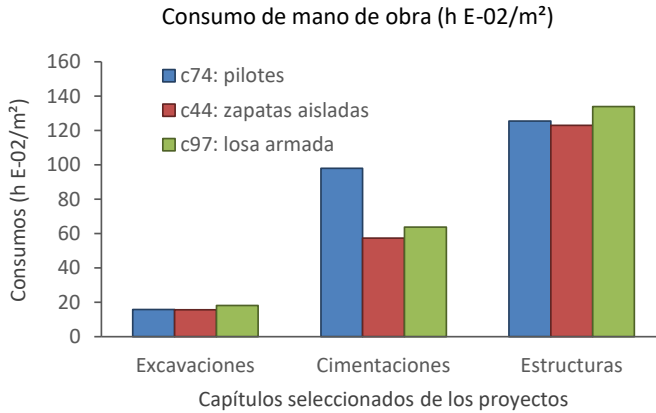


Figura 8.19: Cantidad de mano de obra empleada en los capítulos de excavaciones, cimentaciones y estructuras, en edificios de 4 plantas sr y una planta de sótano clasificados según el tipo de cimentación

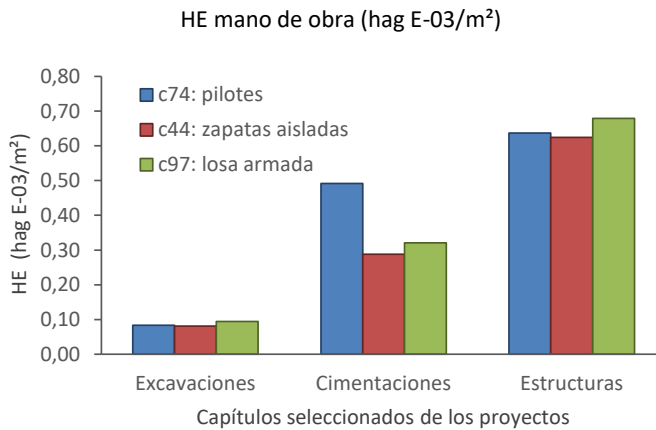


Figura 8.20: HE de mano de obra empleada en los capítulos de excavaciones, cimentaciones y estructuras, en edificios de 4 plantas sr y una planta de sótano clasificados según el tipo de cimentación

En cuanto a la HE de la mano de obra se expresa en la Fig. 8.20, la cual incluye la huella de los alimentos: cultivos, mar, pastos y energía, así como la huella de energía procedente de los RSU. Para los tres capítulos definidos y según las tipologías los resultados siguen la mismas tendencias que en el rendimiento total en horas.

- El tercer y último recurso analizado es la maquinaria, su consumo

en horas se incluye en la Fig. 8.21, se representan los tres capítulos de excavaciones, cimentaciones y estructuras, para las 3 tipologías seleccionadas y se cuantifican conjuntamente tanto si la maquinaria es de combustible como eléctrica. El capítulo de excavaciones es el que mayor cantidad de maquinaria consume, siendo esta del tipo de motor de combustión, sobre todo camiones basculantes, seguido de pala cargadora y en último lugar la retroexcavadora, siendo el proyecto realizado con losa armada también el que mayor maquinaria consume en esta fase de obra. En el siguiente capítulo, la cimentación, la maquinaria utilizada es de tipo eléctrica, siendo la más empleada el vibrador necesario durante el proceso de hormigonado de las zapatas aisladas, a continuación, el compresor para pilotaje y en último lugar la losa armada que emplea vibrador igualmente pero durante menos tiempo. En el capítulo de estructuras la maquinaria empleada también es eléctrica, siendo de nuevo el vibrador la maquinaria más utilizada, el consumo es el mismo en las tres tipologías.

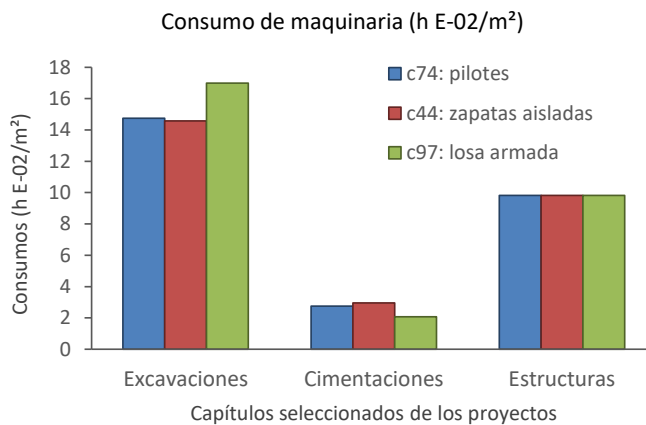


Figura 8.21: Cantidad de maquinaria empleada en los capítulos de excavaciones, cimentaciones y estructuras, en edificios de 4 plantas sr y una planta de sótano clasificados según el tipo de cimentación

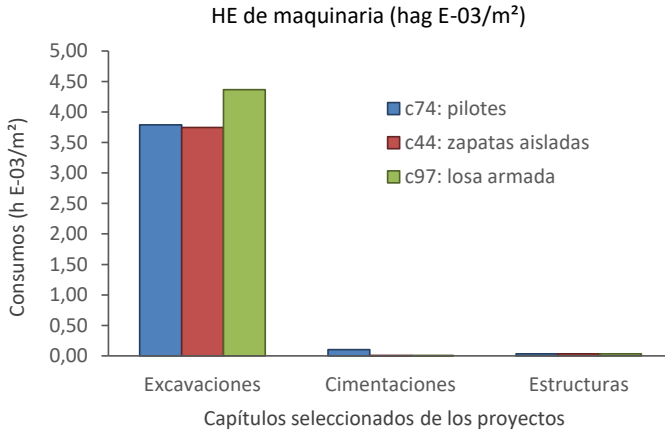


Figura 8.22: HE de la maquinaria empleada en los capítulos de excavaciones, cimentaciones y estructuras, en edificios de 4 plantas sr y una planta de sótano clasificados según el tipo de cimentación

La HE de la maquinaria se representa en la Fig. 8.22, donde se observa que la maquinaria que produce mayor impacto es la correspondiente al capítulo de excavaciones, es decir, la alimentada con combustible, siendo el impacto muy bajo en el resto de capítulos. En el capítulo de cimentaciones, el compresor dos martillos empleado para la ejecución de los pilotes tiene un impacto algo mayor al resto de maquinaria eléctrica de este capítulo y en la fase de estructuras la HE es mínima para los tres casos.

## Viabilidad económica y ambiental

Para realizar el estudio de la viabilidad económica y ambiental de los proyectos se propone seguir los siguientes pasos:

- Seleccionar un sólo proyecto. En este caso el c44, de cimentación por zapatas asiladas.
- Realizar el estudio a partir de un cambio de material. Para el análisis que se ha realizado hasta ahora, en los encofrados de los capítulos 03 de Cimentaciones y en el 05 de Estructuras, se han seleccionado de los desplegables propuestos que éstos sean metálicos en ambos casos. Se exponen en primer lugar los resultados con esta opción para después realizar la comparativa cambiando el material del encofrado a madera, lo cual se detallará más adelante.

- Obtener desglosados por capítulos los datos unitarios de PEM (€/m<sup>2</sup>) y de HE (hag/m<sup>2</sup>). Se adjunta, para esta primera opción, el presupuesto del proyecto y la HE de los recursos obtenidos de la medición y se recogen en la Tabla 8.18. El total del proyecto es de 418,83 €/m<sup>2</sup>, y el capítulo de cimentación tiene un importe de 35,93 €/m<sup>2</sup>, así como una huella de 21.41 hag/m<sup>2</sup>. El siguiente capítulo a analizar, las estructuras, tiene un importe de 56,12 €/m<sup>2</sup> y una huella de 25,00 hag/m<sup>2</sup>.

Tabla 8.18: Presupuesto y HE por capítulos del proyecto c44. Los encofrados de cimentaciones y estructuras son metálicos

CONCEPTO	PEM (€/m <sup>2</sup> )	HE (hagE-3/m <sup>2</sup> )
Excavaciones	3,97	3,82
<b>Cimentación</b>	<b>35,93</b>	<b>21,41</b>
Saneamiento	5,00	1,45
<b>Estructuras</b>	<b>56,12</b>	<b>25,00</b>
Albañilería	49,70	17,94
Cubiertas	7,27	3,56
Instalaciones	127,81	10,84
Aislamientos	4,49	1,93
Revestimientos	58,63	11,74
Carpintería	35,00	2,55
Vidrios	2,27	0,22
Pinturas	17,80	2,93
Gestión RCDs	14,84	8,36
<b>Total</b>	<b>418,83</b>	<b>111,75</b>

- Representar gráficamente y diferenciado por capítulos de proyecto los impactos económicos y ambientales de todo el proyecto. El proyecto completo se representa en la Fig. 8.23, donde se observa que no hay coincidencia entre los capítulos de mayor coste y los de mayor impacto. El capítulo de mayor coste es el de instalaciones, el cual produce un impacto de valor intermedio en el cómputo total, y el capítulo de mayor HE es el de estructuras, que no es de mayor importe pero sí está entre los de mayor impacto económico. A partir de esta gráfica se puede empezar a valorar que elementos son susceptibles de análisis por ser de mayor importancia a la hora de evaluar la mejora de un proyecto en la fase de diseño.

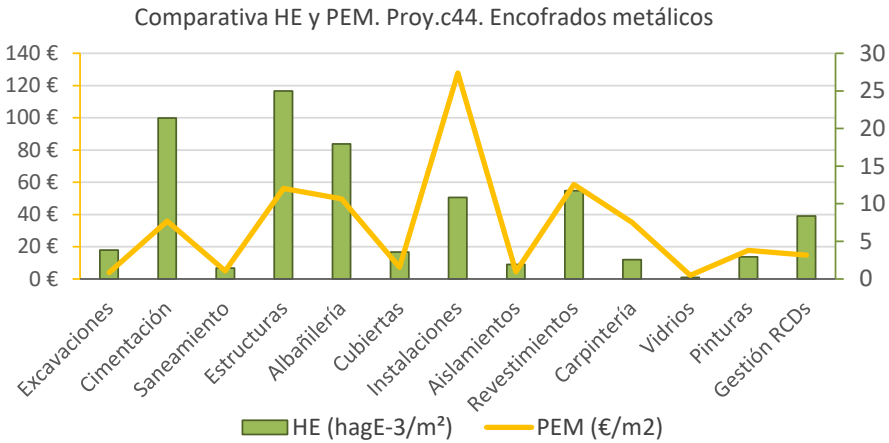


Figura 8.23: Comparativa entre presupuesto (€) y HE (hag) del proyecto c44, desglosado por capítulos de proyecto. Encofrado metálico

- Representar los datos de las huellas parciales más importantes de cada proyecto. Las huellas parciales de la opción de material 1: encofrado metálico, se representan gráficamente en la Fig. 8.24 y se aportan los porcentajes de las más representativas en el total de la HE. La más importante es la energía con un 86 % del impacto total, seguida de la huella de bosques con un 11 %, los alimentos tienen representación en cultivos con un 2 % y mar con un 1 %, el resto de huellas no representadas es porque tienen un valor muy cercano a cero.

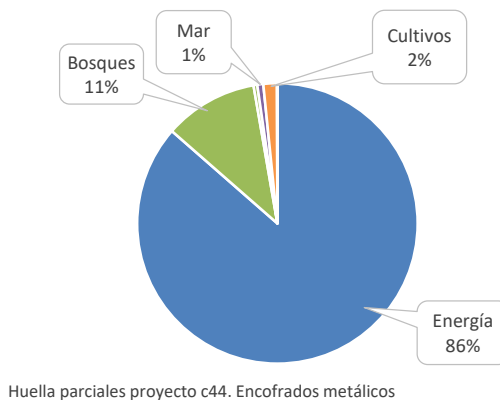


Figura 8.24: Huellas parciales del proyecto c44. Encofrados metálicos

Con el fin de buscar una solución óptima tanto por su impacto económi-

co como el ambiental, y haciendo un estudio pormenorizado en las fases de cimentación y estructura, a continuación se propone el cambio de material ya definido en la Validación, la opción 2 es, encofrado de madera en cimentaciones y estructuras, se siguen los mismos pasos y se obtienen los siguientes resultados:

- Se presenta el desglose por capítulos de los datos ecológicos HE (hag/m<sup>2</sup>) y económicos PEM (€/m<sup>2</sup>) en la Tabla 8.19, como se observa tanto en el capítulo de cimentación como en estructuras se baja el importe con el cambio a madera, el total pasa a 414.75€/m<sup>2</sup>, menos que el anterior. Con la huella (de los recursos del presupuesto y medición) sucede lo mismo, en este caso disminuye en los dos capítulos y el total de HE del proyecto pasa de 111,75 hag/m<sup>2</sup> a 107,24 hag/m<sup>2</sup>.

Tabla 8.19: Presupuesto y HE por capítulos del proyecto c44. Los encofrados de cimentaciones y estructuras son de madera

CONCEPTO	PEM (€/m <sup>2</sup> )	HE (hagE-3/m <sup>2</sup> )
Excavaciones	3,97	3,82
<b>Cimentación</b>	<b>32,36</b>	<b>19,65</b>
Saneamiento	5,00	1,45
<b>Estructuras</b>	<b>55,59</b>	<b>22,24</b>
Albañilería	49,70	17,94
Cubiertas	7,27	3,56
Instalaciones	127,81	10,84
Aislamientos	4,49	1,93
Revestimientos	58,63	11,74
Carpintería	35,00	2,55
Vidrios	2,27	0,22
Pinturas	17,80	2,93
Gestión RCDs	14,86	<b>8,37</b>
<b>Total</b>	<b>414,75</b>	<b>107,24</b>

- En la Fig. 8.25 se representa igualmente el conjunto del proyecto, donde se observa el cambio a menor coste y huella en los dos capítulos de cimentación y estructura, la relación del resto de capítulos sigue igual, ya que no se han cambiado más opciones, lo cual podría plantearse para el estudio completo del proyecto, en este caso el análisis se ha centrado solo en una parte del proyecto, pero esto puede ampliarse fácilmente.

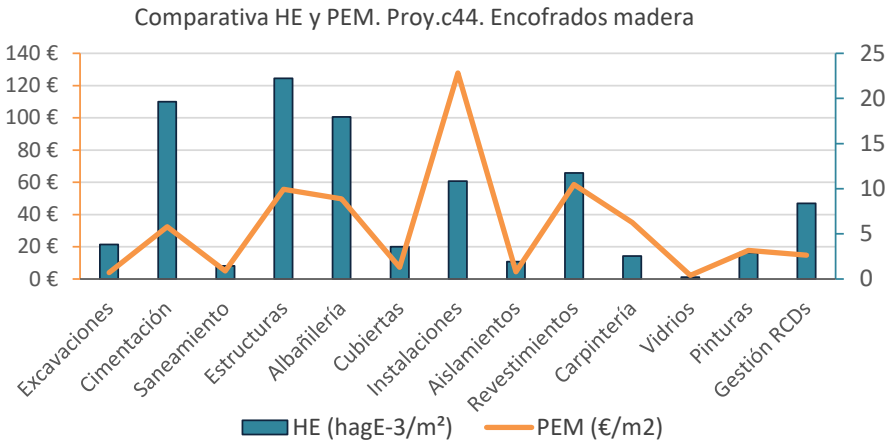


Figura 8.25: Comparativa entre presupuesto (€) y HE (hag) del proyecto c44, desglosado por capítulos de proyecto. Encofrado de madera

- Sin embargo si se sigue con el análisis, en la Fig. 8.26, donde se incluyen las huellas parciales que contabilizan todo el proyecto, es decir, los datos procedentes de las mediciones y de los datos generales, tales como costes indirectos, consumo de agua, electricidad y superficie consumida. Se observa que la huella de la energía baja de un 86 % a un 74 %, debido al cambio de material, pero la huella de bosques es bastante mayor, pasando de un 11 a un 23 %, lo cual hace que finalmente la huella de proyecto con encofrado metálico sea de 684,326 hag y cuando el encofrado es de madera pasa a ser 762,573 hag.

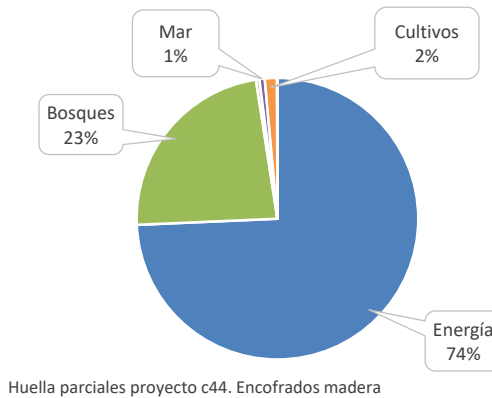


Figura 8.26: Huellas parciales del proyecto c44. Encofrados de madera

Finalmente la propuesta de cambio de material de encofrado es algo más económica que la original, sin embargo aunque la madera tenga emisiones negativas por su absorción de CO<sub>2</sub>, la metodología de la HE penaliza el uso de la madera con la huella de los bosques, y esto hace que el impacto global del proyecto sea mayor. Por lo tanto la opción elegida en primer lugar, es decir los encofrados metálicos son más ecológicos que la opción 2 de madera. Se podría seguir estudiando para mejorar la viabilidad ambiental del proyecto analizando éstas y otras fases de proyecto y probando otras alternativas.



## 8.2. Aplicación a Chile

Para obtener la HE de Chile se necesitan las mediciones del proyecto, los recursos obtenidos a partir de las mediciones y de los datos generales, a partir de estos datos obtenemos los impactos y así las emisiones de CO<sub>2</sub> y finalmente las huellas ecológicas parciales, total y definidas según los capítulos de proyecto.

### 8.2.1. Medición y presupuesto de proyecto

La primera serie de datos que se necesitan para evaluar la HE del proyecto son las mediciones del mismo, y partir de ellas se obtienen los recursos de materiales, mano de obra y maquinaria. En la tabla Tabla 8.20 se describen los códigos de capítulos y subcapítulos, el concepto a definir, la unidad de medida, el código del PUS y la medición. A partir de estos datos y los descompuestos de los PUS se obtienen los recursos de mano de obra, maquinaria y materiales.

Tabla 8.20: Medición de proyecto

CÓDIGO	CONCEPTO	UD.	CÓDIGO PUS	CANT.
<b>CAP. 02.</b>	<b>EXCAVACIONES</b>			
02A	Excavaciones a cielo abierto	m <sup>3</sup>	02ACC00001	3,85
02R	Rellenos	m <sup>3</sup>	02RRM00001	2,37
02Z	Excavaciones de zanjas	m <sup>3</sup>	02ZBB00002	2,71
			02ZMM00002	2,68
<b>CAP. 03.</b>	<b>CIMENTACIONES</b>			
03A	Armaduras	kg	03ACC00010	194,63
03E	Encofrados	m <sup>2</sup>	03ERM00001	28,22
03HAA	Hormigones armados. Arriostramientos	m <sup>3</sup>	03HAA80060	0,96
03HAZ	Hormigones armados. Zapatas	m <sup>3</sup>	03HAZ00002	2,37
03WS	Subbases	m <sup>2</sup>	03WSS00011	0,17
		m <sup>2</sup>	03WSS80000	3,95
<b>CAP. 04.</b>	<b>SANEAMIENTO</b>			
04A	Arquetas	u	04EAS00002	1,00
04B	Bajantes	m	04VBM70001	22,00
04C	Colectores	m	04ECP70003	0,77
		m	04ECP70005	7,95
<b>CAP. 05.</b>	<b>ESTRUCTURAS</b>			
05MT	Madera tradicional	m <sup>2</sup>	05MTT70100	102,24
		m <sup>2</sup>	05MTT70110	21,63
		m <sup>2</sup>	05MTT70200	40,10
		m <sup>2</sup>	05MTT70300	1,10
		m	05MTT70020	31,04
		m <sup>2</sup>	05MTT70060	36,00
		m <sup>2</sup>	05MTT70070	3,00
		m <sup>2</sup>	05MTT70080	102,24

Continúa en la siguiente página

Tabla 8.20 – continúa de la página anterior

CÓDIGO	CONCEPTO	UD.	CÓDIGO PUS	CANT.
		m <sup>2</sup>	05MTT70090	21,81
<b>CAP. 06.</b>	<b>ALBAÑILERÍA</b>			
<b>CAP. 07.</b>	<b>CUBIERTAS</b>			
07I	Cubiertas inclinadas	m <sup>2</sup>	07IWF70001	104,52
		m	07IWL70001	7,20
		m	07IGE00001	7,20
		m	07IGW00002	14,40
<b>CAP. 08.</b>	<b>INSTALACIONES</b>			
08CV	Ventilación	u	08CVE70001	2,00
		u	08CVE70003	11,00
		u	08CVR00071	2,00
		u	08CVR70001	1,00
08EC	Circuitos	m	08ECC00105	5,05
		m	08ECC00102	14,50
		m	08ECC00103	17,40
08EI	Interruptores	u	08EID00005	1,00
		u	08EIM00101	2,00
		u	08EIM00102	1,00
08EK	Contadores	u	08EKK00001	1,00
08EL	Puntos de luz	u	08ELL00001	5,00
		u	08ELL00002	1,00
		u	08ELL00006	1,00
08EP	Puesta a Tierra	u	08EPP00003	1,00
		u	08EPP00005	1,00
		m	08EPP00102	3,00
08ET	Toma de corriente	u	08ETT00002	7,00
		u	08ETT00003	1,00
08EW	Varios	u	08EWW00001	1,00
		u	08EWW00010	1,00
		u	08EWW00030	1,00
		u	08EWW00095	1,00
08FA	Acometidas y contadores	u	08FAC00006	1,00
08FC	Canalizaciones agua Caliente	m	08FCC00052	8,30
08FD	Desagües	m	08FDP00004	0,75
		m	08FDP00005	1,55
		u	08FDP70052	1,00
		u	08FDP70081	1,00
		u	08FDP70091	1,00
		u	08FDP70101	1,00
		u	08FDP70121	1,00
		u	08FDP70131	1,00
08FF	Canalizaciones agua Fría	m	08FFP90500	8,46
		m	08FFP90510	17,90
08FG	Griferías	u	08FGF00004	1,00
		u	08FGL00009	1,00
		u	08FGN00003	1,00
		u	08FGW00051	1,00
		u	08FGW00008	1,00
08FS	Aparatos sanitarios	u	08FSF00091	1,00
		u	08FSI00001	1,00
		u	08FSL00003	1,00

Continúa en la siguiente página

Tabla 8.20 – continúa de la página anterior

CÓDIGO	CONCEPTO	UD.	CÓDIGO PUS	CANT.
		u	08FSN70004	1,00
		u	08FSW70051	1,00
08FT	Termos/calentadores	u	08FTC00551	1,00
08L	Gases y licuados	u	08LPP70815	1,00
		m.	08LPP70053	7,80
08N	Energía solar	u	08NOC90001	1,00
		u	08NAA90100	1,00
		u	08NEE90001	1,00
<b>CAP. 09.</b>	<b>AISLAMIENTOS</b>			
09I	Impermeabilización	m <sup>3</sup>	09ISS70020	102,37
09T	Aislamientos térmicos	m <sup>2</sup>	09TPP70011	97,99
		m <sup>2</sup>	09TPP70012	88,56
		m <sup>2</sup>	09TPP70014	102,37
		m <sup>2</sup>	09TTT70110	24,92
<b>CAP. 10.</b>	<b>REVESTIMIENTOS</b>			
10LM	Ligeros. Madera	m <sup>2</sup>	10LMM70013	35,85
10LW	Ligeros. Varios	m <sup>2</sup>	10LWW70002	49,59
		m <sup>2</sup>	10LWW70018	4,44
		m <sup>2</sup>	10LWW70020	14,52
10SC	Suelos. Cerámicos	m <sup>2</sup>	10SCS00006	25,36
		m	10SCR00002	38,65
10SL	Suelos. Ligeros	m <sup>3</sup>	10SLS00010	22,28
		m	10SMR90010	42,85
10SS	Suelos. Soleras	m <sup>2</sup>	10SSS70001	21,76
10T	Techos	m <sup>2</sup>	10TMT70008	58,17
		m <sup>2</sup>	10TWW70011	51,65
		m <sup>2</sup>	10TWW70013	8,36
10WR	Remates	m	10WRG70001	27,89
<b>CAP. 11.</b>	<b>CARPINT. Y ELMTS. DE SEG. Y PROT.</b>			
11LP	Carpintería ligera. Puertas	m <sup>2</sup>	11LPA00125	3,47
11LV	Carpintería ligera. Ventanas	m <sup>2</sup>	11LVA00126	4,04
			11LVF00126	3,30
11MP	Madera. Puertas	m <sup>2</sup>	11MPP00151	4,73
11S	Seguridad y protección	m	11SBM70001	3,40
		m	11SEM70001	8,40
<b>CAP. 12.</b>	<b>VIDRIOS</b>			
12A	Acrilamientos	m <sup>2</sup>	12VIS80003	7,99
12L	Lunas	m <sup>2</sup>		
<b>CAP. 13.</b>	<b>PINTURAS</b>			
13PI	Pinturas interiores	m <sup>2</sup>	13IEE00004	10,84
		m <sup>2</sup>	13IEE70001	255,60
		m <sup>2</sup>	13IOO70001	11,06
<b>CAP. 17.</b>	<b>GESTIÓN DE RESIDUOS</b>			
17AH	Hierro y acero	t	17AHA00140	0,01
17HA	Áridos y piedras naturales	m <sup>3</sup>	17HAW00140	0,06
17HC	Cerámicos	m <sup>3</sup>	17HCC00001	0,00
17HH	Hormigón, cemento y cal	m <sup>3</sup>	17HHW00001	0,36
17MM	Madera	t	17MMM00120	0,17

Continúa en la siguiente página

Tabla 8.20 – continúa de la página anterior

CÓDIGO	CONCEPTO	UD.	CÓDIGO PUS	CANT.
17MP	Plásticos y sintéticos	t	17MMM00120	0,02
17RR	Residuos mezclados	m <sup>3</sup>	17RRR00220	1,59

A partir de las mediciones (Tabla 8.20) y del BCRR del proyecto se obtienen la cantidad de recursos totales, los kilogramos de materiales totales en la Tabla 8.22 donde se aportan los materiales agrupados por familias, la mano de obra según categorías en la Tabla 8.27, y la maquinaria de combustible en la Tabla 8.32 y eléctrica en la Tabla 8.33. Los datos más desglosados se pueden consultar en los *ANEXOS*. Se aportan además de los totales de cada recurso la cantidad de cada uno de ellos empleada por unidad de superficie construida de proyecto, dato de referencia para realizar comparativas con otros proyectos de similares características.

A partir de los consumos de recursos definimos los impactos de cada uno de ellos y se obtienen las emisiones de CO<sub>2</sub>. Se clasifican según las fuentes de impacto:

- Materiales: fabricación, transporte a obra y RCD.
- Mano de obra: alimentos y RSU
- Maquinaria: eléctrica y de combustible

Finalmente se obtienen las huellas parciales y la HE total, además se aporta la HE según los capítulos de proyecto.

A partir de la medición y el BCRR de Chile, se obtiene también el presupuesto de ejecución material (PEM): 32.003,53 €y 615.45 €/m<sup>2</sup>, el valor se expresa en euros, al haber utilizado el BCCA, lo cual puede convertirse a la moneda nacional (peso chileno), aunque en este caso el valorarlo en euros es útil para realizar comparativas con otros proyectos. En la Fig. 8.21 se desglosa por capítulos, el capítulo que tiene mayor coste es la estructura 21,00 %, lo cual es normal, al ser los cerramientos y particiones también parte de la estructura, a continuación el capítulo de instalaciones con un 19,01 % seguido de los revestimientos con un 15,95 %. Los capítulos de menor valor son el de Gestión de RCDs con un 0.18, seguido de las excavaciones con un 0.43 y vidrios con un 0.63 %, destacar el valor mínimo del capítulo de cimentaciones, lo cual se debe a las reducidas dimensiones de las mismas, por ser una vivienda de madera con un peso mucho menor y por tanto menores cargas.

Tabla 8.21: Presupuesto total y unitario (m<sup>2</sup>) desglosado por capítulos

CÓD.	CONCEPTO	PEM (€)	PEM (€/m <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)
CAP.02.	Excavaciones	136,88	2,63	0,43
CAP.03.	Cimentaciones	919,88	17,69	2,87
CAP.04.	Saneamiento	1.843,25	35,45	5,76
CAP.05.	Estructuras	6.720,77	129,25	21,00
CAP.07.	Cubiertas	2.241,50	43,11	7,00
CAP.08.	Instalaciones	6.084,05	117,00	19,01
CAP.09.	Aislamientos	3.077,11	59,18	9,61
CAP.10.	Revestimientos	5104,34	98,16	15,95
CAP.11.	Carpint. y elmts. de seg. y protección	3.443,37	66,22	10,76
CAP.12.	Vidrios	201,19	3,87	0,63
CAP.13.	Pinturas	2.172,88	41,79	6,79
CAP.17.	Gestión de RCDs	58,31	0,78	0,18
<b>Total</b>		<b>32.003,53</b>	<b>615,45</b>	<b>100</b>

### 8.2.2. Materiales

A partir de la medición y el BCRR de Chile se obtienen la cantidad de materiales totales que se emplean para construir el proyecto en cuestión, se aplica el coeficiente de paso y la densidad y se obtienen las cantidades totales según su peso en kg., lo cual se refleja en la Tabla 8.22 agrupadas por familias de materiales. El total de materiales del proyecto es de 34.503,17 kg y si lo aplicamos a la superficie construida de la vivienda se emplean 663,52 kg/m<sup>2</sup>.

Tabla 8.22: Consumo de materiales

<b>Familias de materiales</b>	<b>Peso total (kg)</b>	<b>Peso unit. (kg/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Porcent. sobre peso total (%)</b>
Acero	719,15	13,83	2,04
Aluminio	73,24	1,41	0,21
Áridos	9610,52	184,82	27,85
Asfalto	395,70	7,61	1,15
Cemento	891,16	17,14	2,58
Cerámico	1375,13	26,44	3,99
Cobre	20,06	0,39	0,06
Escayolas - Yesos	1020,44	19,62	2,96
Fibrocem. NT	514,52	9,89	1,49
Hormigón	15319,35	294,60	44,40
Latón	63,50	1,22	0,18
Madera	4107,97	79,00	11,66
Pintura	349,67	6,72	0,75
Plástico ABS	2,45	0,05	0,01
Porcelana	68,15	1,31	0,20
Poliestireno	196,29	3,77	0,57
Polietileno	204,02	3,92	0,59
Polipropileno	42,00	0,81	0,12
PVC	75,29	1,45	0,21
Sellantes: bitum., caucho res. epoxi, siliconas, etc.	128,12	2,46	0,36
Vidrios	33,64	0,65	0,10
Zinc	10,51	0,20	0,03
Varios	84,63	1,63	0,24
<b>Total</b>	<b>34503,17</b>	<b>663,52</b>	<b>100</b>

Para obtener la HE a continuación se aportan los datos clasificados según su impacto: fabricación, transporte de los materiales de puerta a puerta y transporte de RCDs desde la obra hasta la gestora de residuos más cercana.

### **Fabricación**

En primer lugar se obtienen los resultados de emisiones de CO<sub>2</sub> de los materiales, a partir del peso (kg) (Tabla 8.22) y de los factores de emisión de cada material. En la Tabla 8.23 se agrupan los materiales por familias, los factores de emisión no se incluyen ya que son particulares de cada material y por tanto no hay un dato único por familia, éstos se pueden consultar en los **ANEXOS**. Las emisiones totales procedentes de la fabricación de materiales es de 6.680,29 kgCO<sub>2</sub>. Además se aporta el dato de emisiones de kgCO<sub>2</sub> por m<sup>2</sup> de superficie construida de la vivienda, el total es de 128,47 kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>.

Tabla 8.23: Emisiones de CO<sub>2</sub> en la fabricación de los materiales de proyecto

Familias de materiales	Emisiones totales (kgCO <sub>2</sub> )	Emisiones unitarias (kgCO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> )	Porcent. sobre peso total (%)
Acero	3788,92	72,86	56,72
Aluminio	706,61	13,59	10,58
Áridos	19,22	0,37	0,29
Asfalto	192,31	3,70	2,88
Cemento	734,35	14,12	10,99
Cerámico	330,25	6,35	4,94
Cobre	81,52	1,57	1,22
Escayolas - Yesos	333,85	6,42	5,00
Fibrocem. NT	402,87	7,75	6,03
Hormigón	1685,13	32,41	25,23
Latón	246,16	4,73	3,68
Madera	-4478,83	-86,13	-67,05
Pintura	579,95	11,15	7,05
Plástico ABS	10,51	0,20	0,16
Porcelana	153,88	2,96	2,30
Poliestireno	771,91	14,84	11,56
Polietileno	438,82	8,44	6,57
Polipropileno	83,63	1,61	1,25
PVC	167,46	3,22	2,51
Sellantes: bitum., caucho res. epoxi, siliconas, etc.	205,16	3,07	3,07
Vidrios	71,63	1,38	1,07
Zinc	33,26	0,64	0,50
Varios	230,44	4,43	3,45
<b>Total</b>	<b>6680,29</b>	<b>128,47</b>	<b>100</b>

## Transporte

Para el cálculo del transporte se necesitan:

- Peso de materiales clasificados por familias en toneladas, se parte del dato de los materiales en kg, (ver Tabla 8.22), que se transforman en toneladas y se adjunta en la Tabla 8.24.
- Datos del vehículo para el transporte de materiales, en este caso es un camión con una capacidad máxima de 24t, con motor de gasoil y con un consumo medio de 26l/100km.
- Datos de procedencia de materiales y distancias a la obra, ver Tab.7.25 y 7.26, en el apartado 7.10.3.

Se realiza el cálculo de los camiones para las 17 viviendas que se construyen en el Condominio y se repercute para una vivienda. Tenemos 41 camiones en total y un total de combustible consumido de 5309,20

l, al repercutirlo por vivienda tenemos 312.31 l de gasoil. Finalmente se obtienen las emisiones de CO2 totales y la huella.

Tabla 8.24: Cálculo de consumo de gasoil del transporte

<b>Familias de materiales</b>	<b>Peso total (t) (1 viv.)</b>	<b>Número camiones (17 viv.)</b>	<b>Dist. total (km)</b>	<b>Consumo gasoil (l) (17 viv.)</b>	<b>Consumo gasoil (l) (1 viv.)</b>
Acero	0,72	1	600	156,00	9,18
Aluminio	0,07	1	600	156,00	9,18
Áridos	9,61	7	20	36,40	2,14
Asfalto	0,40	1	1400	364,00	21,41
Cemento	0,89	1	600	156,00	9,18
Cerámico	1,38	1	1400	364,00	21,41
Cobre	0,02	1	600	156,00	9,18
Escay.- Yesos	1,02	1	600	156,00	9,18
Fibrocem. NT	0,51	1	1400	364,00	21,41
Hormigón	15,32	11	20	57,20	3,36
Latón	0,06	1	600	156,00	9,18
Madera	4,11	3	20	15,60	0,92
Pintura	0,35	1	600	156,00	9,18
Plástico ABS	0,002	1	1400	364,00	21,41
Porcelana	0,07	1	1400	364,00	21,41
Poliestireno	0,20	1	1400	364,00	21,41
Polietileno	0,20	1	1400	364,00	21,41
Polipropileno	0,04	1	1400	364,00	21,41
PVC	0,08	1	1400	364,00	21,41
Sellantes	0,14	1	1400	364,00	21,41
Vidrios	0,03	1	600	156,00	9,18
Zinc	0,03	1	600	156,00	9,18
Varios	0,01	1	600	156,00	9,18
<b>Total</b>	<b>35,19</b>	<b>41</b>	<b>20.060</b>	<b>5.309,20</b>	<b>312,31</b>

## RCDs

A partir de los porcentajes de reciclaje de cada material se obtienen las cantidades de RCDs que se recogen en la tabla 8.25. Los materiales se agrupan por familias según el tratamiento de los residuos, se especifica el porcentaje de material que se recicla y se obtienen así las cantidades de RCDs que se transportan a la planta gestora. Se considera un camión de 24 t. para su transporte, según las cantidades de material de cada familia se necesita 1 camión por familia de RCDs. El total de camiones, por tanto, es 7, y el consumo de combustible total es de 109,20 l. según los datos expuestos en la Tabla 8.26.



Tabla 8.25: Cantidades de RCDs

Familias materiales según reciclado	Porcentaje residuo (%)	Cantidades RCDs		
		(kg)	(t)	(m <sup>3</sup> )
<b>Metales y aleaciones</b>				
Acero	1,00	6,11	0,0061	2,18
Aluminio	5,00	0,42	0,0004	0,00
Cobre	1,00	0,20	0,0002	0,01
Latón	1,00	0,19	0,0002	0,00
Zinc	5,00	0,53	0,0005	0,00
<b>Total</b>	-	<b>7,45</b>	<b>0,007</b>	<b>2,19</b>
<b>Áridos y piedras naturales</b>				
Áridos	1,00	96,11	0,0961	0,06
<b>Total</b>	-	<b>96,11</b>	<b>0,096</b>	
<b>Cerámicos</b>				
Cerámico	6,00	80,77	0,0808	0,005
<b>Total</b>	-	<b>80,77</b>	<b>0,081</b>	<b>0,005</b>
<b>Madera</b>				
Madera	5,00	201,43	0,201	0,37
<b>Total</b>	-	<b>201,43</b>	<b>0,201</b>	<b>0,37</b>
<b>Plásticos y sintéticos</b>				
Plástico ABS	5,00	0,12	0,0001	0,001
Poliestireno	5,00	9,81	0,010	0,65
Polietileno	5,00	10,21	0,010	0,01
Polipropileno	5,00	2,10	0,002	0,002
PVC	1,00	0,68	0,001	0,0005
Sellantes: bitum., caucho res. epoxi, siliconas, etc.	5,00	3,01	0,003	0,852
<b>Total</b>	-	<b>25,93</b>	<b>0,023</b>	<b>1,52</b>
<b>Hormigón, cemento y cales</b>				
Hormigón	5,00	765,97	0,766	0,32
Cemento	5,00	44,56	0,045	0,04
<b>Total</b>	-	<b>810,53</b>	<b>0,811</b>	<b>0,36</b>
<b>Mezclados</b>				
Asfalto	1,00	3,96	0,004	0,00
Escayolas - Yesos	5,00	51,02	0,051	1,26
Fibrocem. NT	5,00	25,73	0,026	0,01
Porcelana	2,00	1,36	0,001	0,00
Vidrios	2,00	0,67	0,001	0,00
<b>Total</b>	-	<b>82,74</b>	<b>0,083</b>	<b>1,27</b>

Tabla 8.26: Consumo de combustible en el transporte de RCDs

Número camiones transp. RCDs	Distancia total (km.)	Consumo gasoil medio camión (l/100km.)	Total consumo gasoil (l)
7	420	26,00	109,20

**8.2.3. Mano de obra**

A partir de la medición y el BCRR de Chile se obtiene la cantidad de mano de obra total que se necesita para construir el proyecto, denominada: mano de obra directa o MOD. En la Tabla 8.27 se desglosa el tipo de personal, según su categoría profesional, codificado según BCCA y su consumo en horas. Se incluye también en la MOD el personal que manipula la maquinaria tanto de combustible como eléctrica. La cantidad de horas de la mano de obra de la maquinaria se obtienen de las horas de la maquinaria de la medición. Por otro lado, se contabiliza la mano de obra que se calcula con los costes indirectos del proyecto, se pueden consultar los costes indirectos del proyecto en la Tabla 7.27, y en la Tabla 8.28 se desglosa la mano de obra indirecta con las cantidades en horas. Para el caso de los CI se calculan para las 17 viviendas del condominio y el total se repercute a cada vivienda. En la Tabla 8.29 se incluye el total de horas de la mano de obra directa (MOD), 733.50 h., e indirecta (MOI), 99.71 h., su consumo unitario por unidad de superficie construida de vivienda y el porcentaje que representa cada una de ellas sobre el total, los cuales son 14,11 y 1,92 h/m<sup>2</sup> y 88 y 12 % respectivamente.

Tabla 8.27: Total de horas de mano de obra directa obtenida de la medición de proyecto

<b>Código</b>	<b>Mano de obra CD</b>	<b>Cantidad (h)</b>
TA00200	Ayudante especialista	7,87
TA00300	Ayudante carpintería	131,22
TO00300	Of. 1 <sup>a</sup> colocador	23,80
TO00400	Of. 1 <sup>a</sup> encofrador	9,03
TO00600	Of. 1 <sup>a</sup> ferrallista	3,89
TO00700	Of. 1 <sup>a</sup> impermeabilizador	2,05
TO00900	Of. 1 <sup>a</sup> montador	18,00
TO01000	Of. 1 <sup>a</sup> pintor	69,92
TO01100	Of. 1 <sup>a</sup> solador	14,02
TO01400	Of. 1 <sup>a</sup> calefactor o mecánico	2,45
TO01500	Of. 1 <sup>a</sup> carpintería	141,14
TO01600	Of. 1 <sup>a</sup> cerrajero-chapista	1,99
TO01700	Of. 1 <sup>a</sup> cristalero	3,99
TO01800	Of. 1 <sup>a</sup> electricista	16,00
TO01900	Of. 1 <sup>a</sup> fontanero	30,45
TO02000	Of. 1 <sup>a</sup> instalador	7,17
TO02100	Oficial 1 <sup>a</sup>	82,80
TO02200	Oficial 2 <sup>a</sup>	11,41
TP00100	Peón especial	153,57
<b>TOTAL MOD</b>		<b>730,77</b>
	Maquinaria combustible	3,03
	Maquinaria eléctrica	0,50
<b>TOTAL MOD</b>		<b>734,29</b>

Tabla 8.28: Total de horas de mano de obra obtenida de los costes indirectos de proyecto

Mano de obra indirecta (MOI)	Consumo (17 viv.) (h)	Consumo (1 viv.) (h)
<b>C121. Personal obra indirecto</b>		
Encargado	449,03	26,41
Guardería y>Listeros	224,51	13,21
<b>C1221. Personal medios auxiliares</b>		
Personal transporte interior	12,82	0,75
Personal de limpieza general y regado	23,64	1,39
Recogida y transp. de útiles y herraam.	21,36	1,26
<b>C1232. MO instal. complem.</b>		
Acometida de Electricidad	32,82	1,93
Acometida de Agua y Saneamiento	6,56	0,39
Tendido Eléctrico	21,88	1,29
Instalación Provisional de Agua	4,38	0,26
<b>C1241. Personal técnico</b>		
Jefe de Obra	449,03	26,41
<b>C1242. Admin. adscritos a la obra</b>		
Administrativos	449,03	26,41
<b>Total</b>	<b>1695,05</b>	<b>99,71</b>

Tabla 8.29: Mano de obra total necesaria para la construcción del proyecto

Mano de obra	Consumo (h)	Cons. unitario (h/m <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)
<b>Total MOD</b>	734,29	14,05	88
<b>Total MOI</b>	99,71	1,92	12
<b>Total</b>	<b>833,20</b>	<b>16,02</b>	<b>100</b>

A continuación se cuantifica el impacto de la mano de obra, según los alimentos consumidos en la jornada laboral y los RSU generados a partir de su actividad.

## Alimentos

Los resultados de los alimentos de la mano de obra se recogen en la tabla 8.30,

Tabla 8.30: HE de los alimentos de Chile

HE alimentos	(hag/persona/día)
HE energía	0,000
HE pastos	0,0008
HE mar	0,0003
HE cultivos	0,0016

**RSU**

Los RSU generados se recogen en la Tabla 8.31, a partir de las horas totales de mano de obra se les aplica la generación anual de RSU de kg. por persona y año, se transforman en toneladas por persona y hora y finalmente se obtienen los RSU totales, 0,05 t.

Tabla 8.31: Cantidad de RSU

<b>Cantidad mano obra (h)</b>	<b>Generación anual (kg/persona/año)</b>	<b>Generación hora (t/persona/hora)</b>	<b>Total RSU (t)</b>
851,94	384	6,58 E-05	<b>0,06</b>

**8.2.4. Maquinaria**

A partir de la medición y el BCCR de Chile se obtiene la cantidad de maquinaria tanto de combustible como eléctrica que se necesita para construir el proyecto. La maquinaria de combustible se recoge en la Tabla 8.32, a partir de las horas se aplica la potencia del motor (kW) y el rendimiento del mismo (l/kWh) para obtener el consumo final de combustible (l) que en este caso es de 102,33 l. La maquinaria eléctrica utilizada en la obra se refleja en la Tabla 8.33, al total de horas se aplica la potencia del motor (kW) y se obtiene el consumo total que es de 0.25 kWh. De los costes indirectos del proyecto (ver 7.27), se obtienen también maquinaria eléctrica que se incluye en la tabla 8.34, se calcula en primer lugar para las 17 viviendas del condominio y el total se repercute a una sola vivienda, el total es de 28.71 kWh. En la tabla 8.35 se resume la cantidad de maquinaria total, 21.45 h., así como el consumo unitario y el porcentaje de la de combustible, y la eléctrica directa e indirecta, siendo sus valores, 0.06, 0.01 y 0.035 h/m<sup>2</sup> y 14, 2 y 84 % respectivamente.

Tabla 8.32: Maquinaria de combustible obtenida de las mediciones de proyecto. Tipos y consumos

<b>Código</b>	<b>Maquinaria combustible</b>	<b>Cant. (h)</b>	<b>Pot. (kW)</b>	<b>Cons. (kWh)</b>	<b>Rend. (l/kWh)</b>	<b>Cons. (l)</b>
ME00300	Pala cargadora	0,20	120,00	45,98	0,20	9,20
ME00400	Retroexcavadora	0,80	67,00	53,82	0,20	10,76
MK00100	Camión basc.	0,63	250,00	152,78	0,20	30,56
MK00200	Camión cisterna	0,01	250,00	2,96	0,20	0,59
MR00200	Pisón mec. man.	1,18	2,60	0,00	0,40	0,00
MR00400	Rulo vibratorio	0,03	85,00	256,09	0,20	51,22
<b>Total</b>		<b>2,84</b>	<b>774,60</b>	<b>494,48</b>	<b>1,40</b>	<b>98,90</b>

Tabla 8.33: Maquinaria eléctrica obtenida de las mediciones de proyecto. Tipos y consumos

Código	Maquinaria eléctrica	Cantidad (h)	Potencia (kW)	Consumo (kWh)
MV00100	Vibrador	0,50	0,50	0,25
<b>Total</b>		<b>0,50</b>	<b>0,50</b>	<b>0,25</b>

Tabla 8.34: Maquinaria eléctrica obtenida de los costes indirectos. Tipos y consumos

Maquinaria eléctrica indirecta	Cantidad (17 viv.) (h)	Potencia (kW)	Consumo (17 viv.) (kWh)	Consumo (1 viv.) (kWh)
<b>C1223. Maquinaria, útiles y herram.</b>				
Cortadoras	305	1,6	488	28,71
<b>Total</b>	<b>305</b>		<b>488</b>	<b>28,71</b>

Tabla 8.35: Consumo de maquinaria del proyecto

Maquinaria	Consumo (h)	Con. unit. (h/m <sup>2</sup> )	Porcentaje (%)
Combustible	3,03	0,06	14
Eléctrica	0,50	0,01	2
Eléctrica (CI)	17,94	0,35	84
<b>Total</b>	<b>21,47</b>	<b>0,41</b>	<b>100</b>

### 8.2.5. Electricidad

A partir de los datos generales de obra y de los datos de organización de la obra que se recogen en los costes indirectos se obtienen los consumos de electricidad en obra en la Tabla 8.36 y de agua en la Tabla 8.37.

Tabla 8.36: Consumo de electricidad en obra

Electricidad de obra	Consumo (kWh)
Casetas de obra	198,97
Iluminación de obra y pruebas de instal.	135,20
<b>Total</b>	<b>334,17</b>

**8.2.6. Agua**

A partir del dato de volumen de consumo de agua anual por unidad de superficie construida, la superficie construida de proyecto y el plazo de ejecución de obra, se obtiene el consumo de agua total, en este caso 10,40 m<sup>3</sup>.

Tabla 8.37: Agua consumida en obra

<b>Agua de obra</b>	<b>Consumo (l)</b>
Csta, Volumen de consumo anual (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> /año)	0,34
Superficie construida (m <sup>2</sup> )	52,00
Plazo de ejecución obra (años)	0,59
<b>Csta, Volumen de consumo final (m<sup>3</sup>)</b>	<b>10,40</b>

**8.2.7. Huellas parciales y HE total**

A continuación en la Tabla 8.38 se recogen los resultados de la HE del proyecto de Chile, se distinguen las huellas parciales y se diferencian según las fuentes de impacto, según su clasificación por recursos de proyecto, maquinaria, mano de obra y materiales, en ellos están incluidos los datos obtenidos de los costes indirectos, los cuales ya se han desglosado y explicado detenidamente en los resultados de cada recurso. Además del agua, electricidad y la ocupación. Se incluyen además los datos por unidad de superficie construida (m<sup>2</sup>), los cuales son muy útiles para poder realizar comparativas con otros proyectos. La HE total del proyecto es de 3,49 hag y 0,07 hag/m<sup>2</sup>. Lo cual es un valor bastante bajo, lo cual se debe principalmente al uso de la madera en un alto porcentaje del total del proyecto.

Tabla 8.38: Huella parciales y totales según las fuentes de impacto

FUENTES DE IMPACTO	TIPOS DE HUELLA (hag)					
	Energía	Bosques	Pastos	Mar	Cultivos	Sup. consum.
<b>Maquinaria</b>						
Combustible	0,214	-	-	-	-	-
Eléctrica	3,78E-03	-	-	-	-	-
<b>Mano de obra</b>						
Alimentos	0,018	-	0,043	0,068	0,160	-
RSU	0,004	-	-	-	-	-
<b>Materiales</b>						
Fabricación	1,780	0,854	-	-	-	-
Transporte	0,282	-	-	-	-	-
RCD	0,004	-	-	-	-	-
<b>Agua</b>	0,001	-	-	-	-	-
<b>Electricidad</b>	0,044	-	-	-	-	-
<b>Ocupación directa</b>	-	-	-	-	-	0,007
<b>HE parcial (hag)</b>	<b>2,28</b>	<b>0,85</b>	<b>0,04</b>	<b>0,07</b>	<b>0,16</b>	<b>0,01</b>
<b>HE parcial (hag/m<sup>2</sup>)</b>	<b>0,04</b>	<b>0,02</b>	<b>8,19 E-04</b>	<b>1,31 E-03</b>	<b>3,07 E-03</b>	<b>1,26 E-04</b>
<b>HE TOTAL (hag)</b>			<b>3,49</b>			
<b>HE TOTAL (hag/m<sup>2</sup>)</b>			<b>0,07</b>			

En la gráfica de la Fig 8.27 se ve que la energía es la huella parcial con mayor importancia, siendo en este caso un 67,70 % sobre el total, en segundo lugar con un valor bastante alto 26,69 % la huella de bosques, los cultivos representan un 3,21 y los pastos y el mar un 1,56 y 0,64 % respectivamente. La superficie ocupada tiene un valor mínimo de 0,20 %. Estos resultados se deben a la alta presencia de la madera en el proyecto chileno, que es la que produce la huella de bosques, lo cual no sucede en los proyectos de España.

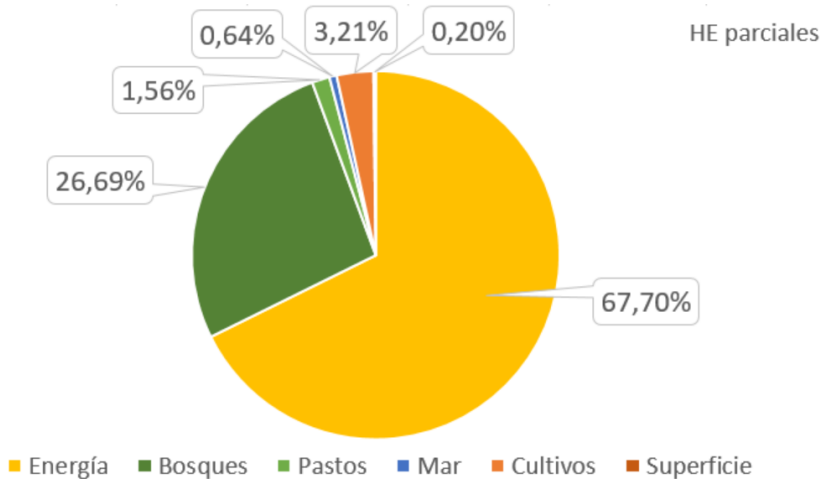


Figura 8.27: HE según huellas parciales

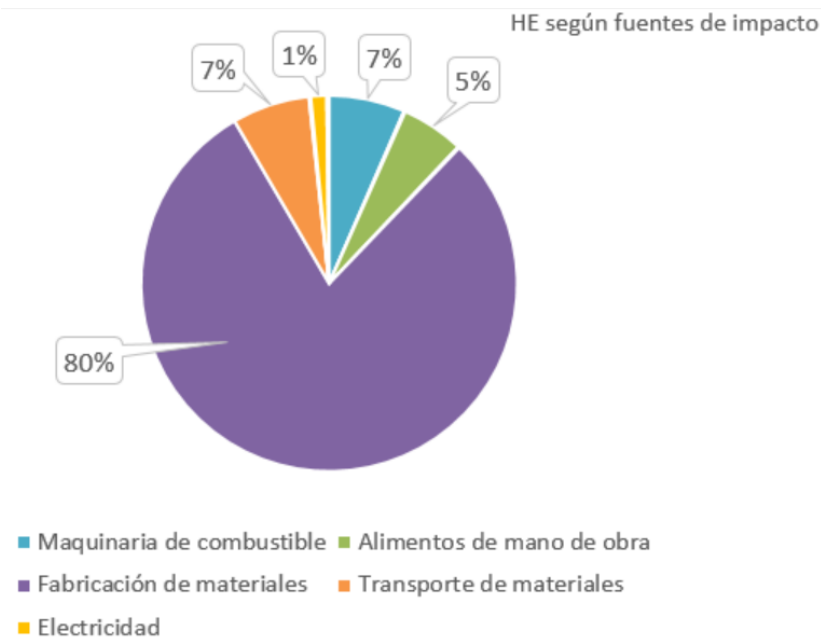


Figura 8.28: HE según fuentes de impacto

En la Fig 8.28 se representa la huella por impactos, el 80% lo produce la fabricación de materiales, seguido con mucha diferencia con un 7% la maquinaria de combustible y el transporte de los materiales. La alimentación de los trabajadores supone un 5% y la electricidad de obra un 1%, el resto de impactos están por debajo del 1% y no se representan



en la gráfica. En Chile las distancias son especialmente importantes, lo cual repercute en la huella del transporte. La huella de la mano de obra está entre los cinco impactos a tener en cuenta, por lo tanto, es un factor a tener en cuenta. No se va a dejar de contratar persona ni vamos a decir que dejen de comer, simplemente hay que cuantificarlo para valorar todos los factores, y poder gestionar mejor la HE del proyecto que se analiza. Lo más importante ya que produce mayor impacto en el proyecto es la fabricación de los materiales, por tanto se deberían de tener en cuenta los procesos de fabricación y las emisiones que se producen a la hora de seleccionar un material para el proyecto.

### 8.2.8. Huella por capítulos

Se propone el análisis del proyecto según la división en capítulos con la clasificación sistemática del BCCA. Se realiza, por tanto, un estudio pormenorizado de los recursos empleados para cada fase, a partir del presupuesto y la HE. Así se puede decidir a nivel de proyecto si nos interesa una solución constructiva diferente a la propuesta, qué material es más conveniente, cómo gestionar la mano de obra o qué maquinaria utilizar y todo ello no sólo desde el punto de vista de su coste sino también desde el impacto en el medio ambiente.

En la huella por capítulos no se incluyen los datos procedentes de los costes indirectos ni de los datos generales, ya que éstos se imputan al total y no se desglosan por capítulos.

Se estudian a nivel de capítulos los recursos obtenidos directamente de la medición y presupuesto del proyecto, es decir, materiales, mano de obra y maquinaria. A continuación se analiza la HE de los mismos. En los materiales se incluye la fabricación y el transporte, los RCDs se tratan como un capítulo de proyecto. En la mano de obra se consideran los alimentos y los RSU y en la maquinaria se tiene en cuenta los dos tipos: combustible y eléctrica. Cuando algún capítulo no aparece es porque no existen recursos en el mismo.

Se realizan varios análisis:

- En primer lugar, la relación entre HE total y PEM por capítulos en la Fig. 8.29, Tabla 8.39.
- Desglose de la HE de cada capítulo en los recursos: materiales, mano de obra y maquinaria y su relación con el PEM en la Fig. 8.29.
- Comparativa entre HE y peso en kg de los materiales del proyecto en la Fig. 8.31.

- Desglose de la HE de los materiales según su impacto: fabricación y transporte en la Fig. 8.32.
- Y finalmente, el estudio pormenorizado de los materiales en los capítulos más relevantes, desde el punto de vista de su importancia según el peso (kg) que representa dentro del proyecto en la Fig.8.34 y según el punto de vista de la HE en la Fig. 8.33.

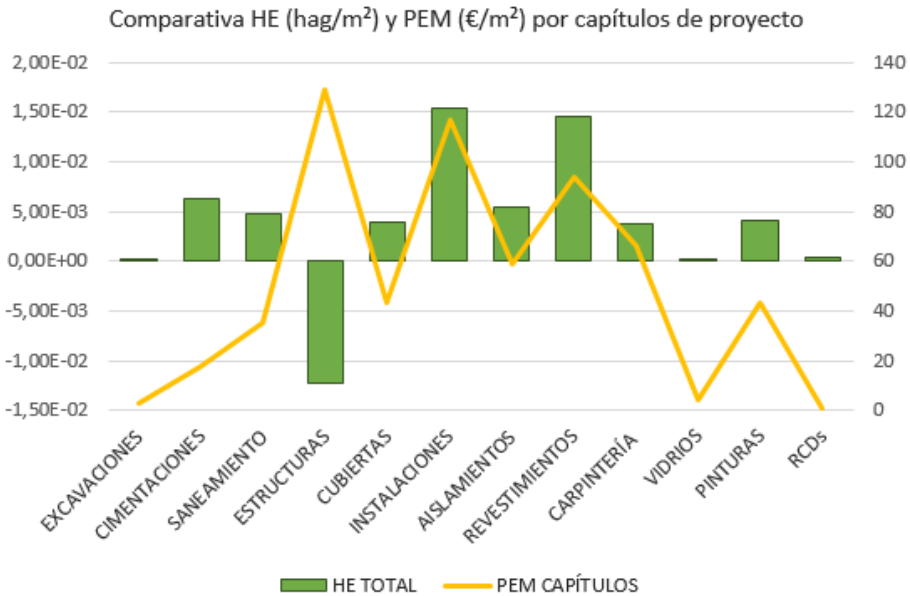


Figura 8.29: HE de los recursos directos(hag/m<sup>2</sup>) y PEM (€/m<sup>2</sup>) del proyecto por capítulos

Se puede ver la relación entre huella total de cada capítulo (sumatorio de materiales, mano de obra y maquinaria) y el presupuesto del proyecto en la Fig. 8.29 y en la Tabla 8.39 se especifican los datos de PEM y HE totales y unitarios (m<sup>2</sup>) y los porcentajes que representan los porcentajes por capítulos de proyecto . Se dan diferentes casos en la relación HE y PEM:

- El primer grupo son capítulos dónde la relación HE y PEM es similar, como son las instalaciones y los revestimientos con un alto impacto ambiental, representando un 19,01 y 15,95 % y alto coste con 37,91 y 34,54 % sobre los totales de proyecto respectivamente.
- Los capítulos de las excavaciones, los vidrios y los RCDs coinciden

con los valores más bajos tanto en HE, 0,43, 0,63 y 0,18 %, como en PEM, 0,34, 1,26 y 1,29 % respectivamente.

- Los capítulos de cimentaciones y saneamiento tienen una relación inversa entre el PEM y la HE, ya que son capítulos de bajo coste, representando un 2,87 y 5,76 % sobre el total y alto impacto ambiental, 14,95 y 11,48 %, respectivamente.
- Con valor intermedio dentro del proyecto, tanto en HE como en PEM, son las cubiertas, los aislamientos, carpintería y pinturas.
- Y finalmente el capítulo de estructuras que es el de menor impacto ambiental, con huella negativa, -37,36 %, que por el contrario es el de mayor coste, representando el 21 % del PEM del proyecto.

Tabla 8.39: Datos de PEM y HE totales, unitarios y porcentajes por capítulos

CAP.	CONCEPTO	PEM (€/m <sup>2</sup> )	Porcent. PEM (%)	HE (hag)	HE (hag/m <sup>2</sup> )	Porcent. HE (%)
02	Excavaciones	2,63	0,43	0,01	1,44E-04	0,34
03	Cimentaciones	17,69	2,87	0,33	6,38E-03	14,95
04	Saneamiento	35,45	5,76	0,25	4,90E-03	11,48
05	Estructuras	129,25	21,00	-0,83	-1,59E-02	-37,36
07	Cubiertas	43,11	7,00	0,21	4,08E-03	9,56
08	Instalaciones	117,00	19,01	0,84	1,62E-02	37,91
09	Aislamientos	59,18	9,61	0,28	5,46E-03	12,81
10	Revestimientos	98,16	15,95	0,77	1,47E-02	34,54
11	Carpintería y elmts. seg. y protecc.	66,22	10,76	0,20	3,87E-03	9,06
12	Vidrios	3,87	0,63	0,03	5,38E-04	1,26
13	Pinturas	41,79	6,79	0,09	1,78E-03	4,16
17	Gestión RCDs	1,12	0,18	0,03	5,51E-04	1,29
<b>Total</b>	<b>PEM</b>	<b>615,45</b>	<b>100</b>	<b>2,22</b>	<b>0,043</b>	<b>100</b>

En la Fig. 8.30 se analiza y compara la HE de los tres recursos: materiales, mano de obra y maquinaria y su relación con el presupuesto de proyecto.

El recurso de mayor importancia en la mayoría de los capítulos es el de los materiales que representa el 87,28 % de la HE. La mano de obra y la maquinaria tienen valores mucho menores de huella e intervienen en un porcentaje bastante bajo en casi todos los capítulos, con un 11,17 % y 1,56 % sobre la HE total respectivamente.

Casi todos los capítulos consumen materiales a excepción del 02 de excavaciones y el 17 de RCDs. En el resto la HE de materiales es superior

a la HE de mano de obra o HE de maquinaria excepto en el capítulo de vidrios dónde se iguala la HE de los materiales a la de la mano de obra.

Los capítulos con mayor HE de materiales son las instalaciones y revestimientos representando un 36,48 y 32,52 % respectivamente sobre el total de HE, estando además entre los capítulos de mayor coste. Los de menos HE de materiales son el capítulo de vidrios, carpintería y cubiertas, con un valor de 1,20, 7,35 y 8,86 %, teniendo además los vidrios uno de los costes más bajos del total un 0,63 % sobre el PEM, las cubiertas representan un coste intermedio-alto, un 7 %, y la carpintería es uno de los más altos con un 10,76 % sobre el PEM. Por otro lado, el capítulo de cimentaciones es un caso diferente con valor de HE intermedio-alto, 14,57 % y con poco coste 2,87 %. Y como caso particular en el capítulo 5 de estructuras la huella de los materiales es negativa y por el contrario es el capítulo con mayor peso dentro del presupuesto de obra, representando un 21 %. EL resto de capítulos tienen una relación HE y PEM similar, y se mantienen en los valores intermedios en ambos casos.

Para entender que sucede en cada capítulo es necesario conocer, en este caso, los materiales que en ellos intervienen.

No hay una relación proporcional entre HE y PEM en los materiales, para poder averiguar el porqué de los valores altos se analizan los capítulos más significativos, en este caso se seleccionan las instalaciones y revestimientos, por su alto valor de HE y las estructuras por ser uno de los capítulos de más peso y PEM y sin embargo de menor HE.

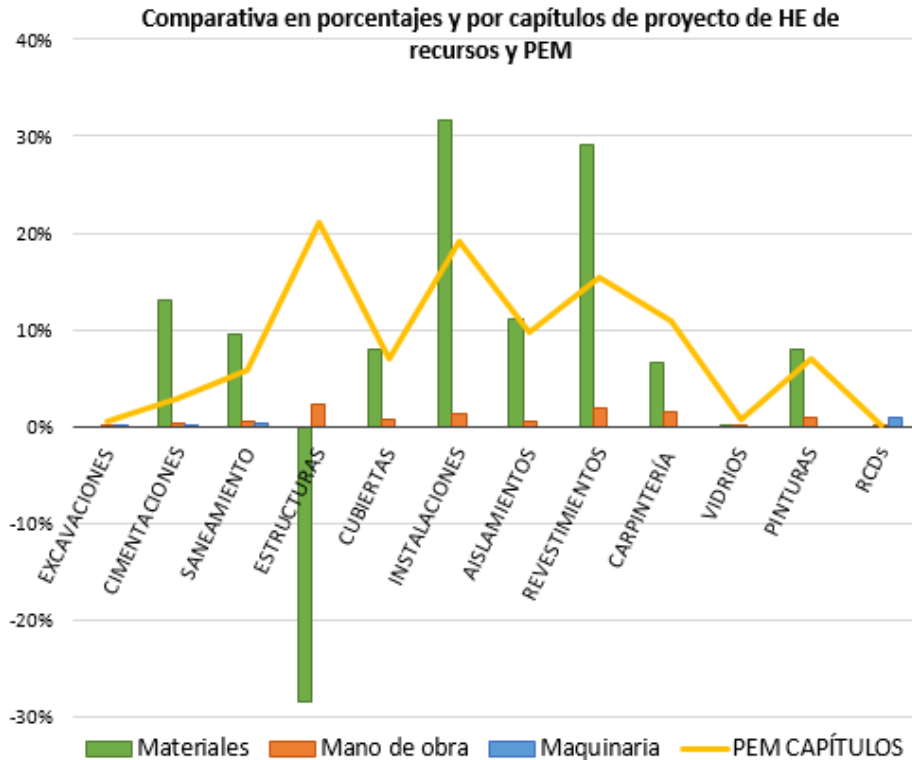


Figura 8.30: Comparativa en porcentajes de HE desglosada de los recursos del proyecto y PEM por capítulos

La mano de obra se emplea en todos los capítulos y se observa que el capítulo de estructuras es el que más cantidad de operarios emplea ya que es el de mayor HE de mano de obra un 2,48 %, seguido de los revestimientos 2,02 %, la carpintería 1,71 % y las instalaciones 1,43 %, y los que menos mano de obra necesitan y tienen menor HE son las excavaciones, los vidrios y los RCDs en último lugar. Desde el punto de vista del PEM ya se ha definido que el de mayor valor son las estructuras y el de menos valor la Gestión de RCDs. En el caso de la mano de obra existe una relación directamente proporcional entre la HE de este recurso y el presupuesto del proyecto, lo cual no sucede en el caso de los materiales.

Esto nos hace reflexionar que se pueden definir soluciones constructivas donde se necesite menos mano de obra, o utilizar elementos prefabricados, por ejemplo, todo ello influye sobre todo al coste, no tanto en la HE.

La maquinaria es un recurso menos utilizado, y sólo aparece en capítulos muy específicos, en los RCDs es un 1,07 % del total de la HE, con

el valor más alto de HE de maquinaria, con menor HE están el saneamiento 0,26 % y excavaciones 0,23 % y con un valor de HE mínimo la cimentación representando un 0,004 %. Los capítulos que contienen maquinaria, por el contrario, son de bajo coste, 0,18 %, 5,17 %, 0,43 % y 2,87 % respectivamente.

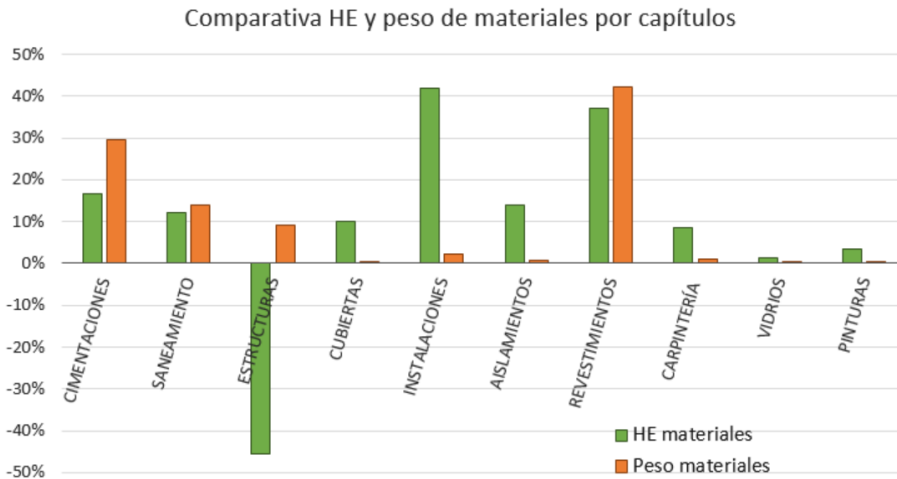


Figura 8.31: Comparativa en porcentajes por capítulos de proyecto de la importancia de los materiales según HE y peso (kg)

Al ser los materiales el recurso que produce mayor impacto se realiza un estudio más pormenorizado del mismo, con el fin de poder conocer cuales son los factores que influyen en la huella que determina prácticamente el 80 % de la total del proyecto y tener así las herramientas adecuadas para poder reducir dicho impacto.

En primer lugar se realiza una comparativa entre el peso de los materiales en cada capítulo y la HE en la Fig. 8.31. Se analiza la importancia de los materiales según su valor en peso (kg), se utiliza el peso por ser una forma de unificar y poder así cuantificar y determinar qué materiales conforman el proyecto y compararlo con la HE de los mismos en cada capítulo.

Los capítulos de mayor peso son en primer lugar los revestimientos y en segundo lugar las cimentaciones, saneamiento y con menor valor la estructura, el resto tienen valores mínimos. Sin embargo no ocurre lo mismo con la HE, es decir, los materiales de mayor peso no tienen porque ser los que producen más huella. El capítulo de mayor huella es el de instalaciones, que es uno de los capítulos con menor presencia en peso, esto se debe al empleo de materiales con poco peso o en poca

cantidad, pero con un factor de emisión de  $\text{kgCO}_2$  por  $\text{kg}$  muy alto, lo cual se analiza posteriormente en el desglose de materiales. A continuación le sigue el capítulo de revestimientos, que sí tiene un valor similar en cuanto a importancia de peso y HE. Las cimentaciones y el saneamiento son tercero y cuarto en impacto HE y también son uno de los capítulos de mayor peso, es decir que sus materiales tienen una relación peso/HE homogénea. Los capítulos de aislamientos, cubiertas y carpinterías, tienen un alto valor de HE y sin embargo muy poco peso sobre el total de materiales de proyecto. Los vidrios y pinturas tienen en los dos casos poco impacto y muy poco peso sobre el total. Sin embargo las pinturas tiene un valor de huella alto en comparación con su poco peso, esto se debe a que se utilizan materiales con un factor de emisiones de  $\text{kgCO}_2$  por  $\text{kg}$  bastante alto. Y finalmente el capítulo de estructuras presenta la particularidad del menor valor de HE, negativo, y es el cuarto capítulo dentro del peso del total, lo cual se debe al empleo de la madera como material principal para la estructura, lo cual se justificará en un análisis más detallado.

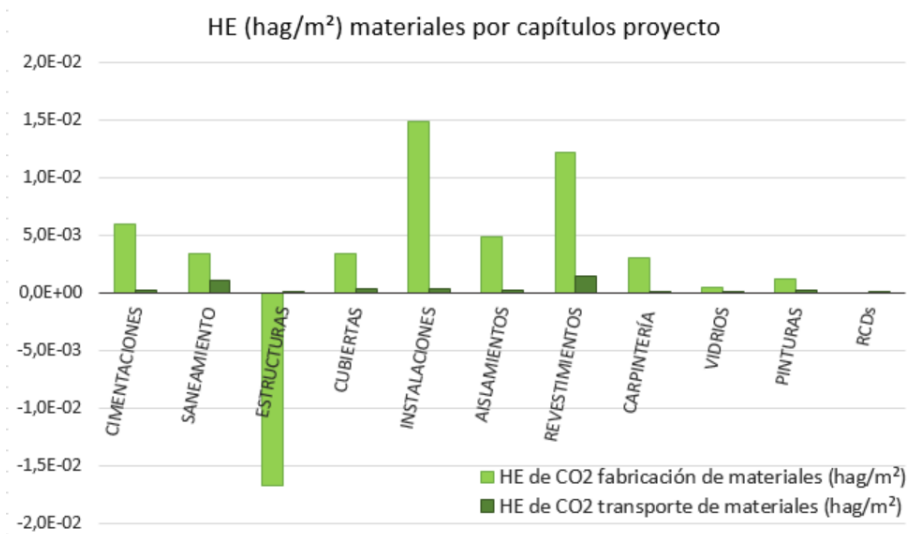


Figura 8.32: Comparativa de HE de fabricación y transporte de los materiales por capítulos de proyecto

Para conocer de donde proviene la HE de los materiales, se propone el estudio del impacto de los mismos, por tanto se desglosa la HE según sea producida por la fabricación o el transporte de los materiales de la fábrica a la obra en la Fig. 8.32 y se analiza su relación por capítulos. Se observa que la HE de la fabricación de los materiales es muy superior

a la del transporte. Los capítulos de instalaciones y revestimiento destacan en su HE de fabricación muy por encima del resto, lo cual se debe a la utilización de materiales con un proceso de fabricación muy contaminante. Le siguen las cimentaciones y aislamientos y con menor huella saneamiento, cubiertas y carpintería. Los capítulos con menor impacto en la fabricación son las pinturas y los vidrios. El capítulo donde la HE del transporte es más elevado es en los revestimientos, seguido del saneamiento, esto se debe a las largas distancias de Chile, ya que la mayoría de materiales de ambos capítulos son importados de otros países, como son el Fibrocemento NT, polietileno, sellantes bituminosos, cerámicos y el PVC, y su distancia a la obra, por tanto, es mucho mayor que el resto, como ya se explica en el apartado de transporte de materiales. Lo mismo sucede en los capítulos como cubiertas, instalaciones y aislamiento, aunque con menor cantidad de materiales tales como el asfalto de las placas tipo onduline, el acero y poliestireno. Le siguen las cimentaciones, pinturas y estructuras, cuyos materiales proceden de Temuco, que son el caso del hormigón y la madera, la pintura se importa pero representa una pequeña cantidad de material. En último lugar con menor HE los RCDs, la carpintería y los vidrios, la Gestora de RCDs se encuentra en Temuco y la madera también procede de la misma ciudad. Los vidrios provienen de Santiago pero representan una cantidad mínima, de ahí su baja huella. Hay que destacar el capítulo de estructuras con HE de fabricación negativo y un impacto en el transporte bastante bajo, esto indica que el material es muy ecológico y que procede de la misma ciudad donde se ubica la obra, este es la madera, que además es el material principal de la estructura, esto sucede en Chile porque es rica en madera, la cual tiene emisiones negativas, ya que es captador de CO<sub>2</sub>.

Con todo este análisis se demuestra y cuantifica el alto impacto que producen los materiales y en particular su fabricación, y así tenemos la capacidad de decidir elegir otros materiales cuyo proceso de fabricación sea más ecológico y produzca menor huella, igualmente podemos optar por utilizar materiales de la zona y no procedentes de otros países reduciendo así la HE producida por el transporte de los mismos.

Para entender qué influye en cada recurso y en cada capítulo se puede seguir realizando un análisis más pormenorizado, en este caso se seleccionan tres capítulos, que representan tres situaciones distintas: los dos capítulos de mayor huella y el de menor. Los revestimientos, las instalaciones y la estructura. En la relación de la HE con el peso también son tres casuísticas diferentes. Para poder realizar la comparativa entre capítulos se seleccionan los materiales de mayor peso y huella del proyecto y se detecta si se encuentran o no en cada uno de los capítulos seleccionados. En el proyecto participan 23 familias de materiales, de



todas ellas se seleccionan para el análisis los más importantes por peso que son: el hormigón, los áridos y la madera, y por su valor alto en HE el acero, el hormigón, el poliestireno, el cemento y el aluminio. El resto de familias de materiales para este análisis en particular se engloban en el grupo denominado Otros. Se analizan, por tanto, los tres capítulos y los materiales seleccionados, desde el punto de vista del peso o su importancia dentro del proyecto en la Fig. 8.31, y su HE en la Fig. 8.32.

En el capítulo de revestimientos, los materiales de mayor peso son los áridos,  $132,87 \text{ kg/m}^2$  y el hormigón en segundo lugar con  $84,70 \text{ kg/m}^2$ , estos se encuentran en la solera ligeramente armada, sin embargo no son éstos los que tienen mayor impacto, el hormigón están en cuarto lugar de HE dentro del capítulo (contando el grupo de *Otros*) y los áridos tienen un valor tan bajo que ni se representan en la gráfica. El grupo de *Otros* materiales, es el tercero en peso, sin embargo es el que tiene mayor HE. A continuación sigue en peso el cemento con  $14,30 \text{ kg/m}^2$ , siendo el segundo material que produce mayor impacto, lo podemos encontrar en los paneles de fibrocemento colocados en algunos paramentos y techos de zonas húmedas, por tanto, se deduce que el cemento tiene un alto factor de emisiones de  $\text{kgCO}_2/\text{kg}$ . La madera con un peso de  $13,50 \text{ kg/m}^2$  es el material con menor huella, en este caso negativa. El último material representado en la gráfica según su peso es el cerámico, en este caso se emplea en los pavimentos de cocina y baños, con un total de  $3,34 \text{ kg/m}^2$  y un valor alto de HE si tenemos en cuenta su baja presencia en proyecto. Por tanto, la HE del capítulo de revestimientos está determinada por materiales diferentes de los más representativos en peso, es decir, por el cemento y por el acero, este último tiene un valor muy poco representativo en el total del peso del proyecto y no se representa en la gráfica. En ambos casos se deduce que son un materiales muy contaminantes y que se deberían de sustituir por otras alternativas más ecológicas.

En cuanto al capítulo de instalaciones, el material que produce más de la mitad de la HE del capítulo, es el acero, y con un peso mínimo de  $5,60 \text{ kg/m}^2$ , el cual ya hemos dicho anteriormente que es un material altamente contaminante y sería mejor poder sustituirlo por otras alternativas. Por otro lado, aparece el aluminio con un alto valor de huella, y sin embargo en el peso en el proyecto es tan insignificante que no aparece en la gráfica, así se detecta otro material con un alto factor de emisiones de  $\text{kgCO}_2/\text{kg}$ , el cual se puede intentar sustituir por otro material con menor impacto. En cuanto al capítulo de estructuras ya vemos que el material de mayor presencia es la madera con  $47,26 \text{ kg/m}^2$  y que produce una huella negativa, debido a que procede de los árboles que son fuentes de absorción de  $\text{CO}_2$ .

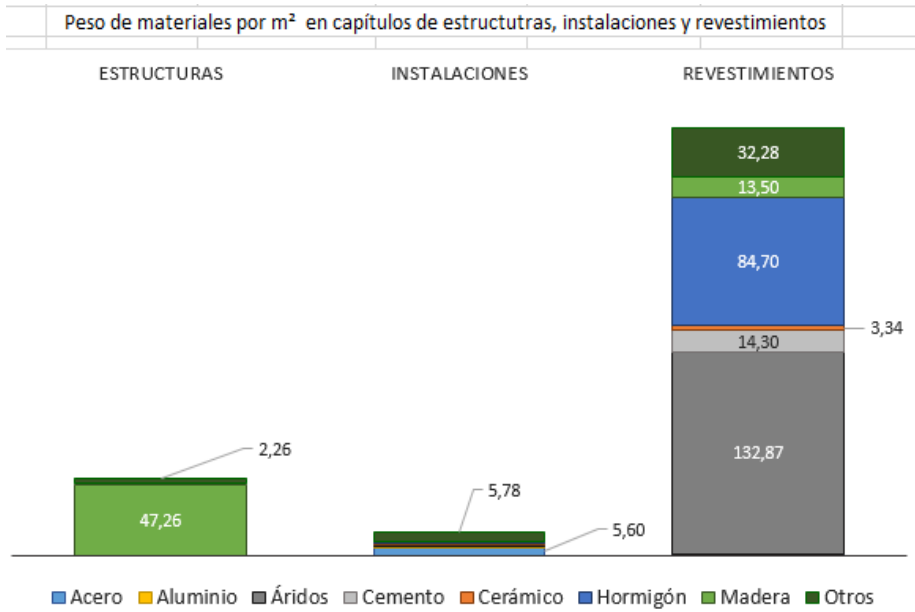


Figura 8.33: Estudio de materiales según su peso por m<sup>2</sup> en los capítulos de estructuras, instalaciones y revestimientos

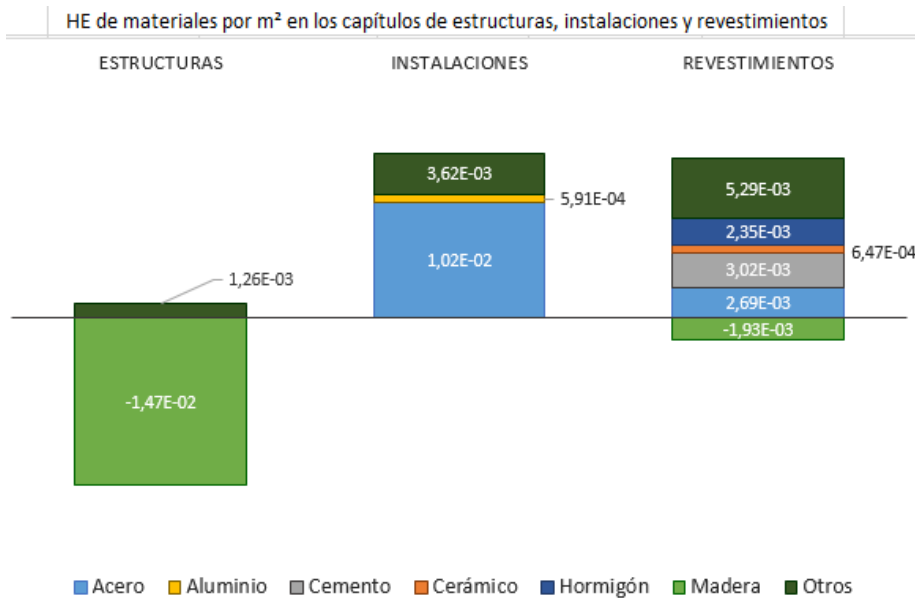


Figura 8.34: Estudio de HE de materiales por m<sup>2</sup> en los capítulos de estructuras, instalaciones y revestimientos

Se puede deducir de todo este análisis que a la hora de seleccionar los materiales para el proyecto se deben de tener en cuenta no solo su coste sino además los factores de emisiones de cada uno de ellos para poder decidir las soluciones constructivas más adecuadas desde el punto de vista de su impacto y llegar así a un equilibrio entre economía y ecología.

### 8.3. Comparativa entre Chile y España

A continuación se realiza una comparativa entre las viviendas unifamiliares del proyecto chileno y uno de similares características de la base de datos de los proyectos de España, en particular el denominado c85. La comparativa se va a centrar en el impacto que produce mayor huella en los proyectos, como ya se ha comparado en los diferentes análisis, es decir, los materiales y en particular su fabricación.

La HE total de España es 0,24 hag/m<sup>2</sup> y de Chile 0,07 hag/m<sup>2</sup> ¿A qué se debe esta gran diferencia? El 62 % de la huella se debe a la energía y en particular el 80 % corresponde a la fabricación de los materiales. Se analizan, por tanto, los datos de manufactura de materiales de ambos proyectos, se tienen en cuenta tres aspectos:

- El consumo del material en kg/m<sup>2</sup>,
- Porcentaje del peso en kg. de cada familia de materiales con respecto al total del proyecto.
- Porcentaje de HE que cada familia de materiales con respecto al impacto total del proyecto.

La tipología española correspondiente con el proyecto tipo chileno analizado, se incluyen los resultados en la Tabla 8.40, tiene un consumo de materiales de 3070,4 kg/m<sup>2</sup> muy superior al proyecto chileno con un consumo de 573.80 kg/m<sup>2</sup>. Si se comparan los consumos de materiales los más contaminantes de los dos casos son: el hormigón con un consumo de 2.205,90 kg/m<sup>2</sup> en el proyecto de España frente a 294,60 kg/m<sup>2</sup> del chileno, el acero en ambos casos representa poco consumo: 36,40 y 13,50 kg/m<sup>2</sup> respectivamente, los cerámicos en el caso español tiene un consumo muy alto de 439.70 kg/m<sup>2</sup> y en Chile sin embargo el consumo es mínimo 26,40 kg/m<sup>2</sup> y el poliestireno en el caso de español no está en los valores más representativos, siendo su consumo un 0,44 kg/m<sup>2</sup> y en el caso de Chile se consumen 184,80 kg/m<sup>2</sup>.

Tabla 8.40: Materiales más importantes por su presencia en peso (kg) y su HE (hag) del proyecto de España

Material	Consumo		Porc. (%)	Huella energía		%HE parcial/ HE total
	(kg)	(kg/m <sup>2</sup> )		(hag)	(hag/m <sup>2</sup> )	
Hormigón	5.948.268	2.205,90	69,16	174,6	0,065	44,37
Cerámico	1.185.660	439,7	13,79	99,04	0,037	25,17
Áridos	1.013.251	375,8	11,78	0,51	0,023	0,13
Acero	98.197	36,4	1,14	63,34	0	16,10
Madera	34.191	12,7	0,40	-8,8	-0,003	-2,24
<b>Total</b>	<b>8.245.377</b>	<b>3.070,40</b>	<b>95,87</b>	<b>328,67</b>	<b>0,12</b>	<b>83,54</b>

Las familias de materiales con mayor peso en el proyecto de España, según la Tabla 8.40, son en primer lugar el hormigón, seguido del cerámico y en tercer lugar los áridos (suman aproximadamente 95 %), el acero y la madera tienen poco peso dentro del proyecto. En cuanto a huella ecológica son las familias del hormigón y cerámicos las que producen mayor impacto, sumando entre ellas casi el 70 % del total del proyecto. En tercer lugar es el acero con un 16 % sobre el total, lo cual es un valor muy alto, teniendo en cuenta que en peso no tiene mucha presencia en el proyecto, lo cual se debe a que es un material con un alto grado de emisiones de CO<sub>2</sub> en su proceso de fabricación. La estructura de la vivienda construida en España tiene cimientos y estructura horizontal y vertical de hormigón armado, cerramientos de ladrillo y cubierta de teja cerámica. Los datos obtenidos indican que el proyecto de vivienda español utiliza principalmente materiales muy contaminantes.

Tabla 8.41: Materiales más importantes por su presencia en peso (kg) y su HE (hag) del proyecto de Chile

Materiales	Consumo		Porc.	Huella energía		%HE parcial/ HE total
	(kg)	(kg/m <sup>2</sup> )	(%)	(hag)	(hag/m <sup>2</sup> )	
<b>Acero</b>	707	13,5	2,04	0,93	0,02	52,27
<b>Hormigón</b>	15.319	294,60	44,27	0,43	0,01	23,99
<b>Poliestireno</b>	196	184,8	0,57	0,2	0,004	10,99
<b>Cemento</b>	891	17,012	2,58	0,19	0,004	9,61
<b>Aluminio</b>	73	68	0,21	0,18	0,003	10,06
<b>Cerámico</b>	1.375	26,25	3,97	0,1	0,002	5,07
<b>Áridos</b>	9.611	183,46	27,77	0,005	0	0,25
<b>Madera</b>	3.535	67,47	10,21	-0,96	-0,02	-54,17
<b>Total</b>	<b>17.187</b>	<b>855,09</b>	<b>49,67</b>	<b>1,92</b>	<b>0,04</b>	<b>58,06</b>

En el proyecto de vivienda chileno, como se refleja en los resultados de la Tabla 8.41, la familias de materiales de mayor peso son el hormigón, los áridos y la madera. Estos tres grupos corresponden prácticamente con el 83 % del peso de los materiales consumidos. Los materiales cerámicos representan el 4 % sobre el peso total y el acero un 2 %. Sin embargo, a diferencia con el caso español, los materiales de mayor peso no corresponden con los de mayor impacto ambiental, ya que el hormigón y los áridos sólo representan el 24 % del impacto de materiales del proyecto. En cuanto a la HE de la vivienda de Chile, según los datos de la Tabla 8.41, la familia de materiales que producen mayor impacto es la del acero, con un 52 %, igualmente su presencia en peso en el proyecto es muy baja. En segundo lugar el hormigón con un 24 %. En este caso aparecen dos grupos nuevos de materiales: el poliestireno y el aluminio, con un impacto de 11 y 10 % respectivamente. En último lugar la madera tiene impacto negativo con un -54 %.

## 8.4. Discusión de resultados

Según los resultados obtenidos se sabe que el indicador HE es sensible a cambios según la tipología y el sistema constructivo empleado. El indicador permite evaluar el impacto producido por la construcción de edificios residenciales y mediante el modelo optimizar durante la fase de diseño la elección del sistema a utilizar.

La HE por metro cuadrado construido en viviendas de tipo unifamiliar es muy superior a la de las viviendas pertenecientes a edificios plurifamiliares de tres plantas o más, y ésta permanece prácticamente constante a partir de tres plantas.

En las huellas parciales en la construcción de edificios, destaca la huella de la energía muy por encima del resto, oscilando su valor entre el 80 y el 85 %, variando dependiendo de los recursos empleados en cada caso. Es la que determina la HE de los proyectos al incluir en ella los impactos de los materiales, la maquinaria, el consumo de agua y electricidad así como la parte de energía de manufacturado de alimentos. La huella de bosques tiene un valor considerable, determinado por el uso de madera en los proyectos y en último lugar las huellas de mar, pastos y cultivos producidas por los alimentos consumidos por los trabajadores en su jornada laboral. Los porcentajes en cada caso dependerán de los materiales empleados, siendo la madera también, un factor importante en la determinación de la huella. En España y en las tipologías propuestas su uso es limitado, se emplea en encofrados, materiales auxiliares, y carpintería, pudiendo utilizarse también en revestimientos interiores.

En cuanto a los impactos que producen la energía, es la fabricación de materiales la que produce mayor huella en todos los casos, llegando a ser el 80 % del total de la energía, el transporte de los materiales y la maquinaria alimentada por combustible también son factores con presencia en el cómputo total de la energía, con valores sobre el 10 % en ambos casos.

También ha sido posible la evaluación de la HE por fases de proyecto, clasificadas por capítulos según la clasificación sistemática de la BCCA, arrojando los datos de las fases de proyecto que tienen mayor HE. En primer lugar es la estructura, seguida de la cimentación y la albañilería con una gran repercusión en el impacto total, y con un impacto relevante los revestimientos e instalaciones. Se puede decir además, que la cimentación con menor HE entre los tres sistemas estudiados (losa armada, zapatas aisladas y pilotes) es por zapatas aisladas, por tanto se puede controlar la HE en esta fase de la construcción del edificio y desde la fase de diseño decidir cuál es la cimentación a emplear con menor impacto.

Además se ha conseguido estudiar de forma pormenorizada los recur-

Los recursos necesarios para ejecutar el proyecto, tales como materiales, mano de obra y maquinaria. Incluso cuantificando el consumo o rendimiento de los mismos en cada capítulo. Los materiales y la maquinaria de combustible son los recursos que ejercen mayor impacto. Se puede mejorar la HE realizando estudios más exhaustivos de estos recursos y a partir del indicador poder controlarlos y gestionarlos mejor.

Analizando en detalle las distintas fases, en la mayoría de los casos los materiales suponen entre el 90 y 95 % del total de recursos del capítulo, con algunas excepciones, como las excavaciones y gestión de residuos, y en algunos casos los aislamientos (dependiendo del material empleado), donde el recurso principal es la maquinaria. La mano de obra produce un impacto en cada fase, generalmente de un 5 %.

En la cimentación los materiales empleados son el hormigón y el acero de las armaduras como elementos principales. En la fase de estructuras, los materiales tienen mayor impacto en primer lugar el hormigón seguido del acero de las armaduras, el cemento de las bovedillas. En ambas fases, por tanto, se deben seleccionar materiales alternativos (producidos con energías limpias, reutilizados o reciclados) o que empleen métodos de fabricación alternativos que reduzcan las emisiones de CO<sub>2</sub> para así reducir la huella.

Existen fases como en los aislamientos donde, tanto los materiales como la maquinaria empleada conforman prácticamente el impacto dentro del total, con porcentajes similares, sobre un 45-50 % en ambos casos, como es el caso del poliuretano proyectado y el compresor necesario para su puesta en obra.

En la albañilería, el material principal es el cerámico utilizado en ladrillos de diversos tipos empleados en cerramientos de fachada, formación de cámaras de aire y particiones interiores.

En el caso de los revestimientos, los materiales que producen mayor impacto son el hormigón en masa de soleras, la cerámica de azulejos y pavimentos, así como la perlita del guarnecido y enlucido.

Las instalaciones tienen más repartido el impacto, el cual es producido principalmente por el acero de aparatos de climatización, cobre y PVC de los circuitos eléctricos y tubos corrugados que los alojan, así como la porcelana de los aparatos sanitarios.

Otro aspecto a analizar, es que las tipologías más construidas en España, y por tanto los proyectos estudiados, no suelen disponer de instalaciones con energías renovables o de tratamiento de aguas residuales, lo que es fundamental para desarrollar una menor huella en el ciclo de vida de los edificios, y lo cual podría incorporarse al desarrollo del modelo de HE propuesto, como alternativas para la reducción de la HE en la construcción de edificación.

También se ha podido evaluar la HE total de los edificios residenciales construidos en España en 2007-2010, el marco de referencia de la HE ha sido definido gracias a la evaluación en informes estadísticos de las tipologías y los sistemas constructivos empleados en España en esos años, constatando la reducción paulatina de dicha huella, debido a la menor actividad constructora. Sin embargo, la HE por persona ha aumentado en dicho período, debido al incremento del porcentaje de viviendas unifamiliares construidas.

La vivienda construida en Chile está realizada con cimientos de hormigón armado, estructura vertical y horizontal y formación de cubierta inclinada de madera. Los cerramientos son estructurales, por tanto de madera, y los revestimiento exteriores de cubierta y de gran parte de las fachadas son de material asfáltico. Los remates de cubierta, encuentros, y terminación de huecos son de aluminio. Al ser una vivienda mejorada energéticamente tiene refuerzo en material de aislamiento, que es este caso es el Poliestireno.

Cuando se aplica el modelo a otros países y en particular a Chile, donde los sistemas constructivos son muy diferentes de los españoles, debidos a características geográficas y climatológicas, al tratamiento antisísmico de sus construcciones y al aprovechamiento y empleo de materiales autóctonos, los resultados son diferentes, aparte de demostrar así que el modelo es, por tanto aplicable a distintos países, tipologías, sistemas constructivos y materiales.

En consecuencia, según los materiales constructivos empleados para el caso chileno hacen que la vivienda resulte ser mejor medio ambientalmente, ya que su HE es mucho menor. La madera es el material principal utilizado en estructura, albañilería y revestimientos, aunque no lo represente su cuantificación en peso, lo cual hace la vivienda tenga una huella bastante menor. Por otro lado el poliestireno pese a ser una mejora energética es un material con alto impacto. Lo mismo sucede con el aluminio, es un material ligero pero que produce mucho impacto. El acero se utiliza en muy pocos elementos constructivos, sin embargo es mucho más pesado (kg) que la madera y tiene un gran impacto ambiental.

En definitiva, se ha demostrado la validez del indicador HE para su aplicación a cualquier escala, desde la planetaria hasta la de los edificios, e incluso siendo sensible a cambios en los sistemas constructivos.



## Capítulo 9

# Conclusiones

Se van a exponer las conclusiones en función de los objetivos planteados:

- Según los resultados obtenidos se puede decir que a partir de una base de costes de la construcción, como la BCCA, con una clasificación sistemática lo suficientemente robusta, utilizada para redactar las mediciones y presupuesto de un proyecto de ejecución, se pueden obtener los recursos necesarios para poder evaluar desde el punto de vista económico y ambiental.
- Se elabora un banco de cuantificación de recursos, BCRR, a partir del cual se obtienen los recursos y residuos necesarios para su evaluación económica y al aplicarle la metodología de HE también la ambiental. El cual, sigue la clasificación sistemática de la BCCA, y nos permite que el modelo sea más completo y versátil. En primer lugar, se plantea que la base sea aplicable a diversas tipologías.

Para la aplicación al caso de Chile se crea un BCRR específico para el proyecto planteado, ya que los sistemas constructivos de ambos países son diferentes, las viviendas unifamiliares chilenas utilizan la madera como elemento fundamental en la estructura, albañilería y revestimientos del proyecto. Se obtienen resultados diferentes en función de los nuevos sistemas construidos, por lo tanto se comprueba así como el modelo se puede adaptar fácilmente a otros sistemas construidos y a diferentes países.

- En cuanto a la actualización de la metodología HE, se realiza para el presente modelo y se representa, tanto la metodología general como cada una de las huellas parciales gráficamente, a partir de los diagramas que las definen. De este modo la metodología HE se representa de forma que:
  - Se ofrece la posibilidad de forma clara y sencilla, de modificar los coeficientes, factores o porcentajes, cuando sea necesaria su actualización o adaptación a alguna región o país específico.
  - Se exponen de forma clara las hipótesis complementarias que se han incluido para que éstas puedan modificarse en la metodología y analizar igualmente la influencia de las mismas en la HE de la edificación.
- En los diferentes análisis propuestos en la etapa de validación se realizan estudios pormenorizados de materiales y sistemas constructivos, estudiando el impacto que producen y proponiendo diferentes

alternativas de forma satisfactoria, comprobando, así que el modelo es sensible a los cambios de materiales y sistemas constructivos, pudiendo probar con alternativas más eficientes y ecológicas desde la fase de diseño para poder mejorar el impacto de cada proyecto, previendo por tanto dichos impactos de forma fiable.

- Se valida el modelo a partir de una selección de proyectos tipificados según los datos estadísticos de lo más construido en España del 2007 al 2010, a partir de éstos se realiza una selección de tipologías a partir de las cuales se hace una búsqueda de proyectos acordes con las mismas. Se consigue una base de datos de 97 proyectos de edificios residenciales construidos en España, a partir de los cuales se valida el modelo. Se comprueba que los resultados varían en función de las tipologías según el número de plantas sobre rasante y se comprueban distintos materiales y sistemas constructivos, comprobando igualmente que el modelo es sensible a dichos cambios y se interpolan los resultados para determinar la HE de la construcción total de viviendas españolas en dicho período.
- En los proyectos de España y en la aplicación a Chile se obtienen los resultados económicos y ambientales descompuestos según los capítulos de proyectos siguiendo la clasificación sistemática del BCCA. Se establecen los porcentajes de cada capítulo dentro del proyecto tanto del PEM ( $\text{€}$  y  $\text{€/m}^2$ ) como de la HE (hag y  $\text{hag/m}^2$ ) total y por unidad de superficie. Así se facilita la evaluación de los proyectos en la fase de diseño determinando cuales son los capítulos de proyecto de mayor impacto tanto económico como ambiental, pudiendo así centrar los estudios de viabilidad en dichos capítulos.
- Al crear un modelo basado en la clasificación sistemática de la BCCA, la misma versatilidad que tiene la base de datos es transmitida el modelo, pudiendo incluir a partir del BCCR, y de los despletables las soluciones constructivas o diferentes rendimientos.
- Para aplicar el modelo al caso de viviendas unifamiliares en Chile se adapta el modelo según los puntos de vista económico, técnico y ambiental. En un primer intento se procura utilizar una base de datos de la construcción chileno, sin embargo, no se encuentra una base de datos con las mismas condiciones de fiabilidad que otorga la BCCA, que sea de libre acceso, utilizando finalmente la misma base de datos, es decir la BCCA, para ambos casos. Y se comprueba que es válida para introducir los nuevos sistemas constructivos empleados para viviendas unifamiliares de tipo social. Desde el punto de

vista ambiental se incluyen los datos de HE específicos para Chile, pudiendo por tanto, emplear el modelo para cualquier edificio de las mismas características.

Se concluye, por tanto, que se ha conseguido el objetivo principal de la presente tesis: un modelo para la evaluación económica y ambiental de la construcción de edificios de tipo residencial, extrapolable a otros ámbitos territoriales como es el caso de Chile.

Para finalizar, independientemente de las conclusiones expuestas, se entiende que la investigación realizada transmite la idea de cómo puede influir con mayor o menor intensidad los diferentes aspectos caracterizadores de las viviendas en la cuantificación de la HE. Por tanto, sirve de reflexión como un obligado modo de situarse, tanto ante la proyección de nueva planta como ante las actuaciones rehabilitadoras (actividad ésta última que tiende a desarrollarse en los próximos tiempos), para ir caminando en producir la menor HE posible en este sector tan influyente.

## Capítulo 10

# Futuras líneas de investigación

Una vez expuesto el modelo desarrollado se definen diferentes líneas de investigación y posibles ampliaciones del mismo, las cuales se presentan a continuación:

- La propuesta más evidente es la posibilidad de ampliar los subcapítulos y apartados incluidos en el modelo, aumentando así los elementos a definir de un proyecto y sus sistemas constructivos. Además se pueden incluir en el mismo capítulos que no se han contemplado actualmente como pueden ser la Urbanización o Seguridad y Salud, para ello habría que realizar estudios de las posibles parcelas de los 97 proyectos planteados y su organización de obra, la cual por otro lado ya se ha aportado para el cálculo de los costes indirectos.
- Siguiendo la línea del punto anterior se pueden ampliar también las opciones de materiales, maquinaria o sistemas constructivos que en el modelo se incluyen como opciones a elegir a modo de despletables. Así se pueden introducir, no sólo las opciones incluidas en la BCCA, sino además otras alternativas de productos o procesos de fabricación más eficientes e ir apuntando desde la fase de diseño del proyecto edificatorio hacia una construcción de edificios más sostenibles y respetuosos con el medio ambiente.
- Actualmente se presentan en el modelo los resultados definidos hasta nivel de capítulos y se ha comprobado la sensibilidad del mismo al cambio de materiales y sistemas constructivos. Es evidente, por tanto, la utilidad de esta manera de representación de resultados a la hora de la toma de decisiones desde la fase de diseño. Este concepto de presentar el impacto económico y ambiental de forma pormenorizada, según los capítulos de proyecto, se puede realizar a nivel de precios unitarios simples PUS, al igual que en la BCCA de la cual se parte para dicha clasificación, y así un cambio de solución constructiva o tipo de material nos daría una respuesta más directa y específica. Esto enlaza además con el hecho de que la metodología HE en edificación sigue avanzando y actualmente trabaja con la idea de incluir el impacto ambiental en las bases de costes de la construcción, como la BCCA, a partir de incluir las huellas ecológica (HE) y de carbono (HC) en la descomposición de los PUS, como desarrollan Freire et al. (2016) [23]. En el futuro se pretende que el presupuesto de ejecución de un edificio incluya tanto el coste económico como el impacto ambiental.
- Otra vertiente a explotar del modelo sería el introducir otros indicadores ambientales en la evaluación de la construcción de edificios

como es la huella de carbono (HC) o la huella hídrica (HH), y poder obtener resultados de los tres indicadores partiendo siempre de los datos necesarios para realizar la medición del proyecto e incluyendo los datos específicos de cada indicador. Esta aplicación sería relativamente sencilla para el caso del HC Para el caso de la Huella de Carbono ya se ha realizado para la base de datos de los 97 proyectos [22] como se cita a lo largo de la investigación. Esta aplicación sería relativamente sencilla, ya que, para el caso del HC también se ha realizado y solo quedaría la HH en la construcción de edificios.

- Desarrollar el modelo de cálculo de HE en el análisis del ciclo de vida completo de los edificios. El presente modelo ya ha sido adaptado para su empleo en otras fases del ciclo de vida del edificio, como es la reparación y/o demolición, desarrollada en las líneas de investigación propias del grupo de investigación Arditec, en la tesis doctoral de Alba Rodríguez, 2016, [19], en el seno del cual se desarrolla igualmente la presente tesis, junto con las otras fases ya definidas, como son la transformación del suelo de Freire et al. 2014, [11] y el uso y mantenimiento realizada por Martínez Rocamora, 2016, [25], se conformaría el análisis completo. Y enlazando todas las tesis se podría llegar a analizar desde el presupuesto del proyecto el ciclo de vida completo de los edificios.
- Otra posible línea a plantear sería la ampliación del modelo a otros usos del edificio, como puede ser el terciario.
- Finalmente el modelo puede formar parte de la HE del ciclo de vida de los edificios integrándolo en nuevas herramientas BIM.





# Bibliografía

- [1] E. Higuera. *El reto de la ciudad habitable y sostenible*. Ed. DAPP, 2009. ISBN: 9788469366066.
- [2] S. B. R.M. Pulselli, E. Simoncini, F.M. Pulselli. “Emergy analysis of building manufacturing, maintenance and use: Em-building indices to evaluate housing sustainability”. En: *Energy and Buildings* 39 (2007), págs. 620-628. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2006.10.004>.
- [3] E. R. Marta Hervaa, Amaya Francob, Eugenio F. Carrascoa. “Review of corporate environmental indicators”. En: *Journal of Cleaner Production* 19.15 (2011), págs. 1687-1699. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.05.019>.
- [4] En: () .
- [5] M. Wackernagel y W. E. Rees. *Our Ecological footprint, reducing Human Impact on the Earth*. New Society Publishers, 1996.
- [6] M. Calvo Salazar et al. *Estimación de la huella ecológica en Andalucía y aplicación a la aglomeración urbana de Sevilla*. Sevilla: Dirección General de Ordenación del Territorio y Urbanismo, 2001, pág. 144. ISBN: 8480952709. URL: <http://tinyurl.com/k9o5uqd>.
- [7] J. Kitzes et al. “A research agenda for improving national Ecological Footprint accounts”. En: *Ecological Economics* 68.7 (2009), págs. 1991-2007. ISSN: 0921-8009. DOI: 10.1016/j.ecolecon.2008.06.022.
- [8] J. A. Blancas Panadero. *Definición de matriz de valoración para el cálculo de la huella ecológica en al edificación*. Trabajo Fin de Máster. Máster en Gestión Integral de la Edificación. Universidad de Sevilla., 2011.
- [9] J. Solís-Guzmán. *Evaluación de la Huella Ecológica del sector de la edificación (uso residencial) en la comunidad andaluza*. 2010.

- [10] S. Bastianoni et al. "Environmental and economic evaluation of natural capital appropriation through building construction: practical case study in the Italian context." En: *Ambio* 36.7 (2007), págs. 559-565.
- [11] M. Freire Guerrero, Antonio, Marrero, J. Solís-Guzmán y C. Rivero Camacho. "Estudio de la Huella Ecológica de la Transformación del Uso del Suelo". En: *Seguridad y Medioambiente. Fundación Mapfre* 20000, Núm (2014), págs. 6-14. URL: <http://tinyurl.com/m7zhjzq>.
- [12] J. Solís-Guzmán, M. Marrero y A. Ramírez-de Arellano. "Methodology for determining the ecological footprint of the construction of residential buildings in Andalusia (Spain)." En: *Ecological Indicators* 25.9 (2013), págs. 239-249. DOI: 10.1016/j.wasman.2009.05.009.
- [13] P. González-Vallejo, M. Marrero y J. Solís-Guzmán. "The ecological footprint of dwelling construction in Spain". En: *Ecological Indicators* 52 (2015), págs. 75-84. ISSN: 1470160X. DOI: 10.1016/j.ecolind.2014.11.016.
- [14] P. González-Vallejo et al. "La construcción de edificios residenciales en España en el período 2007-2010 y su impacto según el indicador Huella Ecológica". En: *Informes de la Construcción* 67.539 (2015), e111. ISSN: 1988-3234. DOI: 10.3989/ic.14.017.
- [15] P. González-Vallejo, M. Marrero y J. Solís-Guzmán. En: *World Sustainable Building 2014 Barcelona Conference (WSB14)* ().
- [16] P. González-Vallejo et al. "Ecological Footprint of Manpower in Construction in Spain, Mexico and Chile. Food Consumption." En: *Comunicación en congreso. III International Congress on Construction and Building Research. Escuela Técnica Superior de Edificación. Universidad Politécnica de Madrid* (2015).
- [17] A. Martínez Rocamora, J. Solís Guzmán y M. Marrero Meléndez. "Toward the Ecological Footprint of the use and maintenance phase of buildings: Utility consumption and cleaning tasks." En: *Martínez Rocamora, Alejandro, Solís Guzmán, Jaime, Marrero Meléndez, Madelyn* 69 (2016), págs. 66-77.
- [18] A. Martínez-Rocamora, J. Solís-Guzmán y M. Marrero. "Toward the Ecological Footprint of the use and maintenance phase of buildings: Utility consumption and cleaning tasks". En: *Ecological Indicators* 69 (2016), págs. 66-77. ISSN: 1470160X. DOI: 10.1016/j.ecolind.2016.04.007.

- [19] M. D. Alba Rodríguez. “Modelo de Evaluación de la Viabilidad Económica y Ambiental de la Recuperación de Edificios. Aplicación en edificios residenciales de la ciudad de Sevilla”. Tesis doct. Escuela Técnica Superior de Ingeniería de la Edificación. Universidad de Sevilla, 2016.
- [20] A. Freire Guerrero y M. Marrero Meléndez. “Analysis of the ecological footprint produced by machinery in construction”. En: M (), págs. 1-7.
- [21] A. Freire Guerrero y M. Marrero. “Evaluación a través del presupuesto de la energía incorporada al proyecto de edificación”. En: *Hábitat sustentable* 5 (2015), págs. 54-63.
- [22] J. Solís Guzmán et al. “The Carbon Footprint of Dwelling Construction in Spain”. En: *The Carbon Footprint Handbook*. Taylor y Francis Group, 2015. Cap. The Carbon, págs. 261-283. ISBN: ISBN 978-1-4822-6222-3.
- [23] M. Freire Guerrero, Antonio, Muñoz Martín, Javier, Marrero Meléndez. “Incorporación de huella de carbono y huella ecológica en las bases de costes de construcción. Estudio de caso de un proyecto de urbanización en Écija”. En: *Hábitat Sustentable* 6. Núm. 1 (2016), págs. 6-17.
- [24] World Wildlife Fund (WWF). *Informe Planeta Vivo*. WWF International, Zoological Society of London y Global Footprint Network. Suiza., 2012.
- [25] A. Martínez Rocamora. “Evaluación económica y ambiental del uso y mantenimiento de edificios”. Tesis doct. Escuela Técnica Superior de Ingeniería de la Edificación. Universidad de Sevilla, 2016.
- [26] Dirección General de Programación Económica y Presupuestos Subdirección General de Estadísticas. Ministerio de Fomento. *Construcción de edificios 2006-2010. Datos recogidos de las licencias de obras concedidas por los Ayuntamientos*. 2011.
- [27] A. Ramirez de Arellano Agudo. *La teoría de sistemas al servicio del análisis de presupuestos de obras. Tesis Doctoral. Universidad de Sevilla*. 1988.
- [28] K. Adalberth. “Energy use during the life cycle of buildings: a method”. En: *Building and Environment* 32.4 (1997), págs. 317-320. ISSN: 03601323. DOI: 10.1016/S0360-1323(96)00068-6.

- [29] T. Ramesh, R. Prakash y K. K. Shukla. “Life cycle energy analysis of buildings: An overview”. En: *Energy and Buildings* 42.10 (2010), págs. 1592-1600. ISSN: 03787788. DOI: 10.1016/j.enbuild.2010.05.007.
- [30] G. A. Blengini. “Life cycle of buildings, demolition and recycling potential: A case study in Turin, Italy”. En: *Building and Environment* 44.2 (2009), págs. 319-330. ISSN: 03601323. DOI: 10.1016/j.buildenv.2008.03.007.
- [31] Aenor. *Une-En Iso 5667-3:2004*. 2004. URL: [papers://9d426516-9b99-403d-abdf-826fbabbb97e/Paper/p215](http://papers://9d426516-9b99-403d-abdf-826fbabbb97e/Paper/p215).
- [32] M. Marrero y A. Ramírez de Arellano Agudo. *The building cost system in Andalusia: Application to construction and demolition waste management*. Vol. 28. Construction Management y Economics., 2010, págs. 495-507.
- [33] Consejería de Obras Públicas y Vivienda. Junta de Andalucía. *Base de Costes de la Construcción de Andalucía (BCCA)*. Ed. por Junta de Andalucía. 2014. URL: <http://tinyurl.com/kmn7quv>.
- [34] A. Ramírez de Arellano, J. Solís-Guzmán y J. Pérez-Monge. *Software de Evaluación de RCD para Tramitación de Licencias Municipales*. Sevilla, España. Universidad de Sevilla. 2008.
- [35] J. L. Doménech Quesada. *Huella ecológica y desarrollo sostenible*. Asociación espa?ola de normalización y certificación ed., 2007.
- [36] Ministerio de Fomento. Gobierno de España. *Seguridad estructural, resistencia y estabilidad*. 2009.
- [37] Ministerio de Fomento. *Documento Base SE- AE Seguridad Estructural, Acciones en la Edificación*. 2009.
- [38] E. centre. *Ecoinvent database*. 2016. (Visitado 15-07-2016).
- [39] M. Borucke et al. “Accounting for demand and supply of the biosphere’s regenerative capacity: The National Footprint Accounts’ underlying methodology and framework”. En: *Ecological Indicators* 24 (2013), págs. 518-533. ISSN: 1470160X. DOI: 10.1016/j.ecolind.2012.08.005. arXiv: 9809069v1 [arXiv:gr-qc].
- [40] S. Khatiwala, F. Primeau y T. Hall. “Reconstruction of the history of anthropogenic CO2 concentrations in the ocean”. En: *Nature* (2009).

- [41] G. Marland, T. Boden y R. Andres. “A Compendium of Data on Global Change. Global, regional and national fossil-fuel CO2 emissions”. En: *Carbon Dioxide Information Analysis Center. Oak Ridge, Tennessee. EEUU.* (2007).
- [42] Global Footprint Network. *Global Footprint Network: Learning Package of National Footprint Accounts 2014 edition. Online, 2014.* 2014. URL: <http://tinyurl.com/jwa3w7o> (visitado 05-09-2016).
- [43] Empresite. *Actividad del acero.* 2016. URL: <http://tinyurl.com/11jw2jd> (visitado 02-07-2016).
- [44] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE). “Conducción eficiente de vehículos industriales”. En: *Informe del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía* (2012). URL: <http://tinyurl.com/idae2012>.
- [45] Gobierno de España. “Real Decreto 105/2008, de 1 de febrero, por el que se regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición.” En: *Boletín Oficial del Estado* 38, de 13 febrero (2008), págs. 7724-7730. URL: <http://tinyurl.com/lvlrufe>.
- [46] A. Ramirez de Arellano Agudo, J. Solís-Guzmán y J Pérez-Monje. “Generación de RCD versión 2.0 (Software de Evaluación de RCD para Tramitación de Licencias Municipales). Universidad de Sevilla.” En: (2008).
- [47] O. d.l.N.U.p.l.A. y la Agricultura. *FAOSTAT. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.* 2016. URL: <http://tinyurl.com/lx3egnz> (visitado 14-08-2016).
- [48] E. Lazarus et al. “Working Guidebook to the National Footprint Accounts 2014”. En: *Global Footprint Network report* June (2014), pág. 127. URL: <http://tinyurl.com/m8h3rrn>.
- [49] P. González-Vallejo et al. “Ecological Footprint of Manpower in Construction in Spain, Mexico and Chile. Food consumption”. En: *III International Congress on Construction and Building Research* (2015), págs. 75-84.
- [50] A. Galli et al. “Mediterranean countries’ food consumption and sourcing patterns: An Ecological Footprint viewpoint”. En: *Science of The Total Environment* 578 (2016), págs. 383-391. ISSN: 00489697. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2016.10.191.
- [51] Union Nations Statistics Division. *Detailed structure and explanatory notes.* 2017. URL: <http://tinyurl.com/nxda2c3> (visitado 10-01-2017).

- [52] Ministerio de Sanidad y Consumo. Programa Perseo. *Alimentación saludable Guía para familias*. 2007. ISBN: 9788436943757.
- [53] R. Moreno Rojas et al. “Estimación de la distribución diaria de nutrientes en la dieta estándar en España.” En: *Nutrición hospitalaria* 31.6 (2015), págs. 2660-7. ISSN: 1699-5198. DOI: 10.3305/nh.2015.31.6.8896.
- [54] EUROSTAT. *Municipal waste generated by country in selected years (kg per capita)*. 2015. URL: <http://tinyurl.com/kg4nqpd> (visitado 12-01-2017).
- [55] REE. Red Eléctrica Española. *Avance 2015*. 2015.
- [56] Boletín Oficial del Estado. *RD.1359/2011. Revisión de precios de contratos de suministros de fabricación y equipamiento de las Administraciones Públicas. Obra edificación para uso general. Fórmula n?811*). 2011.
- [57] Ministeria de Ciencia y Tecnología. “Boletín oficial del estado. ITC-BT-10 (RD842/2002).” En: (2002), págs. 2-211.
- [58] Asociación española de Normalización y Certificación. *2012 Sustainability of construction works. Assessment of enviromental performance of buildings. Calculation Method*. 2010.
- [59] EMASESA. *Así éramos así somos. 1975-2005*. 2005. URL: <http://tinyurl.com/emasesa2005>.
- [60] M. Mercader Moyano. *Cuantificación de los recursos consumidos y emisiones de CO2 producidas en las construcciones de Andalucía y sus implicaciones en el protocolo de Kioto. Tesis Doctoral. Universidad de Sevilla*. 2010. URL: <http://tinyurl.com/kdpwskl>.
- [61] Instituto Nacional de Estadísticas (INE) de España. *Censo de Población y Viviendas*. 2001.
- [62] Dirección General de Programación Económica. Subdirección General de Estadísticas y Estudios. Ministerio de Fomento. *Obras en edificación. Años 2001-2005. Series estadísticas*. 2006.
- [63] S. Álvarez et al. *Escala de calificación energética para edificios existentes*. Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE), 2011.
- [64] Grupo Termotecnia. *Obtención de las estadísticas necesarias necesarias para la escala de calificación de edificios existentes*. 2011.
- [65] IETCC (CSIC). *Simplificación del Parque de Edificios Residenciales en España en Tipos Edificatorios. Proyecto CEREX. Certificación energética de edificios existentes*. 2011.

- [66] Ministerio Fomento. *Código Técnico de la Edificación de España (CTE)*. URL: <https://www.codigotecnico.org/>.
- [67] Ministerio de Vivienda. “REAL DECRETO 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación”. En: *Boletín oficial del estado* 74 (2006), págs. 11816-11831. URL: <http://tinyurl.com/RD3142006>.
- [68] Código técnico de la Edificación. “Documento básico HE ahorro de energía”. En: *Documento básico HE ahorro de energía* 2013 (2013), págs. 1-70. URL: <http://tinyurl.com/oabryvg>.
- [69] Ministerio de la Presidencia de España. *Actualización del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE)*. 2013. URL: <http://tinyurl.com/m52olky>.
- [70] Ministerio de la Presidencia. “RITE 2007. Reglamento de instalaciones térmicas en los edificios”. En: *Boletín oficial del estado* (2007), págs. 35931-35984. URL: <http://tinyurl.com/3dkyegz>.
- [71] Instituto Nacional de Estadísticas (INE) de España. *Instituto Nacional de Estadística. Resultados nacionales. Índices nacionales: general y de grupos ECOICOP*. 2016. URL: <http://tinyurl.com/ecoicop>.
- [72] A. Ramirez de Arellano Agudo. *Presupuestación de obras. Manual universitario*. Ed. por Universidad de Sevilla. 2004.
- [73] CORFO. Chile. *Programa Estratégico Nacional Productividad y Construcción Sustentable: Informe final, Fase 3, Hoja de Ruta PyCS 2025*. Inf. téc. 2016. URL: <http://tinyurl.com/mmh4j38>.
- [74] Cámara Chilena de la Construcción. “Balance de la vivienda en Chile”. En: (2014), pág. 128. DOI: 10.1007/SpringerReference\_8700.
- [75] Sistema Interconectado (CDEC-SIC). *Estadísticas de Operación 2013*. Inf. téc. 2013.
- [76] Instituto Nacional de Estadísticas (INE) de Chile. *Energía Eléctrica Informe Anual 2009*. Inf. téc. 2009, pág. 66.
- [77] S. Larraín. “El agua en Chile: entre los derechos humanos y las reglas del mercado”. En: *Polis Revista Latinoamericana* 14 (2012).
- [78] R. Valdés-Pineda et al. “Water governance in Chile: Availability, management and climate change”. En: *Journal of Hydrology* 519.PC (2014), págs. 2538-2567. ISSN: 00221694. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2014.04.016.

- [79] M. P. Aedo y R. Fumey. “El Agua en Chile: entre las regls del mercado y los derechos humanos”. En: *Programa Chile sustentable* (2005), págs. 27-31.
- [80] G. Ferro y A. C. Mercadier. “Technical efficiency in Chile’s water and sanitation providers”. En: *Utilities Policy* 43 (2016), págs. 97-106. ISSN: 09571787. DOI: 10.1016/j.jup.2016.04.016.
- [81] Superintendencia de Servicios Sanitarios. “Informe de Gestión del Sector Sanitario”. En: (2013), págs. 1-161.
- [82] Conama. “Primer reporte del manejo de residuos sólidos en Chile.” En: *Comisión Nacional del Medio Ambiente-Gobierno de Chile*. (2010), pág. 64. URL: <http://tinyurl.com/ne3qqyc>.
- [83] M. Marrero et al. “Demolition waste management in Spanish legislation”. En: *the open construction and building technology journal* 5 (2011), págs. 162-173.
- [84] E Castillo y F Ossio. “Waste construction management in social housing projects”. En: *Proceedings - 28th International PLEA Conference on Sustainable Architecture + Urban Design: Opportunities, Limits and Needs - Towards an Environmentally Responsible Architecture, PLEA 2012* (2012).
- [85] Hidronor Empresa de gestión y tratamiento de residuos Interconectado en Temuco. *Empresa de gestión de residuos. Hidronor*. 2016. URL: <http://www.hidronor.cl/>.
- [86] Instituto Nacional de Estadísticas (INE) de Chile. *Estadísticas Demográficas 2010*. Inf. téc. 2010.
- [87] T. González Martínez, K.-R. Bräutigam y H. Seifert. “The potential of a sustainable municipal waste management system for Santiago de Chile, including energy production from waste”. En: *Energy, Sustainability and Society* 2.1 (2012), pág. 24. ISSN: 2192-0567. DOI: 10.1186/2192-0567-2-24.
- [88] Ditec. Universidad Bío-Bío. *Manual de hermeticidad al aire de edificaciones*. Ed. por M. Trebilcock. Fondef, 2014. ISBN: 9789569275272.
- [89] Grupo Aguas Nuevas. *Memoria Anual de Aguas de la Araucanía 2013*. Inf. téc. 9. 2013, págs. 1689-1699. arXiv: arXiv:1011.1669v3.
- [90] Ministerio de Vivienda de España. *Código Técnico de la Edificación*. Madrid, 2006.