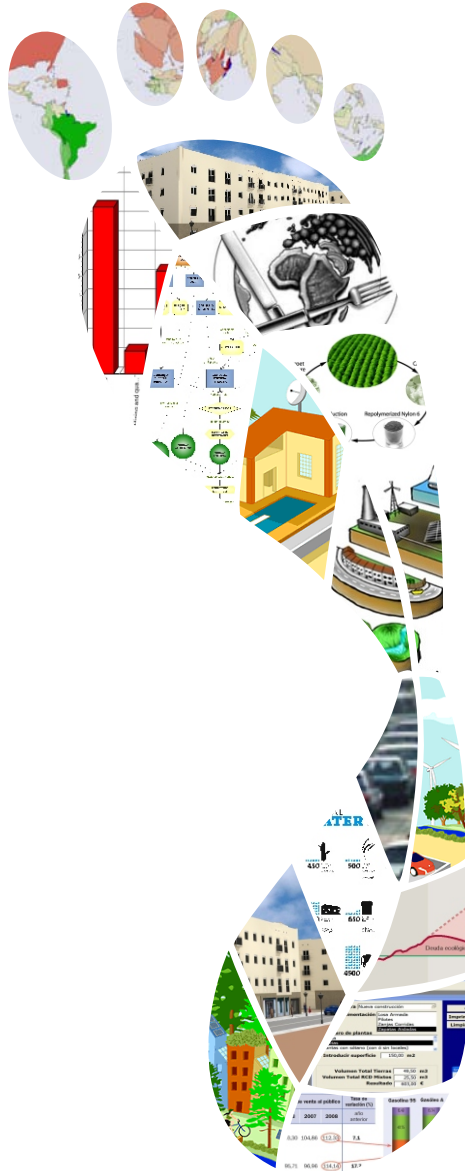




Universidad de Sevilla

Tesis Doctoral



# Evaluación de la huella ecológica del sector edificación (uso residencial) en la comunidad andaluza

Departamento de Construcciones Arquitectónicas II

Director de tesis

**Antonio Ramírez de Arellano Agudo**

Doctorando

**Jaime Solís Guzmán**

Sevilla, 2010





A mi familia, por haberme apoyado  
y aconsejado cada vez que lo necesité



---

En estas breves líneas querría expresar mi agradecimiento a todos aquellos que han hecho posible la realización de este trabajo.

A Antonio Ramírez de Arellano, mi director de tesis y apoyo inestimable en mi andadura investigadora. Gracias a su aliento y perseverancia este trabajo ha llegado a buen puerto.

A Rafael Lucas, por ayudarme en las gestiones con la empresa Dolmen Consulting Inmobiliario para obtener un proyecto que sirviera para esta investigación. Y a la propia empresa Dolmen Consulting Inmobiliario, ellos han hecho posible que este proyecto no fuera una entelequia.

A Alistair Paul, investigador del Stockholm Environment Institute, por cederme gratuitamente el software REAP.

A Pilar Mercader, por su colaboración para realizar la parte práctica de este trabajo, y por cederme datos inestimables de su tesis para el desarrollo de la mía.

A Madelyn Marrero, por sus sabios consejos.

A Clara Andújar, por la ayuda prestada para conseguir la información sobre consumos de electricidad y agua en la construcción de bloques de viviendas. Y a la empresa DRAGADOS S.A., a la que pertenece.

A Juan Carlos Pérez Pedraza, por guiarme en el diseño gráfico de la tesis.

A Nicolás Pérez, por ayudarme en el diseño y la maquetación.

A los que me inspiraron: Ramón Velázquez, Albert Cuchí y tantos otros.

A mi padre, apoyo dentro y fuera del trabajo.

A María, por comprenderme y ayudarme en el día a día.

A mi madre, por entenderme y escucharme.



---

<b>Introducción</b>	9
<b>Primera parte: modelo teórico</b>	13
<i>Estado de la cuestión</i>	15
1. Antecedentes	15
2. Definición del concepto	16
3. Aproximación al indicador huella ecológica como parámetro de sostenibilidad	17
4. Determinación del indicador HE	20
4.1. Cálculo de los consumos	21
4.2. Tipos de territorio productivo	22
4.3. Factores de conversión	23
4.4. Déficit ecológico	23
5. Escalas de aplicación del indicador HE	24
5.1. Escala planetaria (Modelo Planeta Vivo)	24
5.2. Escala urbana	29
<i>Objetivos y metodología de investigación</i>	41
1. Objetivos	41
2. Metodología	42
<i>Las fuentes de impacto de la huella ecológica</i>	47
1. Consumos directos	47
1.1. Energía	47
1.1.1. Electricidad y combustibles	49
1.1.2. Productividad energética	53
1.1.3. Cálculo de la huella asociada al consumo de energía	61
1.2. Agua	65
1.2.1. Otras consideraciones	71
2. Consumos indirectos	72
2.1. Mano de obra	72
2.1.1. Alimentos	72
2.1.2. Movilidad	79
2.2. Materiales de construcción	87
2.2.1. La energía incorporada	88
2.2.2. La huella ecológica de los materiales de construcción	95
3. Los residuos	97
4. La superficie construida	106
Bibliografía	111
Fuentes bibliográficas de las figuras	119
Nomenclatura	120
Abreviaturas	123
Glosario	124



<b>Segunda parte:</b>	
<b>determinación de la huella ecológica de la construcción de bloques de viviendas</b>	<b>125</b>
<i>Características generales del proyecto</i>	127
1. Clase de suelo analizado	127
2. Actuaciones a realizar sobre el suelo	129
2.1. Delimitación de la Unidad de Ejecución	129
2.2. Estudio de Detalle	130
2.3. Proyecto de Reparcelación	132
2.4. Proyecto de Urbanización	133
2.5. Proyecto de Edificación	135
<i>Determinación de los elementos del proyecto</i>	143
1. Parámetros para la determinación de la huella energética	144
2. Parámetros para la determinación de la huella vinculada al suministro de agua	146
3. Parámetros para la determinación de la huella vinculada al consumo de alimentos	147
4. Parámetros para la determinación de la huella de movilidad	151
5. Parámetros para la determinación de la huella de materiales de construcción	153
6. Parámetros para la determinación de la huella de los residuos	153
7. Parámetros para la determinación de la huella de superficie construida	156
<i>Cálculo de la huella</i>	157
1. Determinación del presupuesto global	157
2. Huella energética	160
3. Huella vinculada al suministro de agua	168
4. Huella vinculada al consumo de alimentos	173
5. Huella de movilidad	180
6. Huella de materiales de construcción	182
7. Huella de los residuos	192
8. Huella de superficie construida	196
9. Huella total	197
Bibliografía	201
Fuentes bibliográficas de las figuras	203
Nomenclatura	204
Abreviaturas	211
<b>Conclusiones</b>	<b>213</b>
<b>Anexos</b>	<b>217</b>

## Introducción



El nuevo siglo está deparando desafíos a la civilización actual para los que debe diseñar herramientas que los superen. Inmersos en la década de la sostenibilidad, es necesario que también el sector de la construcción, y más específicamente el de la edificación residencial, comience a evaluar empíricamente su relación con el entorno. Las nuevas Directivas ambientales, a nivel europeo, y la legislación a nivel estatal y autonómico así lo exigen. Sin embargo, es necesario ir más allá.

Herramientas informáticas que evalúan las emisiones de gases de efecto invernadero, como las relacionadas con la huella de carbono, son cada vez más empleadas.

También es notoriamente conocido que el sector de la edificación es responsable de una parte importante de la emisión de dichos gases, y que, sin embargo, no dispone aún de mecanismos para su evaluación y control, motivado fundamentalmente por la difícil acotación de los posibles focos de emisión de contaminantes de cada edificio.

Si consideramos el edificio como un sistema cuya actividad es potencialmente contaminante, debemos establecer cuáles son dichos focos de emisión, y si es el caso, los sumideros o mitigadores de esa contaminación.

Desde esa perspectiva, el edificio es directamente responsable de la generación de contaminantes por su construcción y operación, por el uso del agua y por la generación de residuos, y también indirectamente por las emisiones del transporte desde y hacia el edificio.

En este marco de trabajo, se presenta esta investigación como un paso adelante en la definición de herramientas que permitan la evaluación de los impactos que genera la edificación.

Ese paso pretende aplicar la metodología de huella ecológica al sector de la edificación residencial, y definir un modelo que evalúe dicho indicador en los edificios residenciales. La huella ecológica es un indicador relativamente novedoso, que partiendo de la evaluación de la huella de carbono, pretende establecer resultados más intuitivos para estudiar el grado de impacto de las actividades económicas sobre el territorio. Desde ese punto de vista, de la relación de la edificación con el territorio donde se ubica, la huella ecológica es capaz de definir, de forma empírica y visual, el grado de impacto de la edificación sobre el territorio.

Dada la dificultad de establecer un modelo que relacione dicho indicador con el sector edificación residencial, la investigación se ha centrado únicamente en el estudio del sector residencial en su fase de construcción, una de las más representativas desde el análisis de los impactos sobre el territorio, y sin duda, la más agresiva desde el punto de vista de la capacidad de carga del territorio, ya que dicha actividad se desarrolla intensamente durante un corto período de tiempo.

Por tanto, pretendemos que esta investigación sea un paso adelante en la modelización de los efectos contaminantes de la actividad edificatoria, y de cómo poder analizar esos efectos para disminuir el impacto sobre el entorno que rodea a las edificaciones.

La investigación se plantea en dos partes: la primera desarrolla el modelo teórico de cálculo de la huella del sector edificación residencial para la fase de construcción. La segunda aplica dicho modelo a un caso práctico, en este caso la construcción de bloques de viviendas.

La primera parte se inicia con un acercamiento al estado actual del indicador huella ecológica, analizando las formas de cálculo, las escalas de aplicación y las variables que le afectan significativamente.

Posteriormente se resumen brevemente los objetivos y la metodología de la investigación. Como se ha mencionado anteriormente, el área de trabajo será la edificación residencial durante la fase de construcción.

A continuación se explican las fuentes de impacto del ámbito de investigación. Es la parte más relevante de la investigación, ya que en ella se analizan los distintos elementos de la edificación que inciden sobre el cálculo de la huella ecológica. Serán analizados entre otros: la electricidad, los combustibles, el agua, la mano de obra o los residuos.

Se cierra esta primera parte con la bibliografía y las nomenclaturas más importantes.

La segunda parte se compone de tres bloques:

En el primero se resumen las características generales del proyecto estudiado: clase de suelo analizado, actuaciones a realizar sobre el suelo (estudio de detalle, proyecto de parcelación, proyecto de urbanización...).

El segundo expone como determinar la formulación matemática de los parámetros que definen las huellas generadas por los factores de impacto.

Y por último, se calculan las huellas asociadas a esos factores de impacto: huella energética, huella vinculada al suministro de agua, huella vinculada al consumo de alimentos, huella de movilidad, huella de materiales de construcción, huella de los residuos y huella de superficie construida.

Esta segunda parte finaliza con las conclusiones y la bibliografía.

El texto se cierra con el apartado de anexos, donde se encuentran los cálculos intermedios más significativos.

**Primera parte: modelo teórico**



## Estado de la cuestión

Actualmente, los cálculos de huella ecológica se realizan siguiendo, generalmente, la metodología definida por Mathis Wackernagel<sup>1</sup>, basada en el análisis descendente, es decir, de arriba hacia abajo, partiendo de datos macroeconómicos para calcular las posibles huellas de distintas escalas territoriales: la Tierra, los continentes, los países, las ciudades, etc.

Es necesario establecer un marco de referencia para conocer qué representa el indicador y qué relevancia ha tenido en el pasado y tiene en la actualidad.

### 1. Antecedentes

En este apartado analizaremos qué posibles indicadores se emplean para calcular el impacto que la humanidad causa sobre el medio ambiente, entre los cuales se encontraría la huella ecológica.

Una primera aproximación a los indicadores de crecimiento se puede rastrear en los modelos desarrollados por Jay W. Forrester<sup>2</sup> en los años 70. Forrester es mundialmente conocido por ser el padre de la Dinámica de Sistemas, pero a la vez llegó a ser un experto gracias a la puesta en práctica de su teoría dinámica, de los modelos de crecimiento a nivel poblacional, económico o de las ciudades. De los modelos generados por Forrester, el más relevante para esta investigación es el de Dinámica global/mundial, donde se emplea la dinámica sistémica aplicada a modelos mundiales.

Su estudio se concreta en dos partes: la primera, a principios de los setenta, como parte del trabajo encargado por el Club de Roma<sup>3</sup>, y en la que se analizaba el efecto del crecimiento de la población y de la actividad humana en un mundo de recursos limitados. De dicho estudio surge el informe "Dynamics of Growth in a finite World"<sup>4</sup>. 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,

---

1 Wackernagel M., Rees W., 2001. Nuestra Huella Ecológica: Reduciendo el Impacto Humano sobre la Tierra. LOM. Santiago de Chile, Chile.

2 Forrester J.W., 1970. Urban Dynamics. MIT Press . Cambridge, Massachussets.

3 El Club de Roma es una organización formada por prominentes personalidades, que busca la promoción de un crecimiento económico estable y sostenible de la humanidad.

4 Meadows D.H., Meadows D.L., 1973. Los Límites del Crecimiento: Informe al Club de Roma sobre el Predicamento de la Humanidad. Fondo de Cultura Económica. México.



extralimitación, sostenible, colapso, ciclos de erosión.... Este último informe se recoge en el libro "Los límites del crecimiento 30 años después"<sup>5</sup>. Dicho informe realiza la valoración del efecto del crecimiento de la población y de la actividad humana en un mundo de recursos limitados, y cómo las posibles modalidades o pautas de comportamiento a través de las cuales la economía humana interactuará con la capacidad de carga del planeta a lo largo del siglo que se inicia.

La capacidad de carga es un concepto dinámico, ya que cambia continuamente con la meteorología, el progreso tecnológico, las pautas de consumo, el clima y otros factores. Empleamos el término para designar el número de personas que en las circunstancias actuales podrían sostenerse en el planeta durante un largo espacio de tiempo (decenios) sin deteriorar la productividad global de la tierra.

De igual modo, dentro del modelo dinámico para establecer el crecimiento del mundo se emplean indicadores como la huella ecológica y el índice de bienestar humano. Por tanto, se puede observar que el indicador huella ecológica aparece en los modelos predictivos como un parámetro que sirve para establecer una medida de cómo nos comportamos con el planeta Tierra.

## 2. Definición del concepto

El concepto de huella ecológica es introducido por Mathis Wackernagel<sup>6</sup>, que midió la huella ecológica de la humanidad y la comparó con la capacidad de carga del planeta. De acuerdo con su definición, la 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<sup>7</sup>. Al compararlo con la extensión de tierra disponible, Wackernagel concluyó que el consumo humano de recursos se situaba actualmente un 30% por encima de la capacidad de carga mundial (Fig.1), lo que implica que para alcanzar la sostenibilidad, la humanidad tendría que reducir el consumo de recursos de los ricos del mundo, consiguiendo así reducir la huella ecológica total.

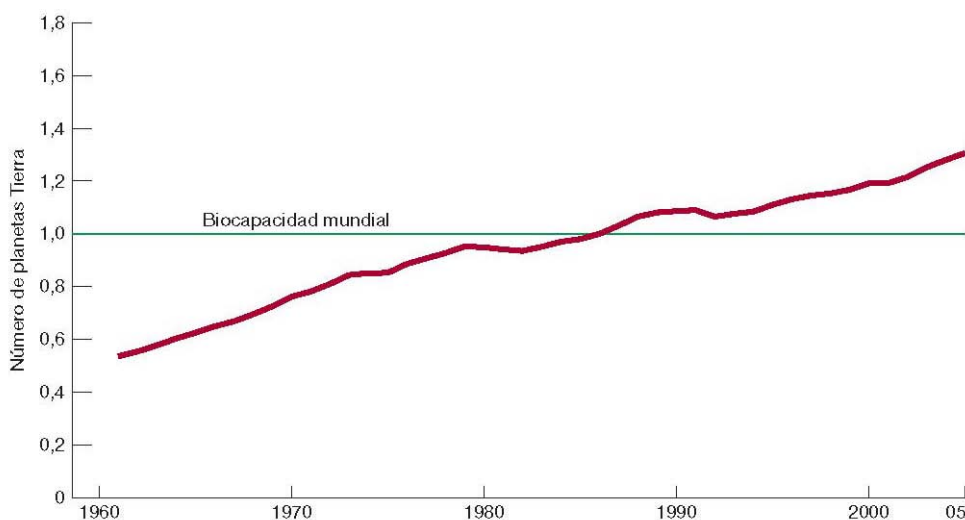


Figura 1. Huella ecológica de la humanidad 1961-2005 (Informe Planeta Vivo 2008)

<sup>5</sup> Meadows D.H., Randers J., Meadows D.L., 2006. Los Límites del Crecimiento 30 Años después. Galaxia Gutenberg. Barcelona, España.

<sup>6</sup> Chambers N., Simmons C., Wackernagel M., 2004. Sharing Nature's Interest: Ecological Footprints as an Indicator of Sustainability. Sterling Earthscan. London, Great Britain.

<sup>7</sup> WWF, Zoological Society of London, Global Footprint Network, 2008. Living Planet Report. WWF International. Suiza.

Otra definición establece que dicha huella sería la suma de las extensiones de tierra cultivable, urbana y de aquella necesaria para neutralizar la emisión de contaminantes. También puede enunciarse como el índice que mide la superficie necesaria para producir los recursos consumidos por un ciudadano y para absorber los residuos que genera<sup>8</sup>.

Una última forma de explicar el concepto tendría un enfoque más trascendental: "Señal o deterioro que generan en los ecosistemas del Sur las demandas de recursos naturales de los habitantes de los países del Norte, con altas tasas de consumo; así como también los acúmulos de desechos (residuos radiactivos, industriales...) que los países ricos exportan y depositan en áreas deprimidas del planeta"<sup>9</sup>.

### 3. Aproximación al indicador huella ecológica como parámetro de sostenibilidad

Para poder introducir un parámetro de sostenibilidad es necesario previamente poder definir el ámbito del que hablamos. Muchas veces escuchamos hablar de conceptos como desarrollo sostenible, sostenibilidad, sostenibilidad fuerte. Pero, ¿qué significan? ¿Qué diferencias existen entre ellos?

La diferencia más sustancial la encontramos en los conceptos desarrollo sostenible y sostenibilidad. El desarrollo sostenible es un OBJETIVO, mientras que la sostenibilidad es un PROCESO. Es decir, que el proceso para alcanzar la sostenibilidad (ecológica, económica, social, cultural...) desembocará en la realización del objetivo, obteniendo una economía sostenible, una sociedad sostenible, un medio ambiente sostenible, etc. El sistema, al introducir la sostenibilidad como forma de comportamiento, puede alcanzar el objetivo propuesto. Según Brian Edwards<sup>10</sup>, existen tres perspectivas sobre el desarrollo sostenible, tal como se observa en la figura 2 :

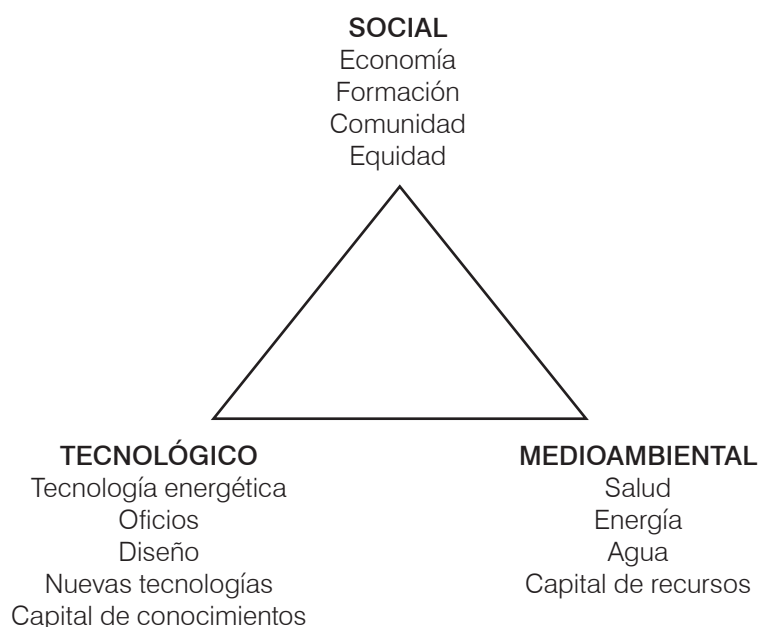


Figura 2: Las tres perspectivas del desarrollo sostenible

8 Díaz Reyes M.C., García-Navarro J., Maestro L., Del Río M., 2007. Glosario de Sostenibilidad en la Construcción. AENOR. Madrid, España.

9 Díaz Reyes M.C., García-Navarro J., Maestro L., Del Río M., 2007. Glosario de Sostenibilidad en la Construcción. AENOR. Madrid, España.

10 Edwards B., 2008. Guía Básica de la Sostenibilidad. Gustavo Gili. Barcelona, España.

La definición más conocida de desarrollo sostenible es la recogida en el Informe Bruntland<sup>11</sup>, que dice textualmente que es aquel “que satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades”.

Esta definición no está planteando las acciones que habría que llevar a cabo para lograr un mundo más equilibrado, sino el escenario que debiéramos alcanzar. No trazamos el camino a recorrer, sino hacia dónde queremos llegar.

Existen otras definiciones de cómo debe ser una sociedad sostenible, es decir, aquella que cumple la máxima del desarrollo sostenible.

Desde el punto de vista de la teoría de sistemas, una sociedad sostenible es aquella que cuenta con mecanismos informativos, sociales e institucionales que le permiten controlar los ciclos de re-alimentación positivos causantes del crecimiento exponencial de la población y el capital.

Herman Daly<sup>12</sup> define como debe ser un sistema sostenible material y energéticamente, y lo hace en función de tasas de uso de fuentes y sumideros:

- La tasa de uso de recursos renovables no debe superar la tasa de regeneración de los mismos.
- La tasa de uso de recursos no renovables no debe superar la tasa de desarrollo de sustitutos renovables sostenibles de aquellos.
- La tasa de emisión de contaminación no debe superar la capacidad de asimilación del medio ambiente.

Una sociedad sostenible no significa crecimiento cero. Una sociedad sostenible impulsa el desarrollo cualitativo, no la expansión física, utiliza el crecimiento material como un instrumento, no como un mandamiento a acatar.

Hasta ahora hemos observado que el objetivo está claro: conseguir el desarrollo sostenible. Sin embargo, no está tan claro como alcanzar dicho objetivo. Para ello necesitamos indicadores que nos guíen por la senda de la sostenibilidad y generen el proceso que nos debe conducir al mantenimiento de nuestro Planeta Tierra tal y como lo conocemos en la actualidad.

Inicialmente, podemos afirmar que existen dos formas de acercarse a la sostenibilidad<sup>13</sup>:

- La sostenibilidad débil, también denominada antropocéntrica. Se basa en los procesos de tecnología y sustitución, mediante la optimización de los procesos de extracción, producción, consumo y reciclado.
- La sostenibilidad fuerte o ecocéntrica. Algunas líneas de esta tendencia son la sociobiología, el humanismo ecológico y lo ético-utópico. Basada en el mantenimiento de la resiliencia del sistema y de la capacidad de carga, es decir, en la capacidad de recuperación, orientando el consumo hacia necesidades básicas. Las políticas a desarrollar según este enfoque son de largo plazo.

---

11 También denominado Informe Nuestro futuro Común (1987)

12 Meadows D.H., Randers J., Meadows D.L., 2006. Los Límites del Crecimiento 30 Años después. Galaxia Gutenberg. Barcelona, España.

13 Martín Palmero F., 2004. Desarrollo Sostenible y Huella Ecológica. Netbiblo. A Coruña, España.

Una de las aportaciones más relevantes para conocer de qué hablamos cuando citamos la palabra sostenibilidad procede de las investigaciones de Donella Meadows<sup>14</sup>. La autora, en la publicación citada, planteaba varias estrategias para reestructurar nuestras sociedades con vistas a la sostenibilidad. Las más relevantes podrían ser: ampliar el horizonte de planificación (de las políticas), mejorar las señales (que alertan de la extralimitación de los recursos), acortar los tiempos de respuesta (de las acciones de mejora), minimizar el uso de recursos no renovables, prevenir la erosión de recursos renovables, utilizar todos los recursos con máxima eficiencia, desacelerar y finalmente parar el crecimiento exponencial de la población y del capital físico. Mediante estas estrategias nuestro planeta cambiaría el rumbo que llevaba hacia la extralimitación y el colapso para recuperar un escenario de crecimiento sostenible (figura 3):

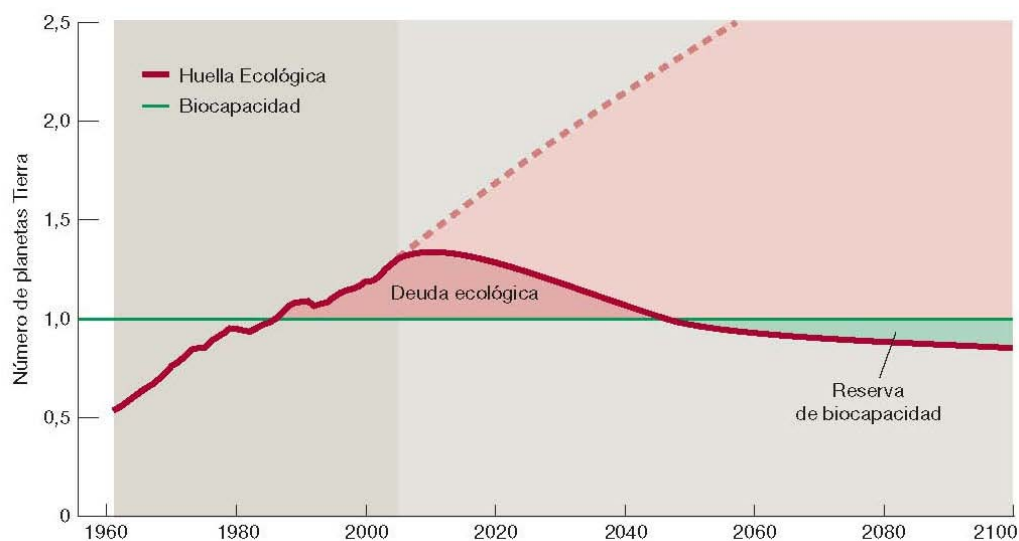


Figura 3: Escenario de retorno a la sostenibilidad (Informe Planeta Vivo 2008)

Para poder mejorar las señales y acortar los tiempos de respuesta necesitamos indicadores que permitan establecer hacia dónde vamos. Sin duda los más interesantes son los sintéticos, ya que agrupan gran cantidad de información y al devolverla, permiten que puedan establecerse las pautas de comportamiento de los distintos entes. Entre los indicadores sintéticos simples más utilizados están los siguientes:

- ISEW: Índice de Bienestar Económico Sostenible
- GPI: Indicador de Progreso Genuino
- SDP: Producto Interior Neto Sostenible
- HDI: Índice de Desarrollo Humano
- EF: Huella Ecológica

De entre todos ellos, aquel que de alguna manera mejor establece la relación del ser humano con su ecosistema es este último.

14 Meadows D.H., Randers J., Meadows D.L., 2006. Los Límites del Crecimiento 30 Años después. Galaxia Gutenberg. Barcelona, España.

La principal controversia que origina el indicador huella ecológica (HE) es si sirve como herramienta para medir la sostenibilidad, o si es sólo un instrumento para visualizar el impacto humano en relación a la capacidad de carga del planeta.

Recordemos la definición: "extensión de tierra necesaria para suministrar los recursos y absorber las emisiones de una población determinada".

Según dicha definición, el análisis correcto sería el segundo, ya que la HE transforma en tierra productiva la energía y los recursos requeridos para producir y transportar productos de consumo y para absorber los impactos de la producción, transporte y residuos. Por tanto, es un acercamiento no holístico para medir la sostenibilidad. El indicador HE no dibuja imágenes dinámicas de las condiciones de cambio, ni dice nada acerca de la calidad de vida.

De igual modo, define el concepto de sostenibilidad como concepto de futuro e igualdad. Según la definición de desarrollo sostenible, el almacenamiento de recursos debe ser preservado para las generaciones futuras. Pero HE no señala la seguridad de recursos específicos, aunque presenta el área que excede el consumo de recursos razonable. Tampoco contabiliza el deseo de usar recursos renovables o fuentes de energía renovables.

Por tanto, basándonos en estos razonamientos, si queremos que este indicador sirva para medir la sostenibilidad debemos acompañar su cálculo con un análisis de sensibilidad para ver como se están comportando las variables que definen dicho indicador.

#### **4. Determinación del indicador HE**

Según la metodología de cálculo de la huella ecológica, 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.

Para ese cálculo se elabora la matriz necesidades de superficie productiva-categorías de uso

En las categorías de uso encontramos:

- Alimentación: agricultura, ganadería, pesca
- Sector forestal
- Bienes de consumo
- Consumo energético (energía)
- Territorio utilizado directamente (ciudades, infraestructuras...)

Y en cuanto a las necesidades de superficie productiva (Fig. 4) tendremos:

- Absorción de CO<sub>2</sub>
- Cultivos
- Pastos
- Bosques
- Mar productivo
- Utilizado directamente

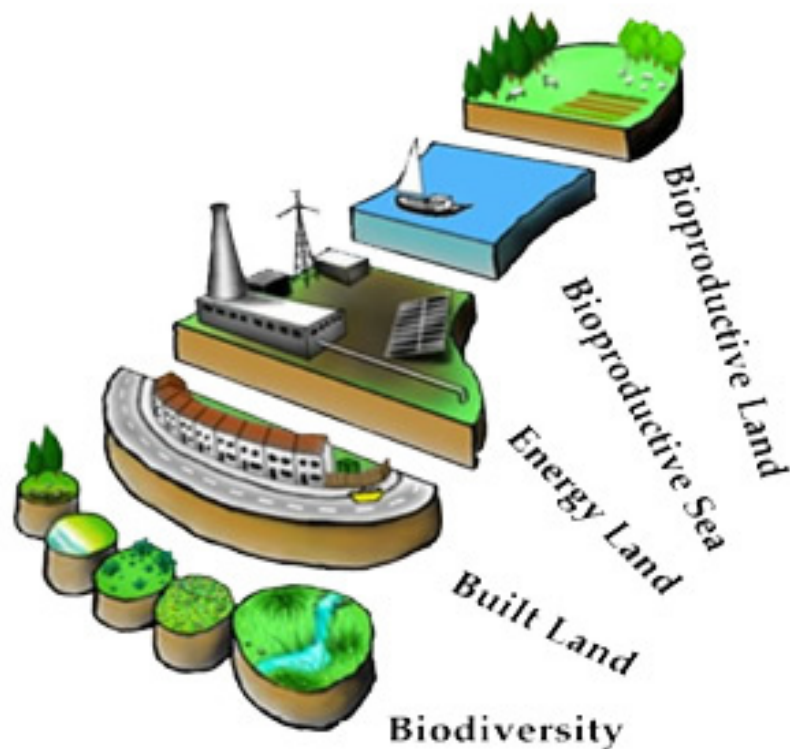


Figura 4: Tipos de áreas productivas

#### 4.1. Cálculo de los consumos

El consumo total de materiales y energía se calcula contabilizando el consumo anual de alimentos, productos forestales, consumo directo anual de energía y otros materiales, manufacturados o presentados de forma primaria. Dicho consumo estará formado por tres componentes: la producción de materiales y energía, en primer lugar. En segundo lugar, las importaciones de materiales y energía. Y por último, las exportaciones de los materiales o de energía que se produzcan en el país de origen. Este último apartado contabilizará de forma negativa sobre el total de los consumos.

Pero los consumos necesarios deberán ser transformados en superficie productiva, para lo que emplearemos la siguiente fórmula matemática<sup>15</sup>

$$AA_i = C_i / P_i \quad (1)$$

Donde:

AA: área apropiada para la producción de cada categoría (ha)

C: consumo total (toneladas (t) o gigajulios (GJ))

P: productividad (t/ha o GJ/ha)

<sup>15</sup> Acosta Bono G., González Daimiel J., Calvo Salazar M., Sancho Royo F., 2001. Estimación de la Huella Ecológica en Andalucía y Aplicación a la Aglomeración Urbana de Sevilla. Dirección General de Ordenación del Territorio y Urbanismo, Consejería de Obras Públicas de la Junta de Andalucía. Sevilla, España.

Para obtener los resultados de ocupación aplicaremos la siguiente expresión matemática:

$$aa_i = AA_i / N \quad (2)$$

Donde:

aa: representa el área apropiada para la producción de cada categoría por habitante (ha/cap<sup>16</sup>).  
 N: es el tamaño de la población que estemos analizando.

Finalmente, la huella ecológica se obtendrá de la siguiente forma:

$$he_N = \sum aa_i \quad (3)$$

expresada como ha/hab. y año.

O bien, mediante la expresión

$$HE = N * he \quad (4)$$

donde dicho indicador viene dado en unidades de ha/año.

#### 4.2. Tipos de territorio productivo<sup>17</sup>

Veamos ahora, los tipos de territorio productivo, ya enunciados anteriormente y que son los siguientes:

- 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.
- 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 punto 4.4. (déficit ecológico).

En la Fig.5 podemos ver la distribución de la huella ecológica mundial en función de los distintos tipos de territorio.

<sup>16</sup> Cap: abreviatura de per cápita, es decir, por habitante.

<sup>17</sup> Según la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN).

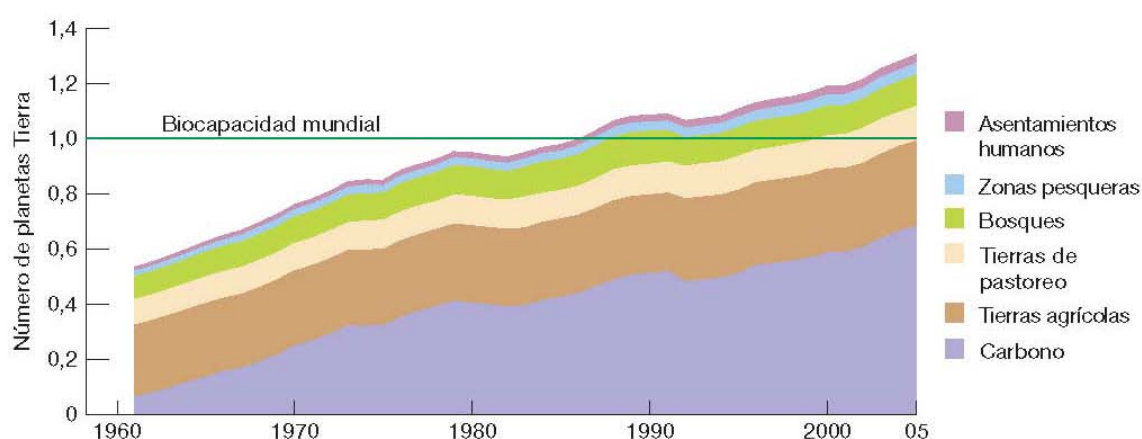


Figura 5: Huella ecológica por componente (Informe Planeta Vivo 2008)

### 4.3. Factores de conversión<sup>18</sup>

Los factores de conversión permiten transformar datos que están en determinadas unidades a unidades que sirvan para cuantificar los distintos componentes de la huella. Es decir, estos factores nos van a permitir comparar consumos de muy diverso origen geográfico o productivo mediante su transformación en hectáreas de superficie productiva. Los factores de conversión pueden ser de dos tipos:

1. 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.
2. 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 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.

### 4.4. Déficit ecológico<sup>19</sup>

Se define como la diferencia entre el área disponible (capacidad de carga) y el área consumida (huella ecológica). La capacidad de carga es la capacidad local disponible, teniendo en cuenta la

18 Acosta Bono G., González Daimiel J., Calvo Salazar M., Sancho Royo F., 2001. Estimación de la Huella Ecológica en Andalucía y Aplicación a la Aglomeración Urbana de Sevilla. Dirección General de Ordenación del Territorio y Urbanismo, Consejería de Obras Públicas de la Junta de Andalucía. Sevilla, España.

19 Acosta Bono G., González Daimiel J., Calvo Salazar M., Sancho Royo F., 2001. Estimación de la Huella Ecológica en Andalucía y Aplicación a la Aglomeración Urbana de Sevilla. Dirección General de Ordenación del Territorio y Urbanismo, Consejería de Obras Públicas de la Junta de Andalucía. Sevilla, España.



productividad del terreno y una reserva del 12% para conservación de la biodiversidad. En la Fig.6 podemos observar las desigualdades que existen entre los consumos de los distintos países, lo que a su vez genera desigualdades en los valores de huella ecológica. Los países desarrollados tienen elevados valores de HE, mientras que los subdesarrollados generalmente tienen una HE baja, que incluso puede hacerles que se obtenga superávit ecológico.

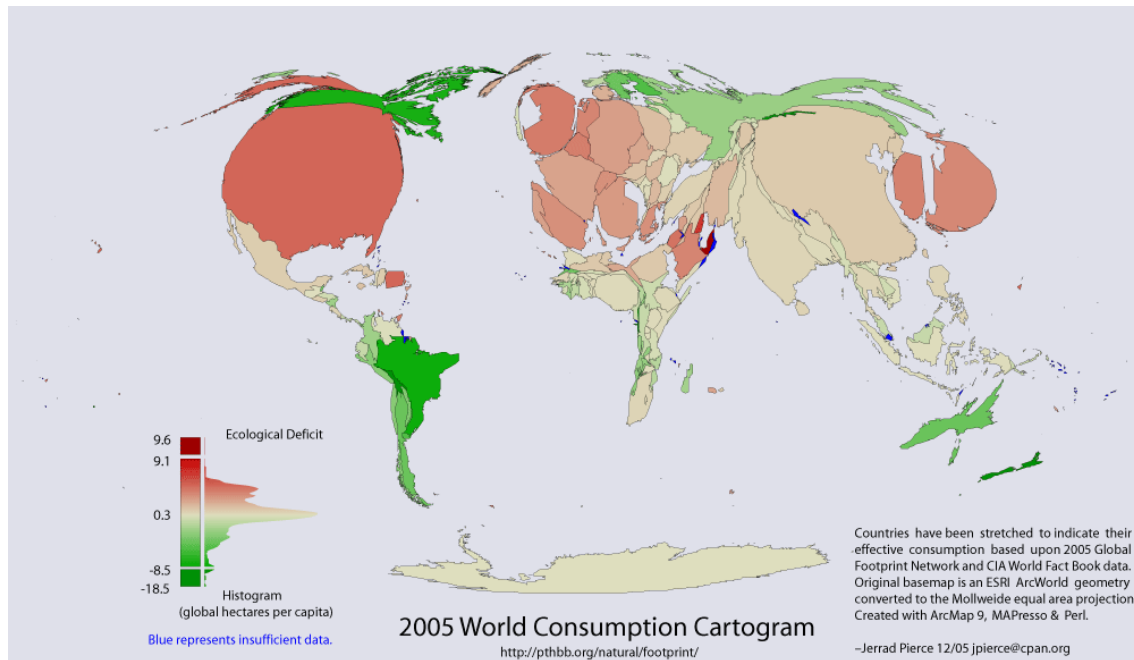


Figura 6: Mapa de los consumos mundiales (año 2005)

## 5. Escalas de aplicación del indicador HE

### 5.1. Escala planetaria (Modelo Planeta Vivo)<sup>20</sup>

Veremos a partir de ahora, diferentes formas de aplicar el indicador HE, según la escala sobre la que nos estemos moviendo (planetaria, metropolitana, urbana...).

En primer lugar analizaremos el caso de mayor generalidad, aquel en el que se realiza el cálculo de la huella que la humanidad marca sobre el Planeta Tierra. Para ello habrá que contabilizar todos los consumos mundiales de todas las categorías de uso ya mencionadas, considerando como superficie productiva toda la Tierra.

Para poder dar los resultados de HE no en áreas de superficie productiva local, sino a nivel mundial, los autores del indicador<sup>21</sup>, Rees y Wackernagel, idearon una metodología para la conversión de los distintos tipos de territorios (agricultura, pastos, bosques, mar productivo y usados directamente)

<sup>20</sup> WWF, Zoological Society of London, Global Footprint Network, 2008. Living Planet Report. WWF International. Suiza.

<sup>21</sup> Wackernagel M., Rees W., 2001. Nuestra Huella Ecológica: Reduciendo el Impacto Humano sobre la Tierra. LOM. Santiago de Chile, Chile.

en uno único que los abarcara a todos. Ello facilitaría conceptualmente la suma final de cada una de las categorías en una nueva entidad: el **territorio productivo estándar**<sup>22</sup>, cuyo factor de productividad es 1. Ese territorio productivo estándar se expresa en hectáreas globales, es decir, aquellas hectáreas con productividad biológica promedio a nivel mundial. En la Fig.7 representamos la HE por persona y por país en hag (hectáreas globales). La HE de España se sitúa entre las más altas, con un valor cercano a 6 hag por persona y año, mientras que la HE mundial no llega a 3 hag por persona. La biocapacidad o capacidad de carga del planeta se sitúa, para fecha de 2005, en 2,1 hag por persona, lo que sitúa al Planeta Tierra en la fase de extralimitación.

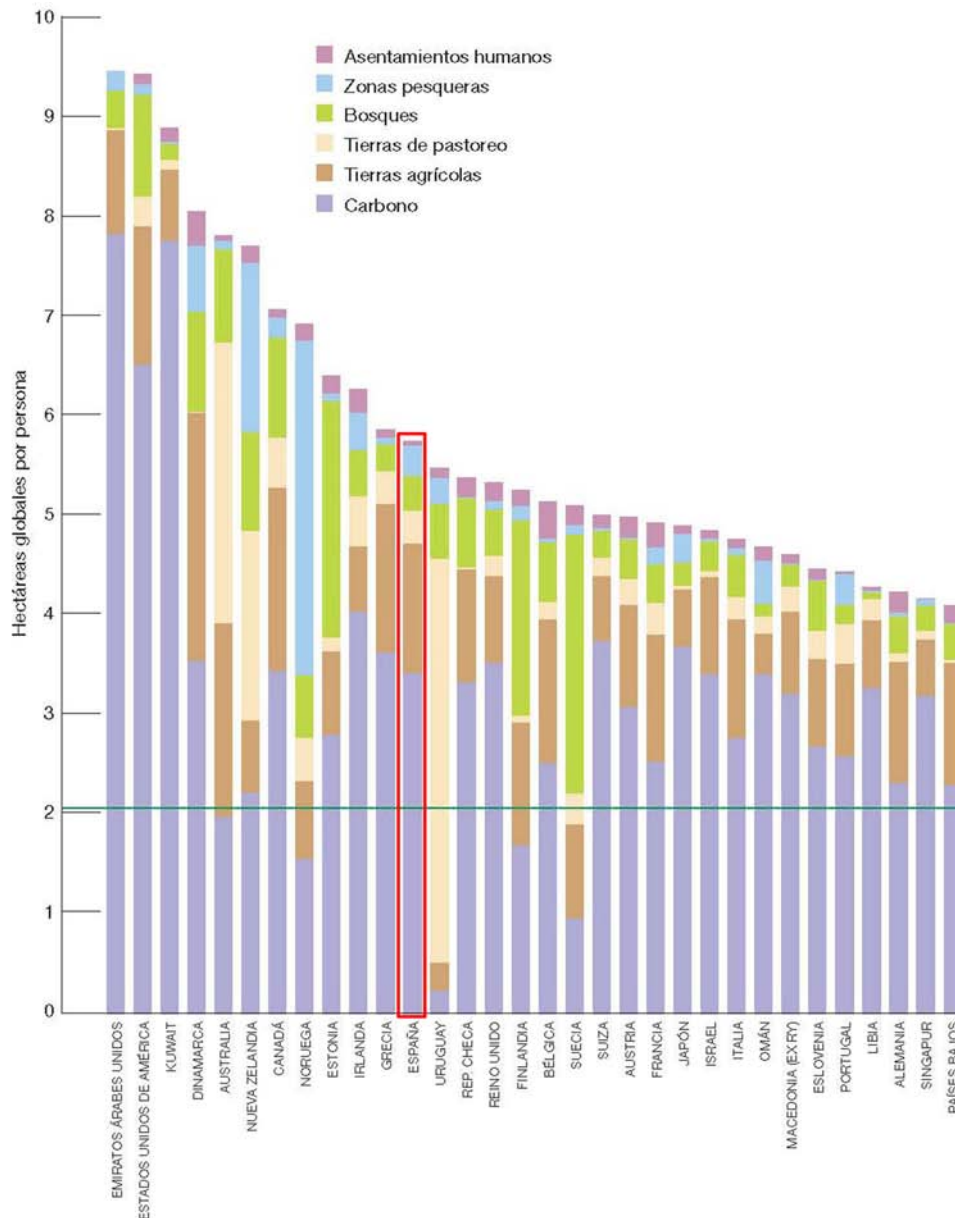


Figura 7: La HE por persona y país (Informe Planeta Vivo 2008)

22 Las hectáreas de terreno productivo estándar definen el concepto Huella Ecológica ponderada.

Los cálculos de la huella a nivel mundial o de nación utilizan **factores de productividad** (Tabla 1) para dar cuenta de las diferencias nacionales en la productividad biológica (por ejemplo, las toneladas producidas de trigo por hectárea en Reino Unido o en Argentina, comparadas con el promedio mundial) y **factores de equivalencia** para dar cuenta de las diferencias en los promedios mundiales de productividad entre los diferentes tipos de paisaje (por ejemplo, el promedio mundial de productividad de los bosques comparado con el promedio mundial de las tierras agrícolas).

	Principales tierras agrícolas	Bosques	Tierras de pastoreo	Pesquerías marinas
Mundo	1,0	1,0	1,0	1,0
Argelia	0,6	0,0	0,7	0,8
Guatemala	1,0	1,4	2,9	0,2
Hungría	1,1	2,9	1,9	1,0
Japón	1,5	1,6	2,2	1,4
Jordania	1,0	0,0	0,4	0,8
N.Zelanda	2,2	2,5	2,5	0,2
RPD Laos	0,8	0,2	2,7	1,0
Zambia	0,5	0,3	1,5	1,0

Tabla 1: Factores de productividad para países seleccionados (Informe Planeta Vivo 2006)

Existen hipótesis en la metodología de la determinación de la HE que nos permiten evitar el cálculo de determinados factores de productividad. Según dicha metodología, existen territorios a los que no hay que calcular su factor de productividad, ya que dicho factor se asimila a alguno de otro tipo de territorio. En la actualidad, únicamente hay que efectuar el cálculo de dichos factores para los territorios agrícola, ganadero y forestal. A los otros territorios se les aplica las siguientes hipótesis:

- El territorio utilizado directamente se considera como territorio agrícola, dado que la mayoría de las infraestructuras y espacio construido están ubicadas en zonas de calidad agrícola. Esta afirmación es excesivamente generalista, puesto que no responde a la realidad de muchas situaciones concretas, pero se acepta como hipótesis para el cálculo.
- El territorio de absorción de CO<sub>2</sub> es considerado homólogo al forestal.
- El mar productivo tiene un factor de productividad 1, pues se asume que las zonas de mar productivo son igual de productivas estén donde estén. Existen algunas excepciones, pero es aplicable a la mayoría de países.

Indudablemente en estos tres casos se están haciendo simplificaciones, necesarias en todos estos cálculos para poder llegar a resultados relevantes.

Para el caso de Andalucía los datos disponibles son los siguientes (Tabla 2):

	Territorio agrícola	Bosques	Pastos	Mar productivo
2001 <sup>23</sup>	1,2	0,33	1,1	1
2007 <sup>24</sup>	1,22	0,24	1,09	1

Tabla 2: Factores de productividad para Andalucía

Los factores de equivalencia (Tabla 3) se emplean para comparar la productividad mundial de cada tipo de territorio. Cada categoría de territorio presenta una productividad intrínseca que debe ser considerada en el cálculo final. En efecto, no sólo desde una consideración puramente ecológica, sino también desde sus implicaciones para la sociedad humana, las tierras de cultivo son objetivamente las más valiosas, ya que ellas fijan más energía “útil” para el hombre que otras como los pastos o el bosque. Hechas estas consideraciones, podríamos dar respuesta a preguntas como: si hubiera de requerirse territorio forestal para compensar un déficit en tierras de cultivo, ¿cuántas hectáreas de bosque equivaldrían a una de cultivo?

	hag/ha
Principales tierras agrícolas	2,21
Tierras agrícolas marginales	1,79
Bosques	1,34
Tierras de pastoreo permanentes	0,49
Marinas	0,36
Aguas continentales	0,36
Asentamientos humanos	2,21

Tabla 3: Factores de equivalencia 2003 (Informe Planeta Vivo 2006)

El último factor que se emplea en el cálculo de la HE a nivel mundial o nacional es el factor de conversión. Los factores de conversión se emplean para poder comparar los cálculos de hectáreas globales específicas realizadas en cada año, en términos del cambio anual tanto en el número total de hectáreas bioproductivas, como en el promedio mundial de la productividad por hectárea.

Para simplificar la comparación de año en año entre los resultados de la huella y de la biocapacidad, se presentan las tendencias hasta el presente en hectáreas globales constantes de 2003. En forma similar al uso de unidades monetarias ajustadas a la inflación en la estadística económica, el uso de hectáreas globales constantes permite ver el cambio a través del tiempo en los niveles ab-

23 Acosta Bono G., González Daimiel J., Calvo Salazar M., Sancho Royo F., 2001. Estimación de la Huella Ecológica en Andalucía y Aplicación a la Aglomeración Urbana de Sevilla. Dirección General de Ordenación del Territorio y Urbanismo, Consejería de Obras Públicas de la Junta de Andalucía. Sevilla, España.

24 Calvo M., 2007. Informe de Síntesis: Análisis Preliminar de la Huella Ecológica en España. Secretaría General para el Territorio y la Biodiversidad. Ministerio de Medio Ambiente. España.

solutos de consumo y de bioproductividad, en vez de mostrar simplemente una tasa proporcional entre los dos. La tabla 4 muestra la conversión de hectáreas globales específicas de algunos años seleccionados, en hectáreas globales constantes de 2003.

	hag de 2003 /ha
1961	0,86
1965	0,86
1970	0,89
1980	0,90
1985	0,92
1990	0,95
1995	0,97
2000	0,99
2003	1,00

Tabla 4: Factores de conversión (Informe Planeta Vivo 2006)

Para evitar exagerar la demanda de la humanidad sobre la naturaleza, la HE mundial incluye sólo los aspectos del consumo de recursos y de la producción de desechos para los cuales la Tierra tiene capacidad regenerativa y para los cuales existe información que permita que esta demanda se exprese en términos de área productiva. Por ello, no se incluyen en la HE otros, como son las extracciones de agua dulce, aunque sí se incluye la energía utilizada para extraerla o tratarla.

La Huella Ecológica total de una nación o de la humanidad es calculada en función del número de personas que consumen, de la cantidad promedio de bienes y servicios que consume una persona promedio y de la intensidad en el uso de recursos de estos bienes y servicios. Puesto que la contabilidad de la huella es histórica, no predice cómo cambiarán estos factores en el futuro. Sin embargo, si la población crece o disminuye (o si cambia cualquiera de los otros factores), esto se verá reflejado en la contabilidad futura de la huella o en el valor de la biocapacidad. La contabilidad de la huella también puede mostrar la manera en que se distribuye el consumo de recursos entre regiones. Por ejemplo, la huella total de la región Asia-Pacífico, con una población alta pero con una huella baja por persona, puede ser comparada con la de América del Norte, con una población mucho más baja pero con una huella por persona mucho mayor (Fig.8).

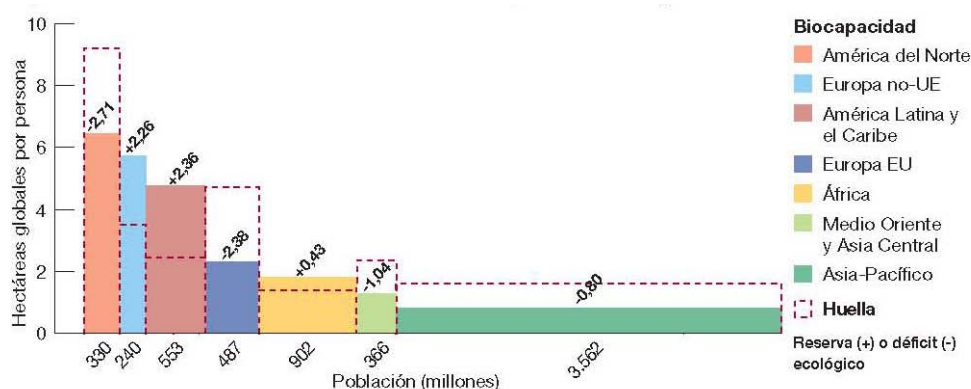


Figura 8: Biocapacidad y HE por región (año 2005. Informe Planeta Vivo 2008)

Así, la huella documenta lo que ha ocurrido en el pasado. Cuantifica los recursos ecológicos utilizados por un individuo o por una población, pero no puede prescribir lo que deberían estar utilizando. La asignación de recursos es un asunto de política, basado en lo que la sociedad considera equitativo o no equitativo.

La Huella Ecológica describe la demanda de la humanidad sobre la naturaleza. Actualmente<sup>25</sup> existen 2,1 hectáreas globales de biocapacidad disponible por persona en la Tierra —aún menos si se reserva parte de esta productividad biológica para el uso de las especies silvestres. El valor que la sociedad le asigne a la biodiversidad determinará el tamaño de las zonas de amortiguamiento asignadas a la biodiversidad. Los esfuerzos para aumentar la biocapacidad, tales como el monocultivo y la aplicación de pesticidas, pueden también aumentar la presión sobre la biodiversidad, lo cual implica tener que aumentar el tamaño de la zona de amortiguamiento requerido para alcanzar los mismos resultados.

El análisis de la huella refleja tanto los aumentos en la productividad de los recursos renovables (por ejemplo, si se aumenta la productividad de las tierras agrícolas, por ende disminuirá la huella de una tonelada de trigo) como las ventajas de las innovaciones tecnológicas (por ejemplo, si la industria de papel duplica la eficiencia general en la producción de papeles, la huella por tonelada de papel se reducirá a la mitad). La contabilidad de la Huella Ecológica registra estos cambios a medida que se van dando y puede determinar el grado de éxito de estas innovaciones para conseguir que la demanda de la humanidad no exceda los límites de la capacidad de los ecosistemas del Planeta.

## 5.2. Escala urbana

Para introducirnos en la problemática de 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 versus descentralización)
- Localización de las viviendas dentro de la ciudad (alta o baja densidad de población)
- Las áreas residenciales
- Tipos de viviendas (unifamiliares o colectivas)

<sup>25</sup> Datos de 2005.

En el siguiente esquema podemos observar los distintos modelos de ciudad. Según Holden<sup>26</sup>, el modelo idóneo sería el policéntrico, también denominado modelo de concentración descentralizada.

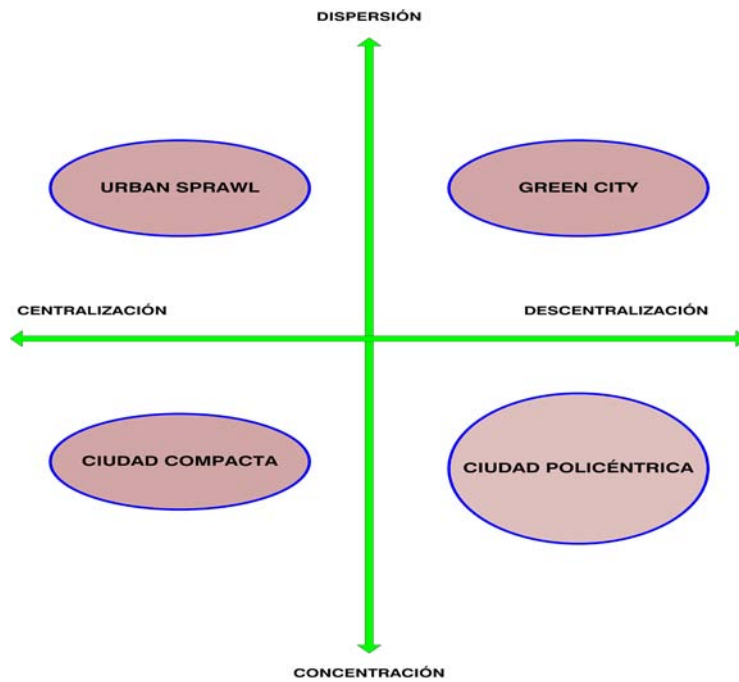


Figura 9: Los modelos de ciudad<sup>27</sup>

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 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<sup>28</sup> en 1,5 ha/año para poblaciones de alta densidad, y de 2 ha para las de baja densidad. De estos datos podemos establecer algunos factores de influencia que pueden hacer que la HE disminuya, tales como la alta densidad en áreas residenciales, la reducción de distancia al centro de la ciudad o el diseño de vivienda densa y concentrada.

Siguiendo con el análisis de HE, hay que decir que aunque en la contabilidad de la Huella Nacional<sup>29</sup> se han estandarizado los cálculos de las Huellas Ecológicas globales y nacionales, existen diversas maneras de calcular la huella de una ciudad o una región.

La familia de los enfoques **“basados en procesos”<sup>30</sup>** usa fórmulas y estadística suplementaria para asignar la huella nacional per cápita a las categorías de consumo (tales como alimentos, vivienda, movilidad, bienes y servicios). Los promedios de la huella per cápita en el ámbito regional o municipal se calculan escalando estos resultados nacionales hacia arriba o hacia abajo, dependiendo de las diferencias entre los patrones nacionales y locales de consumo.

26 Holden E, 2004. Ecological Footprints and Sustainable Urban Form. Journal of Housing and the Built Environment 19, 91-109.

27 Holden E, 2004. Ecological Footprints and Sustainable Urban Form. Journal of Housing and the Built Environment 19, 91-109.

28 Holden E, 2004. Ecological Footprints and Sustainable Urban Form. Journal of Housing and the Built Environment 19, 91-109.

29 WWF, Zoological Society of London, Global Footprint Network, 2008. Living Planet Report. WWF International. Suiza.

30 También llamado análisis de HE por componentes.

La familia de los enfoques “**insumo-producción**<sup>31</sup>” utiliza cuadros de insumos (recursos) y producción monetarios, físicos o híbridos, para asignar la demanda global a las categorías de consumo.

Como ejemplo del enfoque por procesos, podemos enumerar los elementos habituales del análisis de HE para regiones u organizaciones<sup>32</sup>:

1. Electricidad consumida por hogares
2. Gas consumido por hogares
3. Electricidad (otros usos)
4. Gas (otros usos)
5. Reciclaje de vidrio
6. Reciclaje de papel y cartón
7. Reciclaje de metales
8. Reciclaje de compost
9. Reciclaje de otros residuos domésticos
10. Residuos domésticos
11. Residuos comerciales (papel, metal, etc.)
12. Residuos inertes (ladrillos, cemento, etc.)
13. Alimentos
14. Productos de madera
15. Viajes en coche
16. Viajes en autobús
17. Viajes en tren
18. Viajes en avión
19. Transporte de mercancías por carretera
20. Transporte de mercancías por tren
21. Transporte de mercancías marítimo
22. Transporte de mercancías aéreo
23. Consumo de agua por hogar

La metodología de HE a escala ciudad que se emplea en la actualidad usa modelos híbridos que mezclan los dos enfoques, aunque respetando siempre el modelo de contabilidad de la Huella a escala nación.

Una vez mostrados los enfoques metodológicos, veamos brevemente dos ejemplos representativos de cálculo de HE urbana.

### **a. Cálculo de la huella ecológica de Andalucía**

Este estudio fue realizado en el año 2001<sup>33</sup>, siendo la primera aproximación documentada acerca del cálculo de HE en la región andaluza. Su acercamiento se basaba principalmente en el análisis I-O. Los aspectos más relevantes para nuestra investigación, es decir, para el ámbito de la edifica-

31 También llamado análisis INPUT-OUTPUT (I-O). El modelo I-O fue desarrollado por Wassily Leontieff. Su modelo dinámico consideraba que para que un producto cualquiera pudiera ser fabricado era necesario la utilización de inputs corrientes, procedentes de los diferentes sectores de la producción, así como de la existencia de bienes de capital tales como instalaciones, máquinas, etc.

32 Chambers N., Simmons C., Wackernagel M., 2004. *Sharing Nature's Interest: Ecological Footprints as an Indicator of Sustainability*. Sterling Earthscan. London, Great Britain.

33 Acosta Bono G., González Daimiel J., Calvo Salazar M., Sancho Royo F., 2001. *Estimación de la Huella Ecológica en Andalucía y Aplicación a la Aglomeración Urbana de Sevilla*. Dirección General de Ordenación del Territorio y Urbanismo, Consejería de Obras Públicas de la Junta de Andalucía. Sevilla, España.



ción, que se analizaron en dicho documento fueron los bienes de consumo, la energía y el suelo consumido directamente.

Mediante el cálculo de la superficie productiva consumida por bienes de consumo, energía y suelo consumido directamente se está cuantificando el espacio productivo necesario para suministrar a la población de Andalucía los servicios que requiere en cuanto al consumo de materiales y energía.

Sobre el total de la HE de Andalucía, los tres aspectos de interés representaban los siguientes porcentajes en el año 2001: energía el 40%, los bienes de consumo el 1% y los usos directos (suelo consumido directamente) el 1%.

Para poder dar los resultados de HE no en áreas de superficie productiva local, sino a nivel mundial, se emplea el concepto de territorio productivo estándar, ya comentado anteriormente.

Siguiendo con el concepto anterior, **la huella ecológica ponderada** (hectáreas de terreno productivo estándar) sirve para establecer comparativas entre distintas regiones. Por ejemplo, si hubiéramos calculado la HE de Andalucía a nivel local y quisiéramos conocer la HE ponderada podríamos establecer el siguiente procedimiento de cálculo:

Categoría de consumo	HE local (ha/cap)	Factor de equivalencia (hag/ha)	HE ponderada (hag/cap)
Energía	-	1,35	-
Terreno utilizado	-	2,20	-
Agricultura	-	2,20	-
Ganadería	-	0,50	-
Forestal	-	1,35	-
Pesca	-	0,35	-

Tabla 5: Cálculo de la huella ecológica ponderada

Donde la HE ponderada se calcula de la siguiente forma:

$$\boxed{HE_p = HE * FE} \quad (5)$$

Donde:

$HE_p$ : huella ecológica ponderada (hag/cap)

HE: huella ecológica (ha/cap)

FE: factor de equivalencia (hag/ha)

En este caso no es necesario emplear el factor de productividad porque los índices de productividad son mundiales.

Para conocer el espacio productivo disponible en los mismos términos, se realizaría el siguiente cuadro:

Categorías de productividad de territorio	Factor de productividad (productividad corregida)	Territorio productivo (ha)	Territorio productivo estándar (hag/cap)
Absorción de CO <sub>2</sub>	0,33	-	-
Terreno utilizado	1,20	-	-
Cultivos	1,20	-	-
Pastos	1,10	-	-
Forestal	0,33	-	-
Mar productivo	1,00	-	-

Tabla 6: Cálculo del territorio productivo estándar

Donde el territorio productivo estándar se ha determinado según la siguiente expresión:

$$\boxed{Tpe = Tp * FP * FE} \quad (6)$$

Donde:

Tpe: territorio productivo estándar (hag/cap)

Tp: territorio productivo (ha/cap)

FP: factor de productividad

FE: factor de equivalencia

Al emplear territorios productivos locales, es necesario incluir el factor de productividad (segunda columna de la tabla 6) para dar los resultados en índices globales. Si además queremos reservar un porcentaje determinado de territorio para biodiversidad, la expresión corregida sería la siguiente:

$$\boxed{Tpc = Tpt - Tb} \quad (7)$$

Donde:

Tpc: territorio productivo corregido

Tpt: territorio productivo total

Tb: territorio para biodiversidad (12%)

El territorio productivo se denomina también biocapacidad o capacidad de carga.

Por último, para determinar el déficit ecológico de nuestra población empleamos la expresión:

$$D = HE_p - Tpe \quad (8)$$

Donde:

D: déficit ecológico

$HE_p$ : huella ecológica ponderada

$Tpe$ : territorio productivo estándar

### b. Cálculo de la huella ecológica de Londres: software REAP<sup>34</sup>

El software REAP<sup>35</sup> se ha empleado durante los últimos años para la evaluación de políticas de construcción sostenible realizadas en Gran Bretaña. El caso de estudio aquí considerado fue encargado por las autoridades responsables de la planificación urbanística de Londres y de su aglomeración urbana (The London Plan of the Greater London Authority). El documento estratégico que se estaba redactando, pretendía, entre sus objetivos principales, el fomento de la construcción sostenible, especialmente desde la dimensión medioambiental. Así, algunas de las acciones que impulsaba el Plan Estratégico eran la protección de árboles autóctonos, la creación de nuevos hábitats, la conservación de las aguas, el uso de materiales reciclados, la promoción de la eficiencia energética en los edificios o la introducción de nuevos métodos de generación de energía, entre otros.

La investigación que se llevó a cabo se centraba en las decisiones que se pueden tomar en el desarrollo del planeamiento para promover la sostenibilidad en nuevas edificaciones, presentando el resultado de estudio de huella ecológica en las construcciones de viviendas estándar en Londres.

La herramienta REAP, diseñada por el Stockholm Environment Institute (SEI) emplea tanto los enfoques por componente como los de I-O ya comentados anteriormente, aunque haciendo más hincapié en el primero. REAP usa un análisis ampliado de I-O para asignar puntuación de HE a actividades de consumo en categorías de demanda final, creando un vínculo entre la red global de HE y las bases de datos monetarias de consumo basadas en PRODCOM (Products of the European Community). A partir de los datos de HE de cada país, se desagregan para aplicarlos a distintos sectores, como puede ser entre otros la vivienda. Los flujos de materiales a nivel nacional e internacional y los ACV<sup>36</sup> se combinan con los análisis de entrada y salida.

---

34 Resources and Energy Analysis Program.

35 Nye M., Rydin Y., 2008. The Contribution of Ecological Footprinting to Planning Policy Development: Using REAP to Evaluate Policies for Sustainable Housing Construction. *Environment and Planning B: Planning and Design* 35(2) 227 – 247.

36 Análisis de Ciclo de Vida.

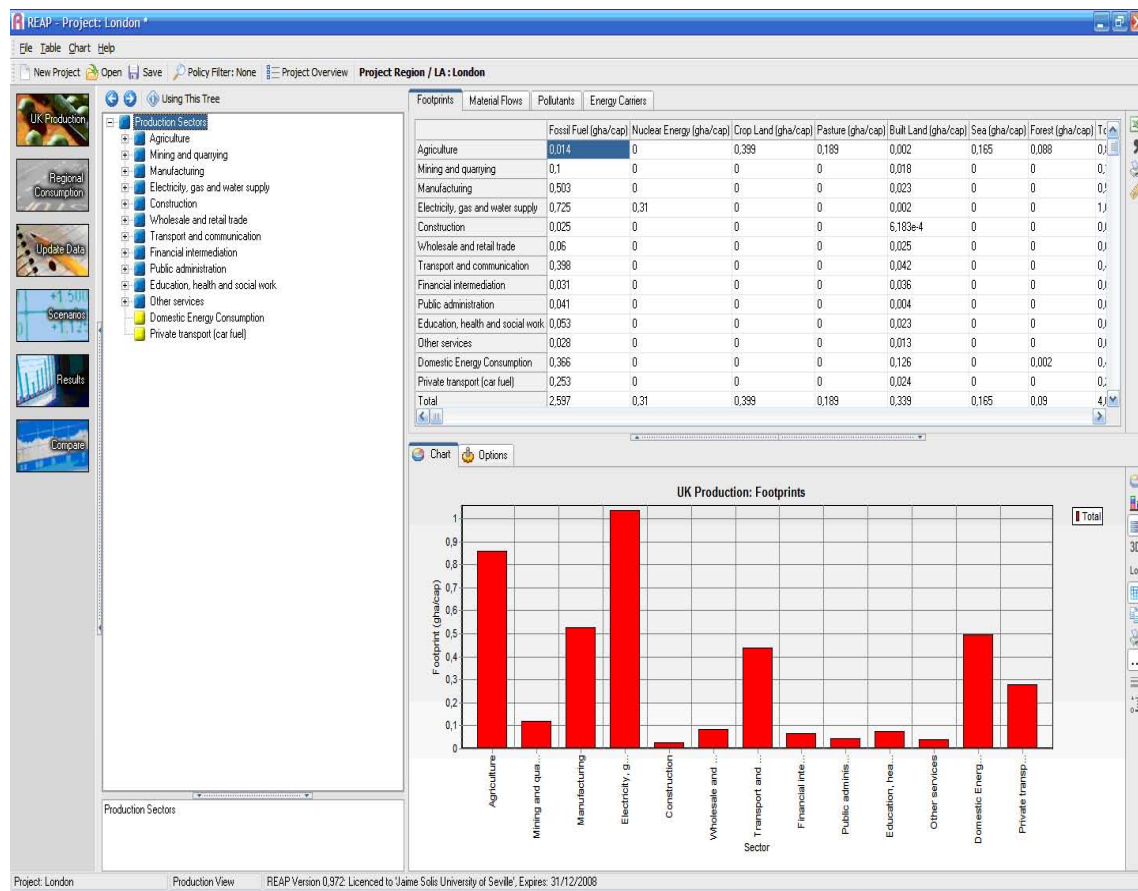


Figura 10: Interfaz de entrada del software REAP (2008)

Como podemos ver en la Fig.10, el software analiza sectores como la agricultura, la minería, los consumos domésticos o el transporte privado, obteniendo la HE desglosada para los distintos sectores. El ejemplo mostrado corresponde a Londres, empleando la versión del software del año 2007.

El software dispone de datos actualizados de los impactos ambientales que cada uno de los sectores genera. Así, podemos ver en las Fig.11 y 12 los interfaces de datos para el sector vivienda y transporte, respectivamente.

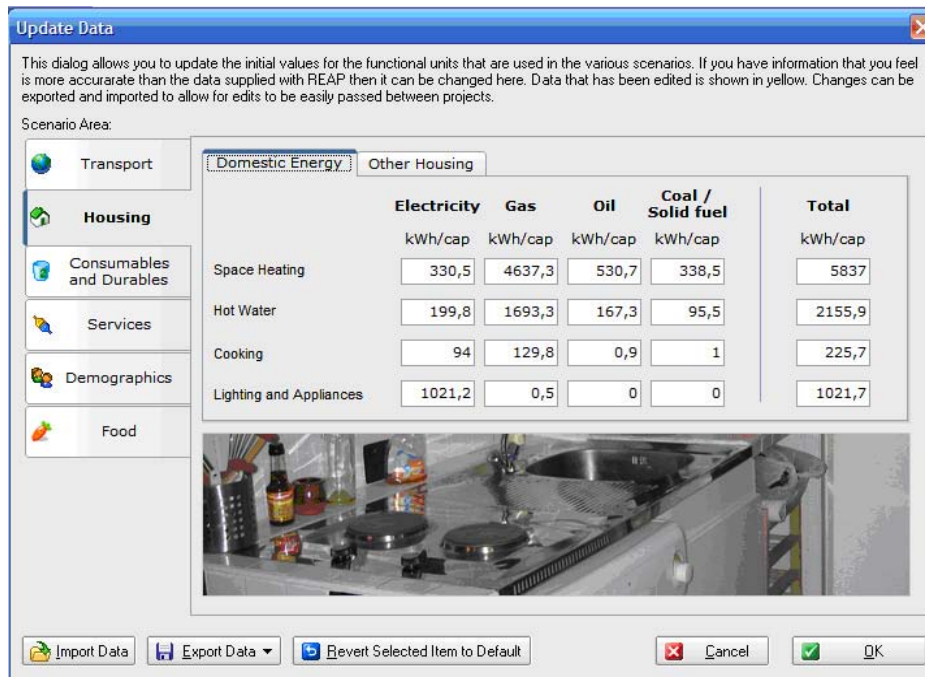


Figura 11: Interfaz de datos para sector vivienda (REAP 2008)

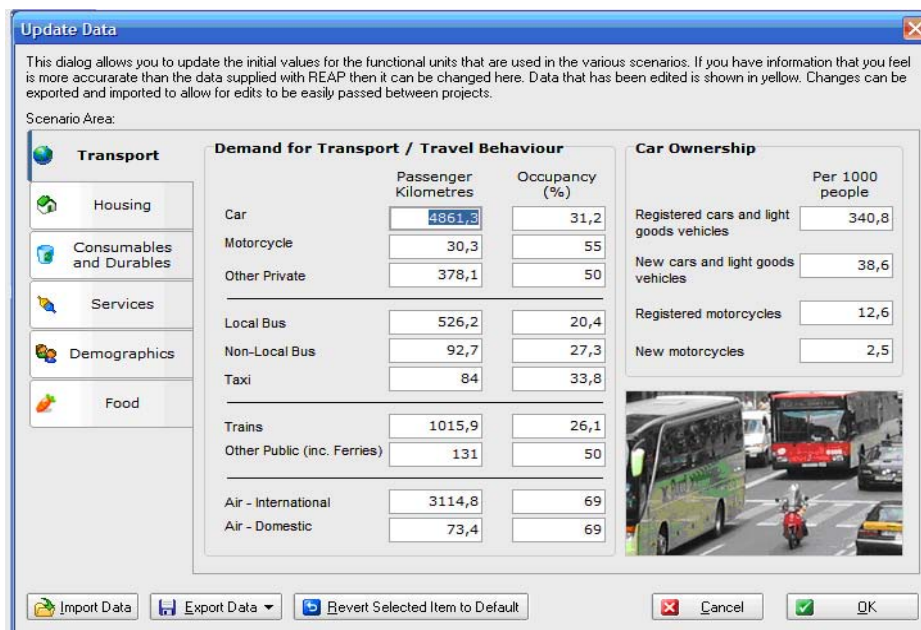


Figura 12: Interfaz de datos para sector transporte (REAP 2008)

La metodología del sistema se basa en la realización de matrices donde cada celda es un sector económico o área de actividad recogida en el listado de la Unión Europea. Mediante formulación matemática se puede obtener, partiendo de los datos de HE a nivel nacional, las huellas de las actividades recogidas en cada una de las celdas, que posteriormente se agruparán en función de los distintos sectores que recoge la figura 10.

Además, el software permite comparar la HE de distintas poblaciones, como en el ejemplo de la Fig.13 donde evaluamos la HE de Londres y la comparamos con la del Sudeste de Gran Bretaña.

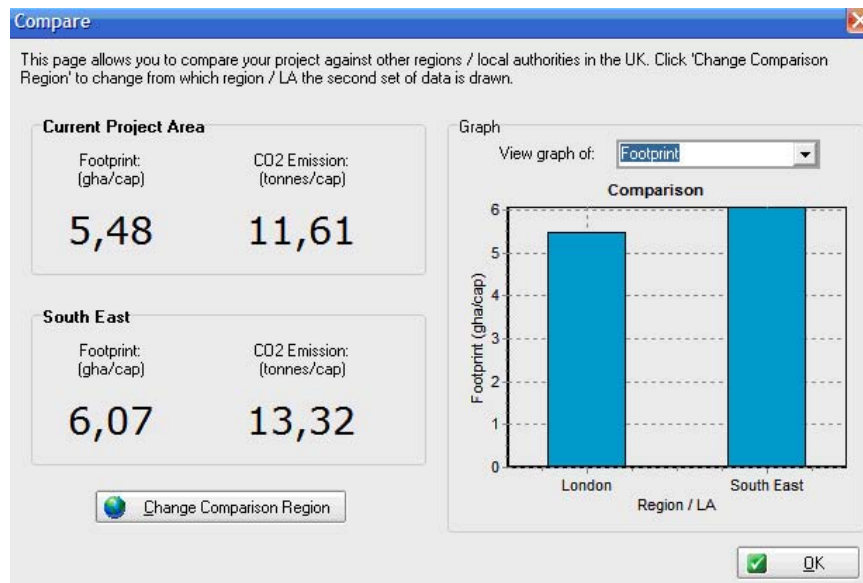


Figura 13: Análisis comparativo de HE (REAP 2008)

Pero el aspecto más relevante de REAP es que permite a los planificadores generar diversos escenarios de planificación sostenibles dentro de las estrategias de desarrollo, tal y como se empleó en el Plan Estratégico de Londres, mencionado anteriormente. Algunos de los aspectos que se pueden evaluar mediante REAP dentro del sector de la vivienda son el empleo de energías más eficientes (calefacción comunitaria o CHP<sup>37</sup>), el ahorro en el consumo de agua, transporte privado más eficiente, el reciclaje de residuos domésticos o el empleo de materiales reciclados en la construcción de nuevas viviendas. En las Fig.14 y 15 vemos esos escenarios alternativos para el consumo doméstico y el transporte, respectivamente.

37 Combined Heat and Power

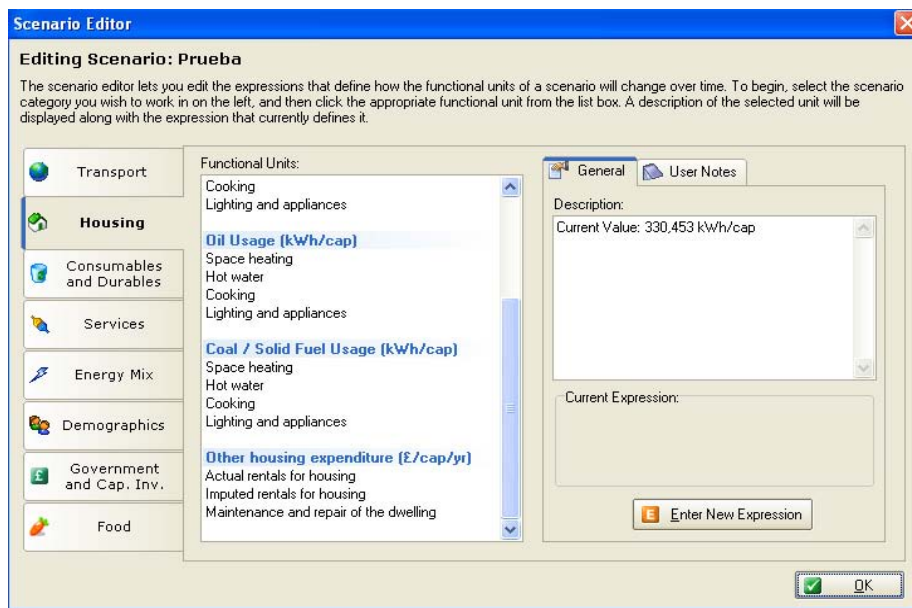


Figura 14: Escenarios para el consumo doméstico (REAP 2008)

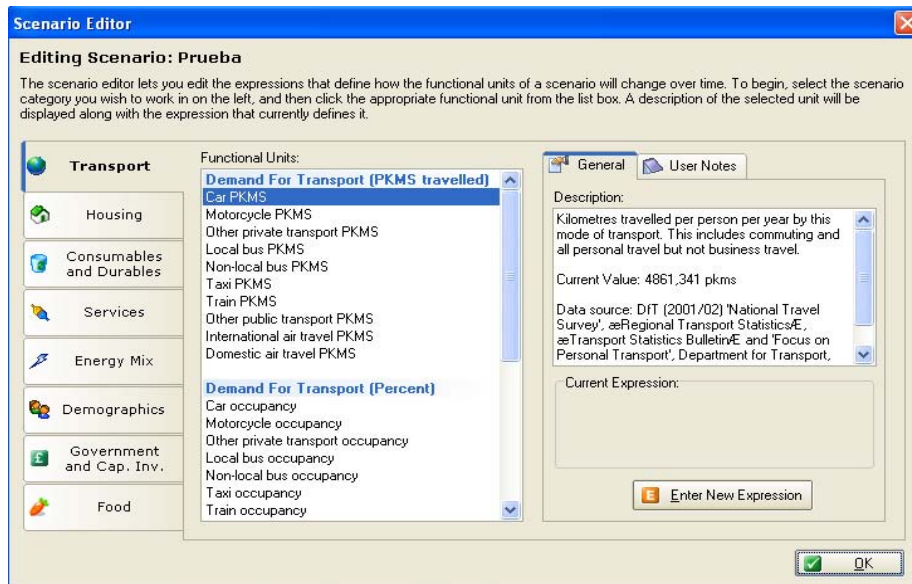


Figura 15: Escenarios para el transporte privado (REAP 2008)

Estudios posteriores del SEI han permitido mejorar las prestaciones de REAP, dando como resultado análisis de HE por componentes tales como materiales, energía, agua o residuos.

Parte de este enfoque por componentes será empleado en los capítulos posteriores para analizar los distintos factores de impacto que podemos encontrar en el sector edificación.

Para finalizar este apartado, veamos las fortalezas y debilidades del software REAP. Entre las primeras, citaríamos el análisis exhaustivo que hace el software del impacto medioambiental de las

políticas de desarrollo, mediante la presentación de diversos escenarios. Además tiene en consideración las mutuas interrelaciones entre los sectores económicos, o como en el caso de esta investigación, entre los componentes que aportan impacto de HE a las viviendas. Y entre las segundas, podríamos citar el problema de emplear la HE como indicador de sostenibilidad. Ya se comentó en este mismo capítulo que la HE no dibuja imágenes dinámicas de las condiciones de cambio, ni dice nada acerca de la calidad de vida. Tampoco señala la seguridad o futuribilidad de recursos específicos, aunque presenta el área que excede el consumo de recursos razonable. Como último aspecto, indicar que no es fácil trasladar el análisis REAP hasta el nivel consumidor, ya que generalmente esos datos no están disponibles para ese nivel.

Por tanto, podemos concluir que la herramienta REAP tiene un considerable potencial en el campo de las políticas de planificación, incluidas las urbanísticas, que tiene debilidades inherentes a las características propias del indicador HE y que ha sido una herramienta muy útil para saber cómo debíamos enfocar la investigación para el desarrollo de la metodología que nos permita calcular la HE del sector edificación.





## Objetivos y metodología de investigación

En el Estado de la Cuestión hemos sentado las bases para conocer la huella ecológica. Así, hemos definido el indicador, se ha planteado el procedimiento de cálculo y cómo se podía aplicar según la escala de trabajo. Además, se explicaron brevemente dos casos relevantes: el estudio de la HE de Andalucía y de Londres, mediante dos procedimientos complementarios: el análisis I-O y por componentes.

En este apartado estableceremos las bases metodológicas para desarrollar nuestra investigación. Como ya se han analizado las características fundamentales del indicador, ahora centraremos la cuestión en el cálculo del mismo en nuestro ámbito de investigación.

### 1. Objetivos

Los objetivos de la investigación se centrarán en desarrollar una metodología para calcular la huella ecológica del sector residencial de la edificación. El ámbito de estudio se centrará en la fase de implantación y construcción de las edificaciones residenciales, tal y como se recoge en la Fig.16. La complejidad de los cálculos de huella ecológica impide extender la investigación a las otras dos fases del ciclo de vida de los edificios, la de uso y la de demolición. Por tanto, el análisis de la huella de la vida útil del edificio (uso, mantenimiento y demolición) no se incluye en esta investigación, y podrá ser motivo de futuros estudios.

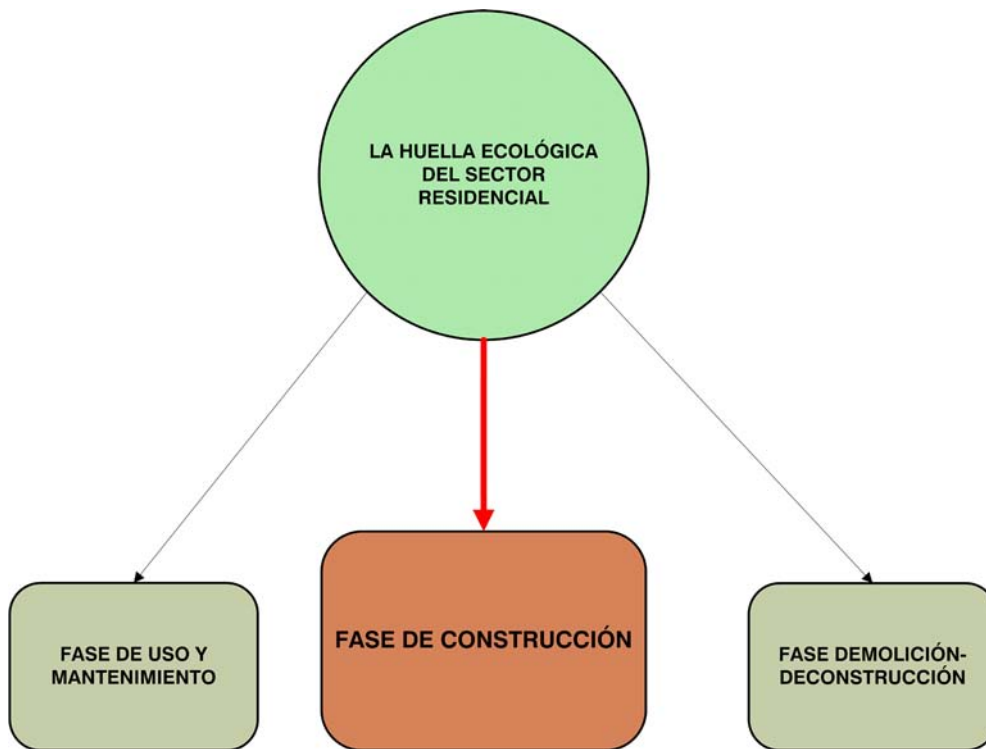


Figura 16: Ámbito de aplicación de la investigación

## 2. Metodología

A continuación explicaremos cual será la metodología a seguir para alcanzar los objetivos propuestos en el apartado anterior. En primer lugar haremos referencia a la parte teórica de la investigación, y después explicaremos cómo afrontar la parte práctica. Dicha metodología se recoge en la Fig.17, expuesta en forma de árbol.

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. Se encuentran en el nivel superior del árbol de la Fig.17:

- Los consumos directos
- Los consumos indirectos
- La generación de residuos
- La superficie construida

Los consumos directos son aquellos que provocan el empleo directo de recursos en la obra, bien a través del gasto de energía (en forma de combustible o electricidad) o de agua. Ambos se ubican en el segundo nivel del árbol, catalogados como recursos (ver recuadro de códigos de dicha figura).

Los consumos indirectos provocan el empleo indirecto de recursos, ya que los recursos materiales o energéticos utilizados provienen de otros previos, que son en nuestro caso:

- La mano de obra
- El consumo de materiales de construcción

El consumo de mano de obra en la construcción de viviendas genera por una parte, gasto de alimentos por parte de los operarios, y por otra, empleo de combustible derivado de la movilidad de los operarios (desplazamientos hasta el lugar en el que se ubica la construcción).

Por su parte, los materiales de construcción, a través de los procesos de fabricación, transporte y puesta en obra (ver Fig. 17) consumen combustible (transporte de los materiales a la obra) o energía (necesaria para la fabricación de los materiales y su puesta en obra). Desde el punto de vista del análisis de HE, el estudio cuantitativo de los materiales de construcción no es lo más relevante, sino cómo se traduce esa cantidad consumida en recursos que sí son expresables en términos de HE. Por eso se transforma esa cantidad en gasto de energía primaria, al igual que se hace con la electricidad o la movilidad.

El tercer factor de impacto son los residuos que se generan en la fase de construcción. Nos centraremos fundamentalmente en los residuos de construcción y demolición (RCD).

Y la última fuente de impacto es la propia superficie construida, que provoca el consumo de territorio, y por tanto, una huella sobre el mismo.

Hemos visto que cada una de las fuentes de impacto emplea recursos (energía, agua, mano de obra, materiales) o genera residuos.

A través de los elementos intermedios (ver recuadro de códigos de la figura 17) transformamos esos consumos en elementos que nos permitirán definir las distintas huellas que conforman la huella global del sistema de estudio, y que se verán detenidamente en los próximos apartados.

Son elementos intermedios:

- Los combustibles
- La electricidad
- La movilidad
- El transporte de materiales a la obra
- La fabricación de los materiales de construcción
- Las emisiones de CO<sub>2</sub>
- El territorio necesario para absorber las emisiones de CO<sub>2</sub>
- El territorio ocupado por las distintas fuentes de impacto

Y los distintos coeficientes que nos permiten transformar los consumos y elementos intermedios en huellas parciales son los siguientes:

- El rendimiento del sistema eléctrico
- La productividad de los bosques
- El factor de rendimiento de los alimentos
- El coeficiente de movilidad
- El coeficiente de transporte

- El coeficiente de energía incorporada
- El coeficiente de generación de residuos
- El factor de conversión de residuos
- La superficie consumida
- El factor de emisiones
- El factor de absorción
- Los factores de equivalencia
- Los factores de productividad

Cada uno de esos coeficientes será explicado en el apartado de su correspondiente fuente de impacto.

Mediante los elementos intermedios y los coeficientes obtenemos las distintas huellas parciales y totales que se generan en el sector residencial. Se ubican en el último nivel de la Fig.17, y se representan mediante círculos de color verde. Las enumeramos:

- La huella forestal
- La huella de alimentos
- La huella de energía
- La huella de ocupación directa
- La huella 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.

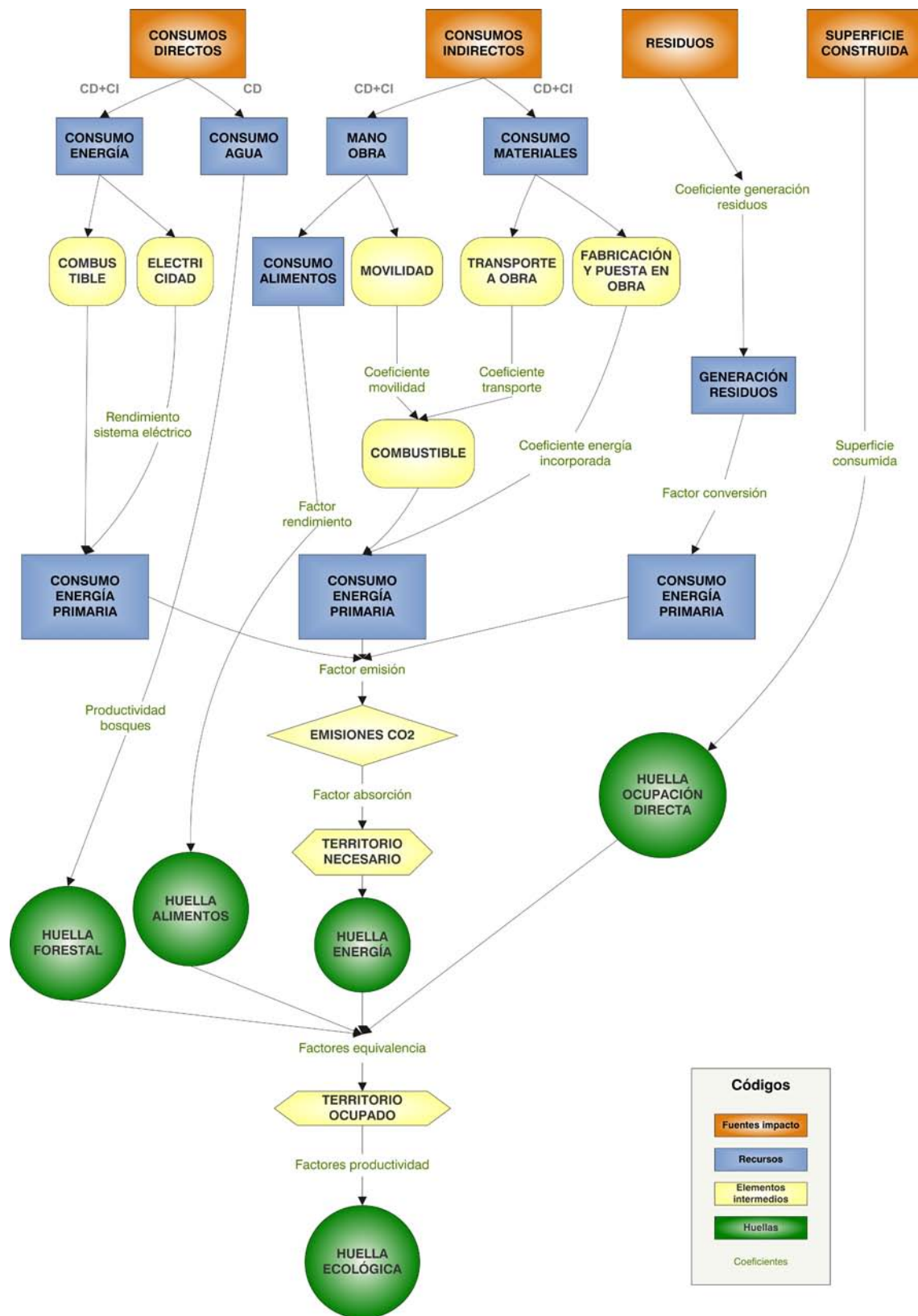


Figura 17: Árbol metodológico de la investigación

Una vez desarrollada la parte teórica, en la parte práctica trabajaremos con un caso real. Para ello será necesario definir las fronteras y la escala sobre las que se trabajará.

Se planteará como escala de trabajo la urbanización, y como sistema de investigación la urbanización en suelo urbano, situándola en un entorno limítrofe entre lo rústico (rural) y lo urbano.

También se definirá la tipología edificatoria, que será aquella sobre la que aplicaremos la metodología ya desarrollada en la parte teórica.

Como nos movemos en el sector residencial, previamente se analizaron las tipologías edificatorias de dicho sector representativas en Andalucía<sup>38</sup>. Las predominantes son las viviendas unifamiliares adosadas (2 plantas) y las viviendas en bloque de 4 plantas sobre rasante (B+3). Según esta consideración, la tipología edificatoria más interesante para la investigación sería la de viviendas en bloque de 3-5 plantas, ya que desde el punto de vista del impacto sobre el territorio las tipologías en bloque son menos agresivas que las viviendas adosadas, por lo que su estudio y análisis es más recomendable, aunque sería necesario aplicar la metodología a varias tipologías residenciales para conocer las variaciones del indicador HE que se producen entre tipologías. Dejaremos, por tanto, dicho estudio para futuras investigaciones.

La parte práctica seguirá la siguiente secuencia:

1. Análisis y evaluación de los consumos de recursos materiales y energéticos en la fase de construcción de la tipología edificatoria considerada (huella del sistema constructivo). Dicha evaluación debe incluir: consumos de todos los recursos materiales empleados en la construcción de las viviendas, energía consumida en la obra (incluida la implantación sobre el territorio de la edificación objeto de la investigación), movilidad obligada de los operarios que trabajan en la obra de edificación y energía consumida en transportar y reciclar los residuos generados en las obras.
2. Análisis y evaluación de los consumos de recursos materiales y energéticos en la fase de construcción de la tipología de urbanización considerada. Incluye los mismos aspectos que el punto anterior. Este análisis se realiza para tener en cuenta todos los impactos que genera el proyecto de edificación, incluida la urbanización donde se ubica la edificación objeto de estudio.
3. Análisis y evaluación de los consumos energéticos vinculados al suministro del agua empleada en la construcción de la tipología edificatoria analizada.
4. Análisis y evaluación de los consumos de recursos materiales y energéticos por parte de la mano de obra empleada en la construcción de la tipología edificatoria analizada.
5. Obtención de las huellas parciales.
6. Obtención de la huella ecológica producida por la tipología de edificación y urbanización estudiadas.

---

38 Mercader Moyano P., 2009. 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 Kyoto. Tesis doctoral.

## **Las fuentes de impacto de la huella ecológica**

### **1. Consumos directos**

En este apartado analizaremos la energía y el agua como fuentes de impacto que consumen recursos directamente. Ambas son de gran importancia para el cálculo de la HE. En primer lugar se estudiará el consumo de energía, tanto de combustible como de energía eléctrica. La transformación de estos consumos en valores de HE se realizará mediante la metodología ya existente de HE, aunque habrá que adaptar determinados procedimientos a esta investigación. En segundo lugar se evaluará la HE del suministro de agua. Generalmente todos los estudios de HE obvian este aspecto por la dificultad intrínseca de transformar datos de consumo de agua en datos de superficie. En este apartado se verá como se puede realizar dicha transformación.

#### **1.1. Energía**

Realizaremos el análisis de este recurso siguiendo la secuencia descrita en la Fig.18



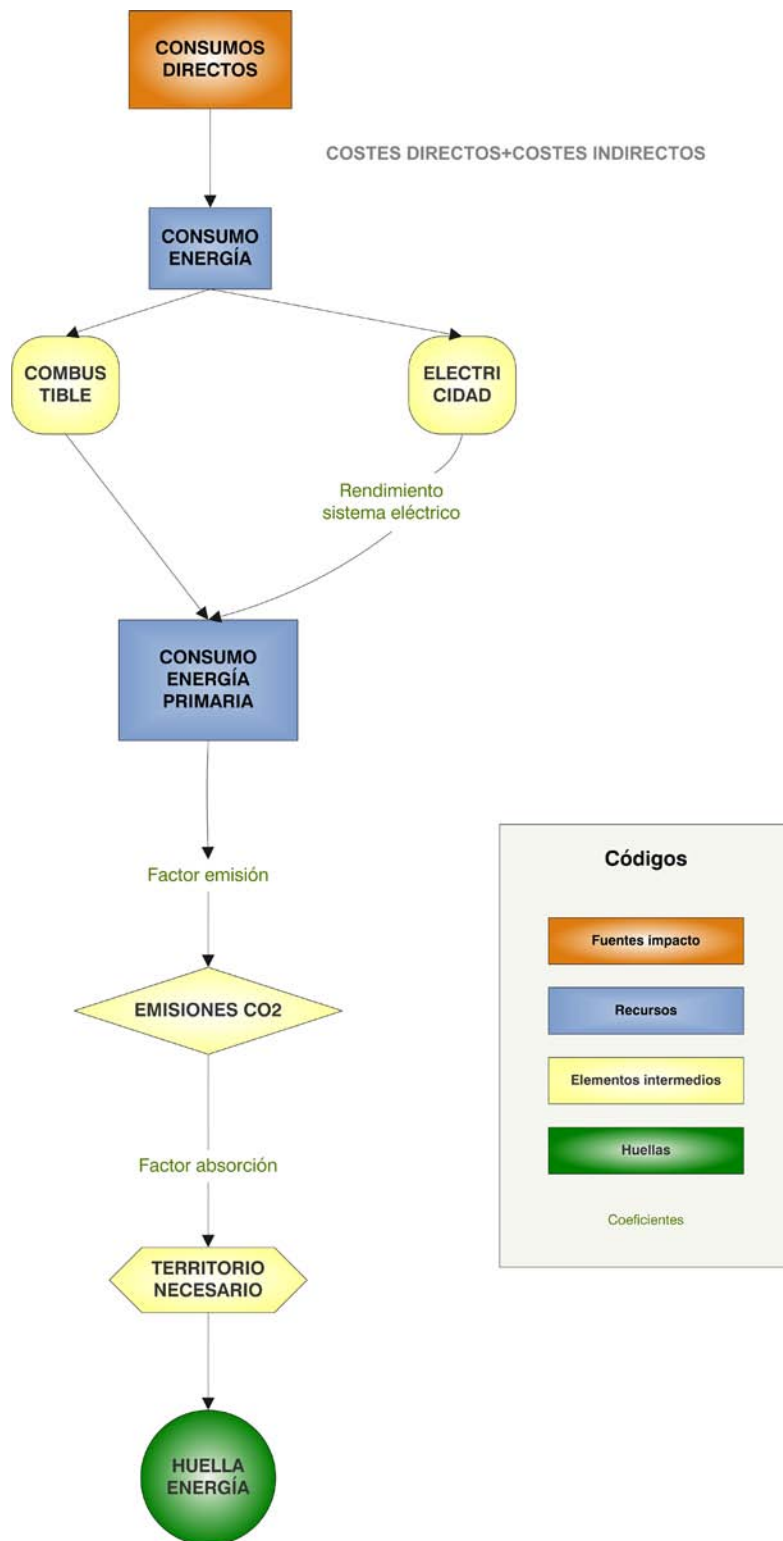


Figura 18: Cálculo secuencial de la huella energética

### 1.1.1. Electricidad y combustibles

Desde el punto de vista de los impactos de los consumos que se producen en la edificación, el de electricidad es uno de los más relevantes.

Para la obtención de energía eléctrica es necesario partir de alguna fuente de energía primaria, que, a lo largo del siglo XX, era casi siempre de origen fósil (carbón, petróleo o gas natural). Con la búsqueda de fuentes alternativas, las centrales térmicas productoras de energía eléctrica se completaron con centrales nucleares, hidroeléctricas y en los últimos 30 años, con el auge de las renovables.

Es necesario conocer de donde procede la energía eléctrica para poder evaluar después como se traduce ese consumo de electricidad en HE.

En la tabla 7 podemos ver cómo es el reparto en España del consumo de la energía primaria para la generación de energía eléctrica. Aportamos los datos de varias fuentes bibliográficas para comparar las cifras y ver si son congruentes.

Tipo de generación	Porcentaje <sup>39</sup>	Porcentaje <sup>40</sup>	Porcentaje <sup>41</sup>	Porcentaje <sup>42</sup>	Porcentaje <sup>43</sup>
<i>Térmicas fósiles</i>	50	49,1	57,7	59,1	62,2
Carbón	33	32,3	29,1	22,4	23,9
Petróleo	9	9,2	8,7	7,9	6,8
Gas natural	8	7,6	19,9	28,8 <sup>44</sup>	31,5
<i>Hidroeléctricas</i>	16	16,3	12,1	9,8	9,7
<i>Nuclear</i>	30	30,1	23,1	18,8	17,7
<i>Renovables</i>	4	4,5	7,1	10,7	10,4
Total	100	100	100	100	100

Tabla 7: Origen de la energía eléctrica en España

Aunque la primera columna refleja datos de Andalucía y las siguientes de España, podemos concluir que las cifras son muy parecidas. En el conjunto de los datos se observa una tendencia a disminuir el uso de la energía nuclear y un aumento significativo del gas natural. El aumento de las

39 Consumo de energía primaria para la generación de electricidad importada por Andalucía (1996). Acosta Bono G., González Daimiel J., Calvo Salazar M., Sancho Royo F., 2001. Estimación de la Huella Ecológica en Andalucía y Aplicación a la Aglomeración Urbana de Sevilla. Dirección General de Ordenación del Territorio y Urbanismo, Consejería de Obras Públicas de la Junta de Andalucía. Sevilla, España.

40 Estructura de generación eléctrica en España. IDAE, 2000. ES6: Eficiencia Energética y Energías Renovables, num1: Boletín IDAE. Madrid, España.

41 Estructura de generación eléctrica en España. IDAE, 2005. Plan de Energías Renovables en España 2005-2010. Madrid, España.

42 Estructura de generación eléctrica en España. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, 2007. La Energía en España 2006. Cuadro 3.2.1.3: Balance Energía Eléctrica por Fuentes de Energía. Pág.38. Madrid, España.

43 Estructura de generación eléctrica en España. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, 2008. La Energía en España 2007. Cuadro 3.2.1.3: Balance Energía Eléctrica por Fuentes de Energía. Pág.40. Madrid, España.

44 Actualmente, las centrales de gas natural son las de ciclo combinado.

renovables todavía no es significativo. La tendencia en los años siguientes es la misma, aumenta el porcentaje de las centrales de ciclo combinado (gas natural), disminuyendo las de carbón y petróleo. Las nucleares se mantienen y el porcentaje de las hidroeléctricas y de las renovables también (entre ambas suman alrededor del 20%).

En segundo lugar, tenemos que analizar los rendimientos de las centrales para obtener electricidad<sup>45</sup> a partir de energía primaria. Si nos fijamos en las centrales térmicas, los rendimientos sólo analizan la transformación en energía eléctrica hasta que sale de la central térmica, pero no tienen en cuenta las pérdidas que se producen por transporte, transformación y distribución, que pueden rondar el 10%<sup>46</sup> (tabla 8).

Tipo de generación	Porcentaje <sup>47</sup>	Porcentaje <sup>48</sup>
Carbón	35,5	36,1
Petróleo	35,5	-
Gas natural con ciclo combinado	51	54

Tabla 8: Rendimientos de las centrales térmicas para producir electricidad

En el año 2001 se podía afirmar que el rendimiento de las centrales térmicas y nucleares era cercano al 30%<sup>49</sup>.

En el año 2007<sup>50</sup> se consideraba que la relación entre la energía primaria empleada para producir electricidad y la energía eléctrica obtenida era la siguiente:

$$\text{Energía primaria} = 3 * \text{Energía eléctrica}$$

Lo que implica que si la energía primaria es 1, la energía eléctrica es 1/3, que significa un rendimiento del 33%, similar a la estimación del año 2001.

45 Como dato de interés, el consumo de 1 kWh de electricidad emite 0,545 kg CO<sub>2</sub>. Cuchí i Burgos A., López Caballero I., 1999. Informe MIES: una Aproximación al Impacto Ambiental de la Escuela de Arquitectura del Vallés. Universitat Politècnica de Catalunya (UPC). Barcelona, España.

46 Mañá i Reixach F., Cuchí i Burgos A., 2003. Parámetros de Sostenibilidad. Instituto de Tecnología de la Construcción de Cataluña (ITEC). Barcelona, España.

47 Estructura de generación eléctrica en España. IDAE, 2000. ES5: Plan de Fomento de las Energías Renovables. Anexo I: Unidades y Factores de Conversión. IDAE. Madrid, España.

48 Estructura de generación eléctrica en España. IDAE, 2005. Plan de Energías Renovables en España 2005-2010. Madrid, España.

49 Acosta Bono G., González Daimiel J., Calvo Salazar M., Sancho Royo F., 2001. Estimación de la Huella Ecológica en Andalucía y Aplicación a la Aglomeración Urbana de Sevilla. Dirección General de Ordenación del Territorio y Urbanismo, Consejería de Obras Públicas de la Junta de Andalucía. Sevilla, España.

50 Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), 2007. Guía Práctica de la Energía: Consumo Eficiente y Responsable. IDAE. Madrid, España.

Con ese dato se puede estimar el total de energía primaria consumida para electricidad:

$$C = \frac{P_{ee}}{F_{ef}} \quad (9)$$

Donde:

C: consumo de energía (GJ)  
 Pee: producción de energía eléctrica (GJ)  
 Fef: factor de eficiencia

Los factores de eficiencia se recogen en la tabla siguiente:

Tipo de generación	Factor eficiencia
Carbón	0,3
Petróleo	0,3
Gas natural	0,3
Nuclear	0,3
Hidroeléctricas	1
Renovables	1

Tabla 9: Factor de eficiencia para producción de electricidad

Como es conocido, el petróleo se emplea tanto para generación de electricidad como para transporte, mientras que el gas natural, el carbón o la energía nuclear sólo se emplean para generar electricidad.

Para esta investigación se asumirá que la electricidad que se consuma en la obra de construcción procederá de centrales térmicas, ya que actualmente son las mayoritarias, y cuyo rendimiento se considerará del 30%. Esta hipótesis será enunciada nuevamente en la parte práctica.

Para analizar el consumo de combustible en España, nos fijaremos en el consumo de energía primaria<sup>51</sup> en el año 2006, que se distribuía según se recoge en las tablas 10 y 11:

51 Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), 2007. Guía Práctica de la Energía: Consumo Eficiente y Responsable. IDAE. Madrid, España.

Tipo de generación	Porcentaje
<i>Térmicas fósiles</i>	83
Carbón	13
Petróleo	49
Gas natural	21
<i>Nuclear</i>	10,50
<i>Renovables</i>	6,50
Total	100

Tabla 10: Consumo de energía primaria

Tipo de generación	Porcentaje
Eólica	1,3
Hidráulica	1,6
Biomasa	2,9
Biogas	0,2
Solar fotovoltaica	0,03
Solar térmica	0,05
Geotérmica	0,01
Biocarburantes	0,41
Total	100

Tabla 11: Renovables

Y el consumo de energía final por sectores era para el año 2004<sup>52</sup>:

Sectores	Porcentaje
Transporte	39
Industria	31
Hogar	17
Servicios	10
Agricultura	3
Total	100

Tabla 12: Consumo de energía final por sectores

Podemos observar que gran parte de los consumos de combustible proceden del sector transporte e industrial. Nuestra actividad, la construcción, es intensiva en el uso de combustible, pues a los transportes habituales de operarios y mercancías hay que añadir los consumos de maquinaria a lo largo del proceso constructivo. Por tanto, es necesario conocer los consumos de combustible derivados del proceso constructivo, igual que en el apartado anterior se consideró el consumo de electricidad.

Los procesos de obtención de combustible son básicamente eficientes, y los rendimientos en los terminales y transportes son cercanos a 1<sup>53</sup>.

52 Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), 2007. Guía Práctica de la Energía: Consumo Eficiente y Responsable. IDAE. Madrid, España.

53 Casado N., González J.M., Llorens J.I., Mañá F., Martorell P., Puig-Pey A., Rius F., Soldevila A., 1997. La Enseñanza de la Arquitectura y del Medio Ambiente. ITEC. Barcelona, España.

En esta investigación, cuando estemos analizando el gasto de combustible en la obra, estaremos hablando de combustibles fósiles, y más exactamente de gasolina o gasoil.

### 1.1.2. Productividad energética

Siguiendo el análisis de la Fig.18, hemos explicado cómo se determina el rendimiento del sistema eléctrico y qué tipo de combustible vamos a considerar en la investigación. Con estos datos podremos calcular el consumo de energía primaria. Para poder expresar este consumo en términos de superficie emplearemos el término denominado **productividad energética**, que se define como la cantidad de territorio (en ha) necesario para producir 1 GJ de energía.

Por las características particulares de las fuentes energéticas, el origen de la energía puede ser diverso, y por tanto, también la productividad del territorio. En el caso de territorios empleados para la producción de energía, las unidades de medida serán **GJ/ha superf. productiva**, con el fin de ser coherentes con la formulación específica.

Veamos en primer lugar las fuentes de energía no fósiles y cómo se calcula su productividad<sup>54</sup>:

- Centrales hidroeléctricas: se contabiliza el espacio ocupado por embalses e instalaciones de transformación. La productividad de este tipo de territorio es de 1.000 GJ/ha.
- Energía nuclear: como generalmente se considera una opción energética no viable, la metodología de huella ecológica plantea su sustitución por otra energía proveniente de combustibles fósiles. En la metodología estándar se sigue la pauta de considerar a la energía nuclear como si fuera de origen fósil, aplicándole idénticos factores de productividad que los utilizados con el petróleo. Sin embargo, desde el punto de vista del flujo de materia, la energía nuclear no emite CO<sub>2</sub>, lo que obligaría a cuestionarse esta propuesta. De todas maneras, aceptaremos la hipótesis de partida.
- Energías renovables: su productividad depende del tipo de energía utilizada. Así, la biomasa es incluida como espacio forestal para la producción de leña o espacio de cultivos productor de residuos agrícolas. La energía solar térmica se incluye dentro de la categoría superficie construida, aunque algunas fuentes estiman su productividad en el rango de 10.000<sup>55</sup> a 40.000 GJ/ha<sup>56</sup>. La energía fotovoltaica y la eólica tienen valores muy cambiantes, principalmente por la tecnología empleada, que provoca que los rendimientos se modifiquen rápidamente. Así, según fuentes consultadas, la energía fotovoltaica puede alcanzar productividades de 1.000 GJ/ha, y con mejoras tecnológicas hasta 1.500 GJ/ha (aunque mucho espacio de esta superficie puede contabilizarse como espacio construido) y la eólica valores de hasta 18.750 GJ/ha, y con mejoras tecnológicas se ha llegado hasta 110.000 (se pueden dar valores de 60.000 ± 50.000 GJ/ha)<sup>57</sup>.

54 Acosta Bono G., González Daimiel J., Calvo Salazar M., Sancho Royo F., 2001. Estimación de la Huella Ecológica en Andalucía y Aplicación a la Aglomeración Urbana de Sevilla. Dirección General de Ordenación del Territorio y Urbanismo, Consejería de Obras Públicas de la Junta de Andalucía. Sevilla, España.

55 Acosta Bono G., González Daimiel J., Calvo Salazar M., Sancho Royo F., 2001. Estimación de la Huella Ecológica en Andalucía y Aplicación a la Aglomeración Urbana de Sevilla. Dirección General de Ordenación del Territorio y Urbanismo, Consejería de Obras Públicas de la Junta de Andalucía. Sevilla, España.

56 Domenech Quesada J.L., 2007. Huella Ecológica y Desarrollo Sostenible. AENOR. Madrid, España.

57 Domenech Quesada J.L., 2007. Huella Ecológica y Desarrollo Sostenible. AENOR. Madrid, España.

En la tabla 13 podemos ver un resumen de las productividades energéticas<sup>58</sup>:

Fuentes de energía	Productividad (GJ/ha)
<b>FÓSILES</b>	
Sustitución por biocombustible (etanol)	80
Absorción de CO <sub>2</sub>	100
Sustitución por biomasa	80
<b>HIDROELÉCTRICA</b>	
Hidroeléctrica (media)	100
Bajo nivel	150-500
Elevada altitud	15.000
<b>RENOVABLES</b>	
Solar térmica	>40.000
Solar fotovoltaica	1.000
Eólica	12.500

Tabla 13: Productividad energética de las fuentes de energía

El análisis que hacían los autores Wackernagel y Rees en el año 1996 era buscar alternativas para minimizar las emisiones de los combustibles fósiles, bien a través de la absorción, bien mediante el empleo de combustibles alternativos, como la biomasa o el bioetanol. Generalmente, la opción utilizada era la segunda, porque las otras dos no eran viables. Además, se puede observar que los valores de productividad son muy variables, sobre todo en lo que respecta a las energías renovables. En principio estos datos no los usaremos porque nuestro consumo energético procederá de combustibles fósiles, ya que así lo hemos asumido. De todas maneras, si es necesario emplear alguna fuente de energía alternativa usaríamos valores medios de productividad energética entre los disponibles.

Ahora veremos las fuentes de energía provenientes de combustibles fósiles. Éstas tienen el inconveniente añadido de que son generadoras de CO<sub>2</sub>, uno de los gases de efecto invernadero (GEI), y quizás el agente principal del cambio climático. Por tanto, el estudio de los combustibles fósiles implica el análisis de la productividad de este tipo de energía, haciendo un análisis similar al de las otras fuentes, y por otro, considerar los factores de emisión asociados a este tipo de combustibles.

Para enfocar la conversión de los combustibles fósiles a territorio productivo tenemos que considerar la superficie productiva necesaria para la absorción, con bosques de nueva creación, de las emisiones de CO<sub>2</sub> producidas por la quema de estos combustibles. Al quemar combustibles fósiles, se está acabando con un capital natural acumulado hace millones de años, por lo que su utilización actual está lejos de ser sostenible.

<sup>58</sup> Wackernagel M., Rees W., 2001. Nuestra Huella Ecológica: Reduciendo el Impacto Humano sobre la Tierra. LOM. Santiago de Chile, Chile

Para que fuera así habría que consumir el capital natural a una tasa igual a su regeneración natural. Pero la tasa de regeneración de los combustibles fósiles es demasiado lenta. La única posibilidad consiste en invertir en la creación de capital equivalente, en este caso, la creación de bosques.

Para transformar los datos del consumo de combustibles fósiles en valores de superficie productiva hay que tener en cuenta dos factores: por un lado la emisión de CO<sub>2</sub> por gigajulio de energía producida (**factor de emisión**) y, por otro, las hectáreas de bosque necesarias para la absorción de CO<sub>2</sub>, también por unidad de energía producida (**factor de absorción**) (ver Fig.18).

Ambos factores se relacionan entre sí mediante la expresión:

$$Pc = \frac{F_a}{F_e} \quad (10)$$

Donde:

Pc: productividad del combustible (GJ/ha)

F<sub>a</sub>: factor de absorción (kg CO<sub>2</sub>/ha)

F<sub>e</sub>: factor de emisión (kg CO<sub>2</sub>/GJ)

El factor de absorción hace referencia a la capacidad que tienen los bosques de asimilar el CO<sub>2</sub>, por tanto, no depende de las características del combustible. Sin embargo, el factor de emisión sí se ve afectado por dichas características. De hecho, un mayor factor de emisión hace que la productividad del combustible disminuya.

Los diferentes tipos de combustibles fósiles poseen distintos factores de emisión, por lo que la productividad será también distinta para cada uno de ellos, ya que ésta depende de las hectáreas de bosque necesarias para absorber el CO<sub>2</sub> liberado.

Mientras más CO<sub>2</sub> por energía producida se libere, menos productividad tendrá la utilización de ese combustible fósil, por lo que harán falta más hectáreas de bosque para absorber el CO<sub>2</sub> liberado.

Veamos cómo se puede determinar el factor de absorción de los bosques.

La metodología utilizada por Rees y Wackernagel para calcular<sup>59</sup> el ratio de energía por hectárea varía según que la fuente de combustible sea carbón, petróleo, madera o gas.

Inicialmente estos autores estimaron un factor de absorción de 1,8 toneladas de carbono (C) por hectárea y año, y un tiempo de maduración forestal de 50 a 80 años. Luego, utilizando estimaciones del IPCC<sup>60</sup> para la productividad forestal y asumiendo un tiempo de maduración forestal (ciclo de cosecha) de 40 años, se fijó la media de absorción en 1,42 t C/ha y año (absorción media mundial) ó 5,21 t CO<sub>2</sub>/ ha y año.

Por tanto, nuestra referencia para el factor de absorción de los bosques (absorción media mundial) será:

59 Domenech Quesada J.L., 2007. Huella Ecológica y Desarrollo Sostenible. AENOR. Madrid, España.

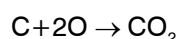
60 Intergovernmental Panel on Climate Change



Unidades	Factor absorción de los bosques (absorción media mundial)
t C/ha y año	1,42
t CO <sub>2</sub> /ha y año	5,21

Tabla 14: Factor de absorción de los bosques

Para obtener esos factores en unidades de CO<sub>2</sub> empleamos la fórmula de la combustión del carbono (C) y la relación entre los pesos moleculares del carbono (12) y del CO<sub>2</sub> (44):



$$\frac{1,42 \text{ t C} \cdot 44 \text{ g CO}_2}{12 \text{ g C}} = 5,21 \text{ t CO}_2$$

Esa estimación del factor de absorción de los bosques es bastante prudente, ya que algunos estudios hechos con eucaliptos arrojan una tasa de absorción de hasta 25 t CO<sub>2</sub>/ ha y año. Aunque otros análisis, como los realizados sobre materia forestal en la Patagonia<sup>61</sup> en explotaciones de eucaliptos muestran tasas de fijación hasta de 43 t CO<sub>2</sub>/ ha y año.

En España, las explotaciones forestales están compuestas principalmente por dos tipos de árboles, pinos y eucaliptos, empleadas principalmente en el aprovechamiento de la madera para la producción de papel.

Las tasas de fijación promedio para las especies de pinos rondan las 25 t CO<sub>2</sub>/ ha y año.

Para las especies típicas de dehesa, entre las que destacan en Andalucía la encina y el alcornoque, las tasas de fijación que se pueden obtener son ligeramente superiores a la de los pinos, entre 30-40 t CO<sub>2</sub>/ ha y año.

Los bosques son considerados, como hemos visto anteriormente, sumideros de CO<sub>2</sub>. Pero no son sumideros permanentes. Ello sólo es cierto mientras se mantiene el crecimiento. En su estado de madurez el balance neto de CO<sub>2</sub> en el bosque es nulo, es decir, el bosque maduro no detrae de forma neta CO<sub>2</sub> de la atmósfera.

Como esta investigación se centra en la edificación, proponemos el empleo en ecosistemas urbanos de sistemas que minimicen la huella de la edificación, como por ejemplo la vegetación urbana. Si en lugar de emplear los factores de absorción de los bosques consideráramos los de la vegetación urbana que empleamos en las urbanizaciones que edifiquemos, la huella energética podría variar de forma positiva o negativa.

Los ecosistemas urbanos cubren actualmente un 4% de la superficie de la Tierra. La vegetación es uno de los elementos de los ecosistemas urbanos que pueden ser manipulados con el objetivo de

61 Figueroa Clemente M.E., Redondo Gómez S., 2007. Los Sumideros Naturales de CO<sub>2</sub>: una Estrategia Sostenible entre el Cambio Climático y el Protocolo de Kyoto desde las Perspectivas Urbana y Territorial. Universidad de Sevilla, Secretariado de Publicaciones. Sevilla, España.

obtener una serie de beneficios. Una parte importante del ecosistema urbano es el arbolado del viario, el cual es de gran valor para los pobladores de las ciudades.

La correcta ubicación de los árboles actúa con un doble efecto sobre las tasas de emisión de CO<sub>2</sub>: la tasa de secuestro propia del árbol por un lado, y la reducción en el consumo energético, por otro lado, muestran que a largo plazo el arbolado urbano actúa como agente mitigador frente a la problemática de las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera. Además, habrá que considerar qué especies son las que fijan más CO<sub>2</sub> según el clima.

Así, se ha demostrado por investigaciones previas<sup>62</sup> que los árboles grandes y vigorosos fijan cerca de 90 veces más carbono anualmente que los árboles pequeños (93 kg C/año frente a 1 kg C/año).

Estos estudios se han realizado habitualmente para bosques y grandes parques pero no se ha tenido en cuenta el arbolado propio de las vías de las urbes.

La capacidad de absorción de CO<sub>2</sub> de la vegetación urbana se entiende que es la que proviene del arbolado del viario y de la vegetación de parques y de masas forestales localizadas en el extrarradio.

Se han hecho estudios<sup>63</sup> para conocer la capacidad secuestradora de CO<sub>2</sub> del arbolado urbano, arbustos y herbáceas presentes en las calles de nuestras ciudades españolas, que se recogen en la tabla 15:

---

62 Figueroa Clemente M.E., Redondo Gómez S., 2007. Los Sumideros Naturales de CO<sub>2</sub>: una Estrategia Sostenible entre el Cambio Climático y el Protocolo de Kyoto desde las Perspectivas Urbana y Territorial. Universidad de Sevilla, Secretariado de Publicaciones. Sevilla, España.

63 Figueroa Clemente M.E., Redondo Gómez S., 2007. Los Sumideros Naturales de CO<sub>2</sub>: una Estrategia Sostenible entre el Cambio Climático y el Protocolo de Kyoto desde las Perspectivas Urbana y Territorial. Universidad de Sevilla, Secretariado de Publicaciones. Sevilla, España.

Tipo de vegetación	CO <sub>2</sub> neto secuestrado (kg CO <sub>2</sub> /ha y año)
<b>Arbolado urbano</b>	
Acacia	802
Álamo	498
Árbol del amor	19
Brachichiton	957
Catalpa	11
Ciprés	385
Ciruelo japonés	17
Jacaranda	1.832
Laurel	384
Melia	5.969
Naranjo	555
Olmo	762
Plátano de sombra	478
<b>Arbustos urbanos</b>	
Adelfa	31
Aligustre	1,3
Durillo	46
Lantana	6
Lentisco	0,2
Madroño	28
Mirto	0,6
Palmito	40
<b>Herbácea urbana</b>	
Gramma	1,5
<b>Otros árboles</b>	
Alcornoque	4.537
Carrasco	48.870
Encina	5.040
Olivo	570
Pino piñonero	27.180

Tabla 15: Factor de absorción de los bosques

Los valores que se obtuvieron fueron bastante similares a los que ya existían. Por ejemplo, el factor de absorción del pino es muy similar al que se había comentado antes. También existen algunas diferencias, como en la encina o el alcornoque, a los que se les había dado tasas de fijación de 30 a 40 t CO<sub>2</sub>/ ha y año y en la tabla sólo se alcanzan valores en torno a 5 t CO<sub>2</sub>/ ha y año. De todas maneras, los datos relevantes para esta investigación son los que hacen referencia al arbolado, arbustos y herbácea urbana, que son las clases que nos vamos a encontrar generalmente en las edificaciones que se estudien.

La propuesta es que cuando se analice la huella energética de la edificación, se considere el factor de absorción que se obtiene de la media de los factores de absorción de la vegetación urbana que se implante en la urbanización que comprende nuestra edificación. En el caso de que no se dispusiera de esa información o ésta fuera poco fiable, se asumiría como factor de absorción el de la tabla 14.

Para este estudio se asumirá la tabla 14 como fuente de información para el factor de absorción. Esta hipótesis será de nuevo enunciada en la parte práctica.

Veamos ahora cómo podemos calcular la productividad de las fuentes de energía fósiles, conociendo los factores de emisión y absorción. Se empleará la fórmula ya enunciada anteriormente:

$$\text{Productividad combustible} = \frac{\text{Factor de absorción}}{\text{Factor de emisión}}$$

Para combustibles líquidos (petróleo) el factor de emisión es de 20 kg C/ GJ<sup>64</sup>. Se considera para los cálculos un factor de absorción de 1,42 t C/ ha y año, con lo que se obtiene una productividad energética de

$$1,42 / 0,020 = 71 \text{ GJ/ha y año}$$

Es decir, 1 ha de bosque puede secuestrar anualmente las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas por el consumo de 71 GJ de combustible líquido.

Como se puede observar, si varía la tasa de absorción, varía la productividad energética.

Para los otros combustibles fósiles, el carbón tiene una productividad energética 55 GJ/ha (factor de emisión 26) y el gas natural de 93 GJ/ha (factor de emisión 15,3).

Todos esos datos se recogen en la tabla 16:

64 Acosta Bono G., González Daimiel J., Calvo Salazar M., Sancho Royo F., 2001. Estimación de la Huella Ecológica en Andalucía y Aplicación a la Aglomeración Urbana de Sevilla. Dirección General de Ordenación del Territorio y Urbanismo, Consejería de Obras Públicas de la Junta de Andalucía. Sevilla, España.

Fuentes de energía	Factores de emisión (kg C/ GJ) <sup>65</sup>	Factores de emisión (kg CO <sub>2</sub> / GJ)	Productividad energética (GJ/ha)
<i>Fósiles</i>			
Carbón	26	95,3	55
Petróleo	20	73,3	71
Gas natural	15,3	56,1	93
<i>Nuclear</i>	20		71
<i>Hidroeléctrica</i>			1.000
<i>Renovables</i>			
Solar térmica			Superficie construida
Solar fotovoltaica			1.000
Biomasa			Superficie forestal <sup>66</sup>
Eólica			18.750

Tabla 16: Productividad energética

Hay que recordar que los únicos combustibles que emiten CO<sub>2</sub> son los fósiles, ya que el resto de fuentes de energía no emiten GEI<sup>67</sup> a la atmósfera.

Para contrastar las cifras mostradas en la tabla 16, veamos una comparativa entre dos fuentes bibliográficas. La primera es la que se menciona en la tabla anterior. La segunda es una referencia más actual<sup>68</sup>:

Fuente	Emisiones (kg CO <sub>2</sub> /GJ)	Emisiones (kg CO <sub>2</sub> /GJ)
Carbón	95,3	98,3
Petróleo	73,3	74,1
Gas natural	56,1	56,1

Tabla 17: Factores de emisión: comparativa

No existen diferencias apreciables entre ambas columnas, por lo que se pueden considerar ambos valores como aceptables para nuestros cálculos.

<sup>65</sup> Acosta Bono G., González Daimiel J., Calvo Salazar M., Sancho Royo F., 2001. Estimación de la Huella Ecológica en Andalucía y Aplicación a la Aglomeración Urbana de Sevilla. Dirección General de Ordenación del Territorio y Urbanismo, Consejería de Obras Públicas de la Junta de Andalucía. Sevilla, España.

<sup>66</sup> Productividad de la superficie forestal=1,99 t/ha (densidad madera = 1t/m<sup>3</sup>)

<sup>67</sup> Gases de Efecto Invernadero

<sup>68</sup> Cuchí i Burgos A., Wadel G., López F., Sagrera A., 2007. Guía de la Eficiencia Energética para Administradores de Fincas. Fundación Gas Natural. Barcelona, España.

Igualmente puede ser útil expresar los valores de los factores de emisión en  $\text{kg CO}_2/\text{kWh}$  consumidos de energía primaria, para dos fuentes bibliográficas distintas:

Factores de emisión de $\text{CO}_2$	$\text{kg CO}_2/\text{kWh}^{69}$	$\text{kg CO}_2/\text{kWh}^{70}$
Carbón	0,347	0,329
Gasoil	0,264	0,251
Gas natural	0,201	0,185

Tabla 18: Factores de emisión (2)

Tampoco existen grandes diferencias entre ambas columnas, aunque para ser coherentes es más razonable obtener estos factores a partir de la tabla anterior, considerando la conversión de GJ a kWh:

$$1\text{kWh} = 0,0036 \text{ GJ}$$

También deberemos tener en cuenta que los factores de emisión de  $\text{CO}_2$  deben ajustarse periódicamente, tal y como se recoge en el Informe de Inventarios de GEI 1990-2004 (mayo 2006).

Si empleáramos esta información, la productividad del petróleo pasaría de 71 a 51 GJ/ha (media de gasoil, gasolina y fueloil). Igualmente la de carbón pasaría de 55 a 37 GJ/ha y la del gas natural de 93 a 65,5 GJ/ha. Eso implicaría que aumentaría la huella energética. Así, para el caso del carbón, pasaríamos de 5,21 t  $\text{CO}_2/\text{ha}$  y año a 3,66 t  $\text{CO}_2/\text{ha}$  y año<sup>71</sup>. Para el petróleo haríamos el mismo razonamiento.

### 1.1.3. Cálculo de la huella asociada al consumo de energía

Antes de explicar el procedimiento de cálculo, comentaremos algunos datos de HE de consumo de energía. Así, para el caso de la generación de energía eléctrica, encontramos datos de HE en Gran Bretaña<sup>72</sup> en la tabla 19.

69 IDAE, 1998. Cálculo de Emisiones de  $\text{CO}_2$  de una Vivienda Estándar. IDAE. Madrid, España. IDAE, 1998.

70 AEA Energy & Environment, 2008. Tool for Calculations of  $\text{CO}_2$  Emissions from Organisations. Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA). Great Britain. Carbon Rationing Action Groups (CRAG), 2007.  $\text{CO}_2$  Conversion Spreadsheet: Calculate your Carbon Emissions. CRAG. <http://www.carbonrationing.org.uk>.

71 Coto Millán P., Doménech Quesada J.L., Mateo Mantecón I., 2008. Corporate Ecological Footprint: New Conversion Factors. Research Letters in Ecology.

72 Chambers N., Simmons C., Wackernagel M., 2004. Sharing Nature's Interest: Ecological Footprints as an Indicator of Sustainability. Sterling Earthscan. London, Great Britain.

Generación eléctrica	HE (hag por año y por GWh)	
Carbón	198	Datos de Reino Unido
Petróleo	150	Datos de Reino Unido
Gas natural	94	Datos de Reino Unido
Eólica	6	
Fotovoltaica	24	La construcción se realizó con combustibles fósiles
Biomasa	27-46	La energía incorporada procede de combustibles fósiles
Hidroeléctrica	10-75	La energía incorporada procede de combustibles fósiles

Tabla 19: HE de generación eléctrica en Gran Bretaña

Vemos que las huellas más relevantes son las de los combustibles fósiles, mientras que las de las renovables o son insignificantes (caso de la eólica) o su huella procede de la construcción de las infraestructuras. Sin embargo, los datos de las renovables van evolucionando rápidamente debido a que son tecnologías de última generación. Así, en el apartado anterior, comentamos las productividades de las renovables, y todas tenían valores por encima de 1.000 GJ/ha<sup>73</sup>. Si la productividad energética es muy alta, eso implica un factor de emisión que tiende a cero, con lo que esa huella sería insignificante. Además, según el PER<sup>74</sup>, las emisiones de CO<sub>2</sub> de las renovables (incluyendo la hidroeléctrica) se consideran irrelevantes.

También vimos en la tabla 7 que la energía eléctrica procedente de combustibles fósiles y de nucleares suele abarcar alrededor del 80% del total, ya que la suma de las renovables y de las hidroeléctricas ronda el 20%.

Una vez comentados los datos anteriores, es el momento de plantear qué hipótesis se van a hacer para el cálculo de la huella de origen eléctrico y que serán los siguientes:

- Se considerará únicamente la huella procedente de combustibles fósiles y de nucleares (alrededor del 80%).
- La base de datos para conocer el mix eléctrico será la del Ministerio de Industria<sup>75</sup> recogida en la tabla 7, ya que nuestro cálculo se debe basar en el mix que la compañía eléctrica suministradora oferte<sup>76</sup>.
- Los datos de productividad energética serán los recogidos en la tabla 16.
- Los datos de rendimiento serán los recogidos en la tabla 9.
- Los datos de los factores de absorción serán los recogidos en la tabla 14.

73 Domenech Quesada J.L., 2007. Huella Ecológica y Desarrollo Sostenible. AENOR. Madrid, España.

74 IDAE, 2005. Plan de Energías Renovables en España 2005-2010. Madrid, España.

75 Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, 2008. La Energía en España 2007. Cuadro 3.2.1.3: Balance Energía Eléctrica por Fuentes de Energía. Pág.40. Madrid, España

76 Para este caso de estudio, Endesa proporciona un mix muy similar al de la media nacional, por lo que la elección es correcta.

Fijadas las hipótesis, el procedimiento a seguir será:

1. Transformación de los consumos calculados (kWh) a GJ, empleando el factor de conversión de unidades:

$$1\text{kWh}=0,0036 \text{ GJ}$$

2. Aplicar los rendimientos indicados (eficiencia del 30%)

$$0,0036/0,3=0,0120 \text{ GJ/kWh}$$

3. Cálculo de la HE para cada una de las fuentes de energía consideradas, mediante la expresión:

$$HE = \frac{C}{Pc} \quad (11)$$

Donde:

HE: huella ecológica del consumo de energía eléctrica

C: consumo (GJ)

Pc: productividad energética del combustible (GJ/ha)

4. Aplicarle a los valores obtenidos los factores de equivalencia correspondientes al suelo productivo considerado, en este caso, el de superficie forestal (tabla 3). Así obtendríamos hag en lugar de ha.

Para el cálculo de la HE generada por el consumo de combustibles, existen cifras previas relevantes. Así, en Gran Bretaña, la HE del consumo de gas natural (hag por año y por GWh) se cifró entre 45<sup>77</sup> y 49<sup>78</sup>. Para el petróleo, entre 59 y 62, según las mismas fuentes. Sin embargo, en nuestro caso los consumos vendrán dados generalmente en litros, por lo que esos datos no nos servirían.

En este apartado estamos considerando exclusivamente la HE del combustible empleado en la construcción del edificio, por lo que la huella de movilidad se considerará en otro apartado. Aunque para el cálculo de la huella del combustible consumido por un vehículo, Wackernagel y su equipo añaden un 50% más en concepto de energía consumida en la fabricación del vehículo (15%) y de energía consumida en la fabricación de carreteras y su mantenimiento (35%), aquí no se incluirían, ya que la huella de la maquinaria, si es el caso, se computaría en el capítulo de consumo de materiales. Y respecto al otro punto, parece más conveniente incluir la huella de las infraestructuras públicas de uso común, en el cálculo de la huella urbana, regional o nacional, por lo que quedaría fuera de nuestro alcance.

El procedimiento a seguir en este caso tiene similitudes con el de la electricidad, aunque se simplifica bastante más:

1. Cálculo del consumo de combustible (en litros): Generalmente se empleará gasoil A.

77 Chambers N., Simmons C., Wackernagel M., 2004. Sharing Nature's Interest: Ecological Footprints as an Indicator of Sustainability. Sterling Earthscan. London, Great Britain.

78 Wiedmann T., Barrett J., Cherrett N., 2003. Sustainability Rating for Homes: The Ecological Footprint Component. Stockholm Environment Institute. York, Great Britain. <http://www.sei.se/index.php?section=implement&page=publications>



2. Aplicar factor de conversión para transformarlo en unidades de energía (julios). Dos procedimientos. El primero, aplicar la intensidad energética del combustible:

$$\text{Intensidad energética combustible} = 35 \text{ MJ/litro combustible}^{79}$$

O bien, aplicar la conversión a kg y después aplicar la intensidad energética en MJ/kg.

3. Definido el consumo en GJ, la expresión a usar es similar a la del apartado anterior:

$$\boxed{HE = \frac{C}{Pc}} \quad (11)$$

Donde:

HE: huella ecológica del consumo de combustible

C: consumo (GJ)

P: productividad energética (GJ/ha)

Donde emplearemos la productividad del petróleo, que actualmente es de 71 GJ/ha.

4. Aplicarle a los valores obtenidos los factores de equivalencia correspondientes al suelo productivo considerado

Si quisiéramos dar ese dato en ha/hab y año:

$$\boxed{he_N = \frac{HE}{N*t}} \quad (12)$$

Donde:

$he_N$ : HE expresada en ha/hab/año

HE: HE del consumo de energía expresada en ha

N: tamaño poblacional

t: lapso de tiempo

El cálculo de la HE asociada al consumo de energía se realizará basándonos en el Presupuesto de Ejecución Material. A partir de él, y apoyándonos en las fórmulas polinómicas<sup>80</sup> para contratación oficial, podremos estimar el consumo energético en euros.

El procedimiento detallado para este cálculo será explicado extensamente en la parte práctica.

---

79 Domenech Quesada J.L., 2007. Huella Ecológica y Desarrollo Sostenible. AENOR. Madrid, España.

80 Según los decretos 3650/1970 de 19 de diciembre y 2167/1981 de 20 de agosto

## 1.2. Agua

Una de las causas más importantes de la contaminación del agua en el mundo es la construcción, especialmente en la fabricación de materiales y en la ejecución de la obra.

Es necesario, por tanto, contabilizar los consumos de agua. Sin embargo, según la metodología de huella ecológica, los consumos de agua, sean del tipo que sean, no pueden transformarse en hectáreas de superficie productiva.

En este apartado explicaremos un método para contabilizar los consumos de agua y su transformación en indicador huella.

Se seguirá, al igual que en el punto anterior, el cálculo secuencial de su correspondiente huella, que se recoge en la Fig.19.

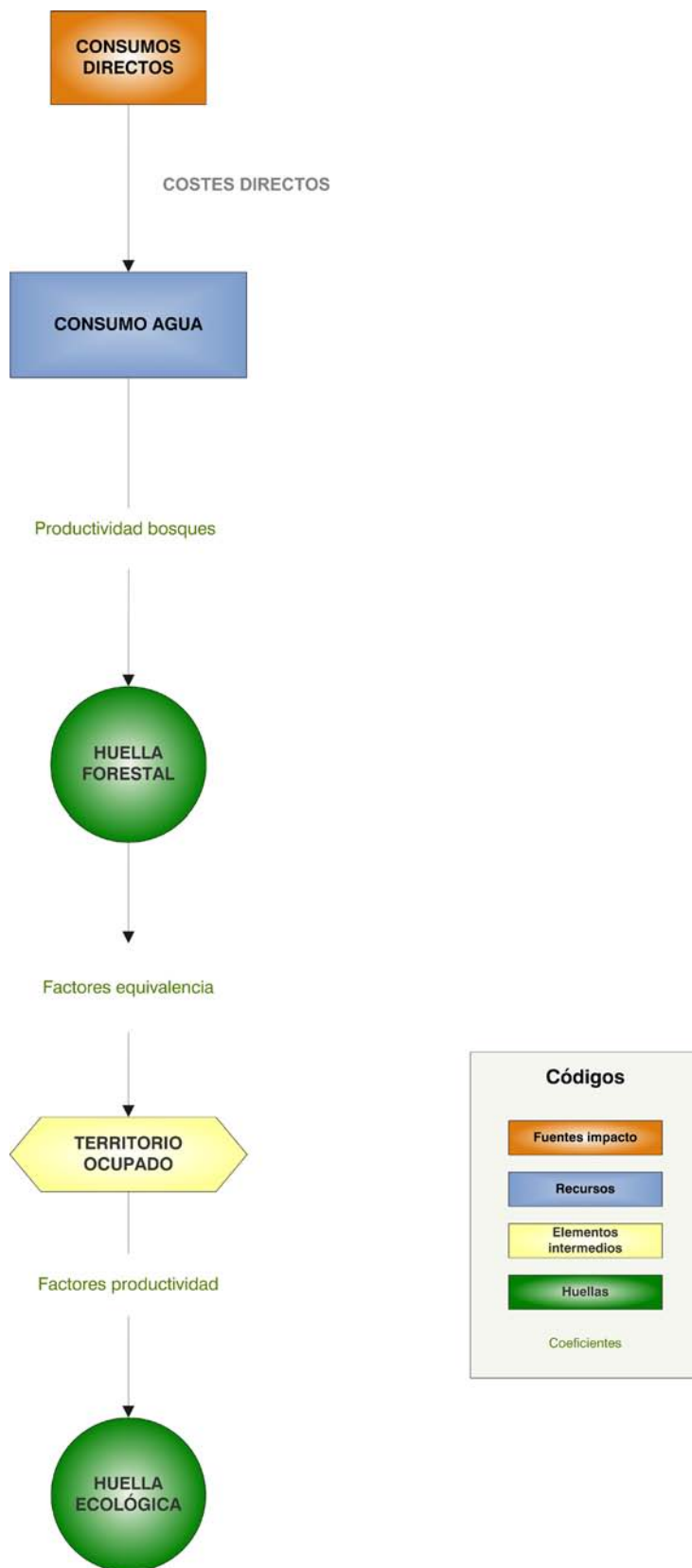


Figura 19: Cálculo secuencial de la HE vinculada al suministro de agua

Antes de comenzar este análisis, hay que definir muy bien el radio de acción.

Al analizar la huella ecológica del sector residencial de la edificación, nos centramos en la evaluación de los consumos de recursos necesarios para llevar a cabo la ejecución de una determinada tipología de edificación. Dicho análisis exige la transformación, mediante factores de conversión, de cada uno de los posibles consumos, en hectáreas de superficie productiva. Entonces, cualquier parámetro que no se pudiera transformar en superficie, no serviría como parte del conjunto de indicadores que nos pueden definir la huella ecológica.

Esta reflexión es muy necesaria para el caso del consumo de agua, donde hay que hacer una diferenciación muy clara entre dos indicadores:

- Huella ecológica vinculada al consumo de agua
- Huella hídrica<sup>81</sup>

El primero de ellos se analizará en este apartado, pero no el segundo ya que la huella hídrica no proporciona un valor de superficie productiva, lo que hace que este no sea integrable en el indicador general.

La huella hídrica de una empresa se define como el volumen total de agua dulce que se utiliza para la producción de los bienes y servicios consumidos por dicha empresa. Se expresa en unidades de volumen, y no de superficie productiva. Además, es un indicador que procede de los consumos vinculados principalmente a los residentes de nuestra edificación, y no aportaría información relevante en este momento, por lo que su análisis se realizará en investigaciones futuras.

En la Fig.20 podemos ver los consumos de agua (lo que se denomina agua virtual) necesarios para la producción de una serie de alimentos.

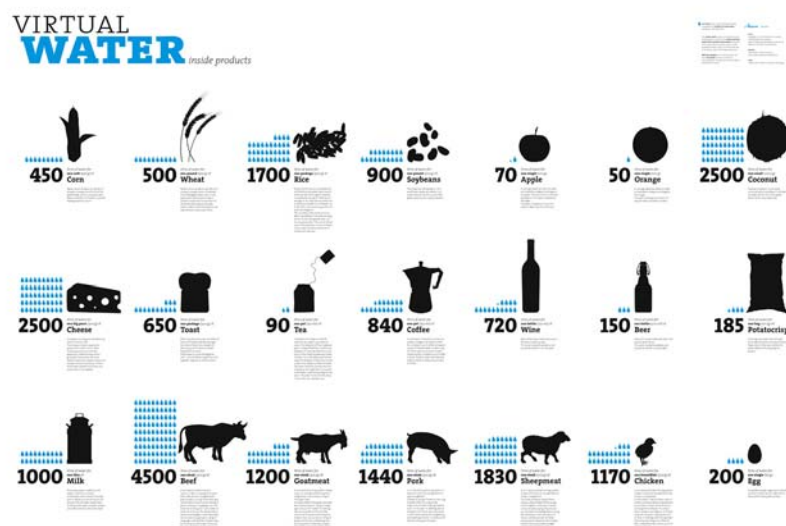


Figura 20: La huella hídrica de los alimentos

81 En inglés, water footprint.

A partir de estos datos, debemos hablar del concepto huella ecológica vinculada al consumo de agua. En nuestro caso, el consumo de agua será aquel que se realizará en el proceso de construcción del edificio.

¿Cómo podemos vincular el consumo de agua al análisis de huella?

Lo haremos, a través del concepto energía incorporada<sup>82</sup>, que será analizado con gran profundidad en otros apartados de esta investigación, especialmente en aquellos relacionados con el consumo de materiales.

Cuando hablamos de energía incorporada, hacemos referencia a que el agua potable que consumimos contiene energía incorporada, es decir, que es necesario invertir cantidad considerable de energía para que del grifo salga agua depurada.

Por lo tanto, para poder definir qué contiene el parámetro energía incorporada asociado al agua potable, habrá que conocer qué conceptos incluyen las empresas de abastecimiento de agua desde el punto de vista del coste del m<sup>3</sup> de ésta.

Si analizamos la publicidad de la empresa suministradora de agua en Sevilla capital<sup>83</sup>, podemos observar que el coste del m<sup>3</sup> de agua que se consume incluye el abastecimiento, vertido y depuración de esa agua.

Veamos algunos casos de cálculo de huella ecológica (HE) vinculada al suministro de agua, para darnos cuenta de qué conceptos se engloban en dicho cálculo.

En Reino Unido<sup>84</sup>, el cálculo consideraba el consumo de energía necesario para tratar, suministrar y donde fuera necesario, calentar el agua. Según esta fuente, 1 millón de litros consumidos de agua generaban una emisión de 370 kg CO<sub>2</sub>.

A partir de estos datos, calculamos la HE:

$$HE=370*0,00019*1,17=0,08 \text{ ha}\cdot\text{año}$$

donde 0,00019 sería el área necesaria para secuestrar 1 kg. CO<sub>2</sub>, y 1,17 el factor de equivalencia para bosques<sup>85</sup>.

Otros autores<sup>86</sup> plantean que el consumo de energía se emplea para bombear el agua potable y para tratar las aguas residuales, además de considerar las posibles fugas de los sistemas de suministro. Es decir, la energía requerida para transferir, tratar y suministrar el agua y su tratamiento hasta la estación depuradora.

---

82 Traducción del término anglosajón embodied energy.

83 EMASESA.

84 Chambers N., Simmons C., Wackernagel M., 2004. Sharing Nature's Interest: Ecological Footprints as an Indicator of Sustainability. Sterling Earthscan. London, Great Britain.

85 Chambers N., Simmons C., Wackernagel M., 2004. Sharing Nature's Interest: Ecological Footprints as an Indicator of Sustainability. Sterling Earthscan. London, Great Britain.

86 Wiedmann T., Barrett J., Cherrett N., 2003. Sustainability Rating for Homes: The Ecological Footprint Component. Stockholm Environment Institute. York, Great Britain. <http://www.sei.se/index.php?section=implement&page=publications>

Así, en los estudios del cálculo de la huella ecológica por componente para la ciudad de Londres<sup>87</sup> se obtuvo que la huella ecológica del consumo de agua era aproximadamente igual a 0,002 ha/cap. Dicha cantidad procedía de los consumos por vivienda. Sin embargo, al no conocer cómo se ha realizado el cálculo sólo nos puede servir de referencia, pero nunca como procedimiento para realizar nuestro cálculo.

Lo que sí podemos ver es a qué tipo de superficie se le ha asignado dicho consumo. Al vincular el consumo de agua al consumo de energía, su huella debe asignarse a suelo forestal, que es aquel que absorbería las emisiones de CO<sub>2</sub> procedentes de los combustibles fósiles que mueven los sistemas de abastecimiento, vertido y depuración de esa agua.

Para la ciudad de Liverpool<sup>88</sup> también se analizó la huella vinculada al suministro de agua. Se cifró la energía requerida para el suministro de 41,6\*10<sup>6</sup> litros en 10,4 GWh, lo que según este estudio implicaría una huella de 0,02 ha/cap. Y para el tratamiento de aguas residuales el consumo alcanzó los 268,7 kWh para un volumen de 10<sup>6</sup> litros.

El último análisis al que vamos a hacer referencia procede de los estudios de Wackernagel y Nerea, aunque se ha empleado posteriormente para el cálculo de huellas ecológicas de muy diversos campos<sup>89</sup>.

Este análisis considera el bosque como productor de agua, motivo por el cual el consumo de este recurso se incluye en el área forestal. Para calcular la productividad del agua (m<sup>3</sup>/ha/año) los estudios se basaron en los datos de la huella familiar de Wackernagel, en los cuales un bosque de zonas húmedas puede producir 1.500 m<sup>3</sup> de agua dulce por hectárea y año. Aunque el uso del bosque como productor de agua puede ser secundario (lo que podría inducir a obviar este tipo de huella), en muchas zonas ya se considera un uso primario del bosque, debiendo computarse, en consecuencia, su huella ecológica.

Hemos visto distintos enfoques de cálculo, de los que se pueden extraer conclusiones. La primera de ellas es que la mayoría de estos cálculos están asociados a la fase de uso de los edificios, lo que no nos permite emplear los datos de HE suministrados (ejemplos de Londres y Liverpool).

La segunda es que podemos enfocar el consumo de dos formas. O bien considerando el consumo energético (energía incorporada) vinculado a ese suministro (ejemplo de Reino Unido, Londres o Liverpool), o bien empleando el método de Wackernagel y Nerea referido anteriormente, donde el bosque en vez de ser el sumidero de CO<sub>2</sub> de la producción de energía sería el productor de agua. En ambos casos la huella se computaría como superficie forestal, pero lógicamente el procedimiento de cálculo sería distinto.

Para esta investigación consideraremos como procedimiento de cálculo el del bosque como productor de agua, ya que de esa manera el cálculo de la HE es más directo. Por una parte, los consumos de agua no hay que transformarlos a otras unidades, y por otra, es más interesante vincular los consumos de agua a procesos de producción de la misma, y no a procesos de emisiones de CO<sub>2</sub>, donde se pierde la perspectiva de qué se está analizando.

87 Nye M., Rydin Y., 2008. The Contribution of Ecological Footprinting to Planning Policy Development: Using REAP to Evaluate Policies for Sustainable Housing Construction. *Environment and Planning B: Planning and Design* 35(2) 227 – 247.

88 Barrett J., Scott A., 2001. An Ecological Footprint of Liverpool: Developing Sustainable Scenarios. A Detailed Examination of Ecological Sustainability. Stockholm Environment Institute. York, Great Britain.

89 Domenech Quesada J.L., 2007. Huella Ecológica y Desarrollo sostenible. AENOR. Madrid, España.

En definitiva, emplearemos para el cálculo de la huella ecológica del suministro de agua los coeficientes considerados por Wackernagel y Nerea<sup>90</sup>.

Una vez que ha quedado expuesta la metodología a seguir, debemos ahora enfocar el cálculo al sector sobre el que investigamos, es decir, la edificación.

Para ello será necesario establecer los consumos de agua para la obra que estudiaremos. Se pueden plantear dos vías: por un lado, estimar los consumos mediante coeficientes suficientemente representativos y, por otro, calcular los consumos totales de agua de la obra.

Para conocer esos consumos deberíamos hacer el estudio una vez finalizada la obra, con lo que el cálculo de la huella ecológica siempre sería a posteriori. Sin embargo, lo que se está investigando es la metodología para el cálculo de la huella ecológica como herramienta de planificación. Eso nos obliga a establecer rangos de consumo.

Estableciendo el sistema para determinar el consumo de agua vinculada a la construcción de los edificios, es el momento de desarrollar la metodología para conocer la huella ecológica vinculada al suministro de agua para el caso de una edificación de uso residencial en su fase de construcción (Fig.19). Así los pasos a seguir serán los siguientes:

1. Determinar rangos de consumos de agua en obras de dimensiones similares a la que se va a analizar.
2. Calcular el coste económico de dichos consumos, para establecer el ratio €/m<sup>3</sup>. Dichos costes económicos se referirán al año en el que se construye la edificación (IPC actualizado)
3. Definir consumo medio de agua de la obra a analizar, mediante interpolación con los datos obtenidos en los puntos 1 y 2. La interpolación se basará en el PEM<sup>91</sup> de la obra.
4. Determinar la HE, según la fórmula que emplea los coeficientes de Wackernagel y Nerea<sup>92</sup>:

$$HE = \frac{C}{Pb} \quad (13)$$

Donde:

HE: huella ecológica del agua (ha)  
 C: consumo (m<sup>3</sup>)  
 Pb: productividad (m<sup>3</sup>/ha)

Donde la productividad de los bosque es la mencionada anteriormente, 1.500 m<sup>3</sup>/ha/año, valor que deberá ser actualizado periódicamente.

90 Domenech Quesada J.L., 2007. Huella Ecológica y Desarrollo sostenible. AENOR. Madrid, España.

91 Presupuesto de Ejecución Material de la obra.

92 Domenech Quesada J.L., 2007. Huella Ecológica y Desarrollo sostenible. AENOR. Madrid, España.

5. Aplicar al valor obtenido de HE el factor de equivalencia correspondiente al suelo productivo considerado, en este caso el de superficie forestal (tabla 3), tal y como se recoge en la fórmula siguiente:

$$HE_{pa} = \frac{C}{Pb} * FE_B \quad (14)$$

Donde:

$HE_{pa}$ : huella ecológica ponderada del agua (hag)

$FE_B$ : factor de equivalencia para los bosques. Actualmente calculado en **1,34**.

Es importante aclarar que el consumo de agua empleado en la ejecución de una promoción de viviendas no se puede determinar a través de los costes directos e indirectos de ejecución porque en la mayoría de los precios el consumo de agua no es un precio básico, por lo que no se puede obtener dicha cantidad. Además, tampoco está recogida la estimación del consumo de agua en las fórmulas polinómicas de revisión de precios, por lo que tampoco podríamos realizar un cálculo aproximado.

Nuestro punto de vista es que la ecuación presentada por Domenech, aunque formulada por Wackernagel y Nerea, puede ser una buena aproximación para el cálculo de esta huella.

Habrá que tener en cuenta, como siempre ocurre en los cálculos de huella ecológica, los datos relativos a los factores de conversión. En este caso, necesitamos como datos el factor de equivalencia para los bosques y la productividad de los bosques para generar agua dulce. Si esos datos se corrigieran o se modificaran, el cálculo de nuestra huella también se vería afectado.

### 1.2.1. Otras consideraciones

Para el caso de la huella ecológica por componentes para Londres, el consumo de agua era por vivienda, que se estimó en aproximadamente 150 litros por familia y día, considerándose como hipótesis una familia media de 2,7 miembros, lo que implicaba un consumo de agua por año y miembro de 47 m<sup>3</sup>.

Otras fuentes bibliográficas consideran un consumo estándar por habitante (litros por persona y día) superior a 150 litros<sup>93</sup>. Según los últimos datos disponibles se considera que el consumo medio del área metropolitana de Barcelona es de 128 litros<sup>94</sup>. En Andalucía, el consumo por hogar se estima actualmente en 195 litros/persona y día<sup>95</sup>.

93 Cuchí i Burgos A., 2005. Arquitectura i Sostenibilitat. Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), Barcelona, España.

94 Solanas T., Herreros J., 2008. Vivienda y Sostenibilidad en España. Volumen 2: Colectiva. Gustavo Gili. Barcelona, España.

95 Diario El País, 11 de Enero de 2008.



## **2. Consumos indirectos**

En este segundo apartado analizaremos las fuentes de impacto que consumen recursos indirectamente, es decir, que el impacto no viene causado por la fuente, sino por sus componentes. Para este estudio nos centraremos en dos de ellos: la mano de obra y el consumo de materiales, ambas de gran importancia para el cálculo de la HE.

En primer lugar se estudiará el consumo de mano de obra, incidiendo en los aspectos más determinantes de su impacto sobre el territorio: alimentos y movilidad. La transformación de estos consumos en valores de HE se realizará mediante procedimientos ya documentados, que serán adaptados a las características específicas del sector de la edificación. En segundo lugar se evaluará la HE asociada al consumo de materiales de construcción durante el proceso de ejecución del edificio. En este apartado habrá que tener en cuenta los consumos energéticos derivados de la fabricación, transporte y puesta en obra de cada uno de los materiales que se emplean en la construcción de los edificios.

### **2.1. Mano de obra**

A continuación veremos pormenorizadamente los consumos asociados a la mano de obra, que se dividirán en los derivados de la manutención de la mano de obra y los originados por el desplazamiento de los trabajadores que intervienen en la construcción de los edificios.

#### **2.1.1. Alimentos**

Para la justificación de la metodología seguiremos la secuencia descrita en la Fig.21

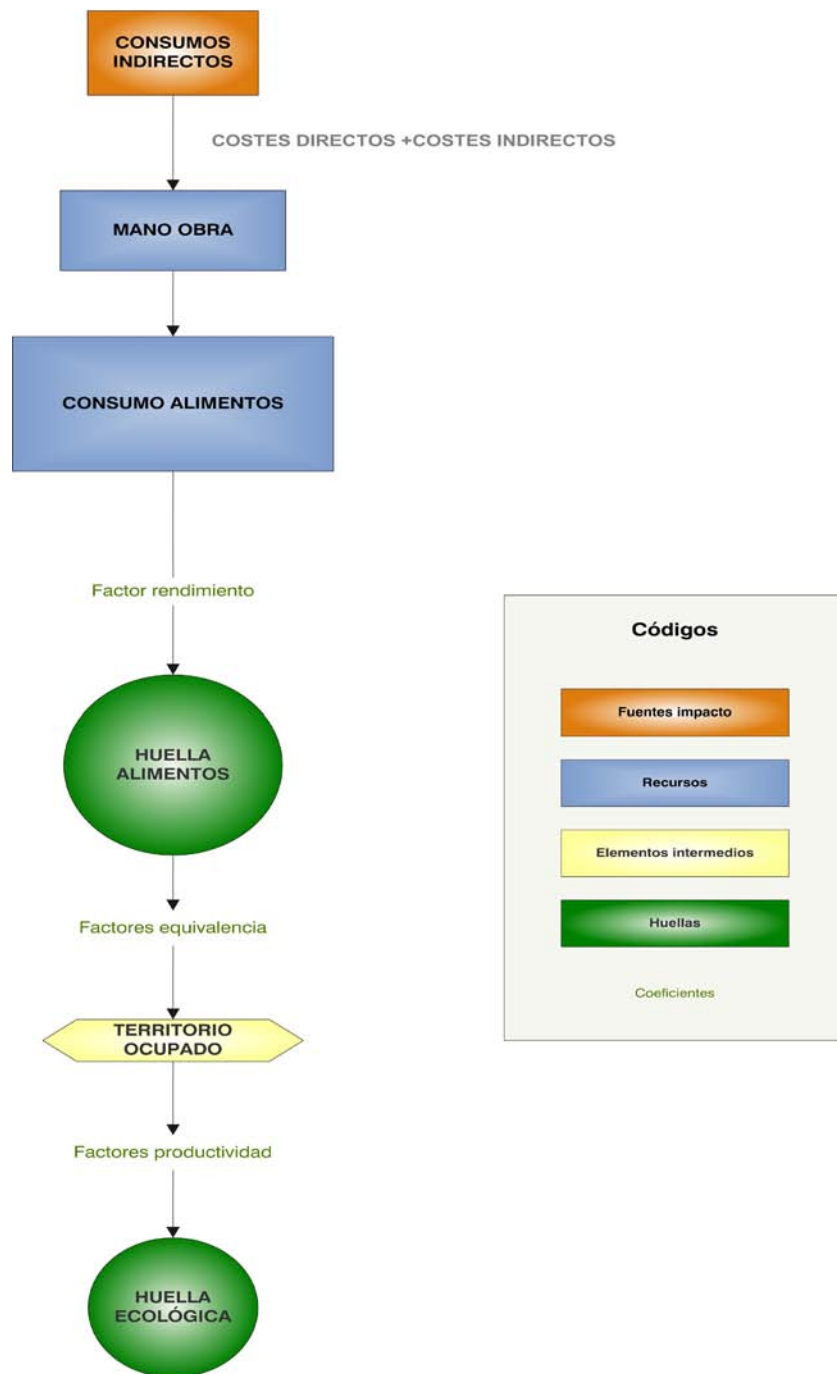


Figura 21: Cálculo secuencial de la huella asociada al consumo de alimentos

Para el cálculo de la huella ecológica del sector edificación es necesario contabilizar los consumos originados por todos los agentes que intervienen en la ejecución de la obra. Por tanto, los consumos alimenticios son también una fuente de impacto a considerar, aunque su incidencia sea indirecta.

Es indudable que el consumo de alimentos, en todos los análisis de huella ecológica a nivel consumidor aparece como un parámetro de estudio, por lo que debemos tener en cuenta los índices de consumo para el sector edificación.



Figura 22: Alimentando el mundo (Citylimitslondon.com)

Los bienes de consumo en general, y los alimentos en particular, se expresan habitualmente en toneladas consumidas, por lo que habrá que transformarlos en hectáreas para obtener índices de huella ecológica. De hecho, en el análisis de huella ecológica por componente<sup>96</sup> para regiones u organizaciones, uno de los componentes habituales de estudio es el consumo de alimentos, que se expresa precisamente en toneladas.

Un resumen de los resultados de dicho análisis se recoge en la tabla 20. En ella aparece un listado con los alimentos más relevantes, clasificados por grandes grupos, con cifras de impacto sobre los territorios generados por cada uno de ellos.

Alimentos	HE (hag por año y tonelada)
Cereales	1,7-2,8
Legumbres	3,6-4,4
Vegetales y tubérculos	0,3-0,6
Carne	6,9 (de pastos)-14,6 (animales en cautividad)
Leche	1,1-1,9
Pescado	4,5-6,6
Fruta	0,5-0,6

Tabla 20: La huella ecológica de los alimentos

<sup>96</sup> Chambers N., Simmons C., Wackernagel M., 2004. Sharing Nature's Interest: Ecological Footprints as an Indicator of Sustainability. Sterling Earthscan. London, Great Britain.

Dichos impactos vienen dados en hag por año y tonelada. Se emplea la unidad hag porque se utiliza la productividad global de cada uno de los territorios o suelos que generan los distintos bienes de consumo.

Por ejemplo, para conocer la huella ecológica de los cultivos de cereales se empleó la productividad media global de los cultivos de cereales.

Además, los cálculos incluyeron los porcentajes necesarios para transporte, procesado y energía requerida.

Cuando se analiza la producción de alimentos la productividad se denomina específicamente *productividad natural*, que se define como la cantidad de territorio (en ha) necesario para producir 1 t de recursos (alimentos).

Así, si una determinada comunidad de individuos gasta al año 5.000 kg de tomates, y la productividad natural media de los tomates es de 5.000 kg/ha, esa comunidad consume el equivalente a 1 ha de terreno de cultivos. Esa es su huella correspondiente a ese tipo de superficie (tierra cultivable).

Por tanto, para calcular la HE de los alimentos deberemos usar la siguiente expresión:

$$\boxed{HE = \frac{C}{P_n}} \quad (15)$$

Donde:

HE: huella ecológica de los alimentos (ha)

C: consumo (t)

P<sub>n</sub>: productividad natural (t/ha)

Además de cuantificar la productividad de cada uno de los territorios, es necesario que a cada uno de los bienes de consumo le asignemos su correspondiente territorio productivo. Veamos algunos ejemplos:

- La huella del consumo de patatas se asigna a terrenos cultivables.
- La huella del consumo de pescado se asigna al tipo de territorio denominado mar productivo.
- La huella del consumo de madera se asigna a territorio forestal (bosques).
- La huella del consumo de carne se asigna a pastos, ya que ese es el tipo de territorio en el que se ubican los distintos tipos de animales de los que procede la carne que ingerimos.

Mediante la productividad natural obtenemos la huella de la producción de las materias primas. Pero para obtener los alimentos elaborados a partir de las materias primas es necesario incluir la huella energética, es decir, el coste energético asociado a la elaboración de los alimentos a partir de las materias primas, que estará asociado al consumo de combustible fósil.

$$HE_f = \frac{C * IE}{Pc} \quad (16)$$

Donde:

$HE_f$ : huella energética (fósil) de los alimentos (ha)

C: consumo (t)

IE: intensidad energética (GJ/t)

$Pc$ : productividad del petróleo (GJ/ha)

Por ahora disponemos de cálculos sobre huella de distintos alimentos, mientras que nuestro interés se centra en disponer de datos de consumos (en toneladas) y de productividades. Para ello es necesario basarse en los datos suministrados por Wackernagel y Nerea<sup>97</sup> sobre la huella asociada al consumo de recursos agropecuarios. Todos los datos que se van a proporcionar, y que se recogen en la tabla 21, incluyen todos los insumos, tales como abonos químicos, pesticidas, tratamientos, etc. Es decir, que el cálculo de los consumos energéticos para la obtención de cada uno de esos alimentos incluye todos los tratamientos previos a la recogida de cada uno de ellos.

Alimentos	Intensidad energética (GJ/t)	Productividad natural (t/ha/año)
Carnes	80	0,033
Pescados y mariscos	100	0,029
Cereales, harina, pastas, arroz, pan	15	2,264
Bebidas (zumos, vino, champán)	7	22,500
Legumbres, raíces y tubérculos	10	6,730
Azúcar, dulces	15	4,893
Aceites y grasas	40	1,485
Lácteos	37	0,276
Cafés/Tés	75	0,566

Tabla 21: Intensidad energética y productividad natural de los alimentos<sup>98</sup>

Así, podemos observar que debido a la escasa productividad, los alimentos que más huella producen son los pescados y las carnes.

También podemos constatar la existencia de dos columnas: una, que hace referencia a los valores de productividad natural, que es un parámetro que ya hemos explicado antes, y otra de intensidad energética.

97 Domenech Quesada J.L., 2007. Huella Ecológica y Desarrollo sostenible. AENOR. Madrid, España.

98 Domenech Quesada J.L., 2007. Huella Ecológica y Desarrollo sostenible. AENOR. Madrid, España.

La intensidad energética mide el consumo energético (GJ) para obtener una tonelada de cada uno de los recursos agropecuarios ya disponible para el consumidor, es decir, ya elaborado. Este parámetro permite relacionar los consumos de distintos recursos con el indicador huella de origen fósil.

Es decir, mediante ambos parámetros, intensidad energética y productividad natural, y conociendo los consumos anuales de cada uno de los recursos se puede determinar la huella ecológica generada por la ingesta de alimentos de la población en estudio.

Además, si estamos estableciendo una metodología para el cálculo de la huella asociada a la ingesta de alimentos, podemos dar también el abanico de alimentos que pueden componer una comida cualquiera.

Domenech<sup>99</sup> afirma que un menú medio de una comida en empresa podría estar formado por:

Alimentos	Porcentaje		Porcentaje	Conversión (t/1.000 €)
Carnes	25	Pollo/ave	25	0,65
		Cerdo	25	
		Ganado de grano	25	
		Ganado de pasto	25	
Pescados	25			0,50
Cereales	12			4,69
Bebidas	10			0,34
Legumbres y patatas	8			1,45
Dulces	6			0,70
Aceites	5			0,71
Lácteos	5			0,93
Café/Té	4			0,54

Tabla 22: Composición de un menú de empresa y conversión a toneladas

Al estar dados dichos porcentajes desde el punto de vista presupuestario, necesitamos la última columna de la tabla 22 para convertir los valores a toneladas. Dicho valores proceden de estadísticas de Comercio Exterior<sup>100</sup>.

Además de todo lo expuesto, tendremos que considerar que en el suelo edificable no existen territorios cultivables, por lo que el consumo de alimentos será siempre de origen externo, y la huella se imputará al apartado de recursos agropecuarios y pesqueros. Si posteriormente, durante la vida útil del edificio se planteara algún tipo de cultivo en la zona que se edificó habría que computar ese suelo como capital natural, lo que reduciría la huella de esta clase.

99 Domenech Quesada J.L., 2007. Huella Ecológica y Desarrollo sostenible. AENOR. Madrid, España.

100 Domenech Quesada J.L., 2007. Huella Ecológica y Desarrollo sostenible. AENOR. Madrid, España.

Existen autores que afirman<sup>101</sup> que la mano de obra no debería tener repercusión en la huella ecológica de la empresa que se analice, pues se asume que todos los consumos personales (manutención, desplazamiento al trabajo, etc.) pertenecen a la huella individual, regional o nacional, pero no a la huella corporativa.

Sin embargo, el proceso constructivo considera la mano de obra como un recurso más a emplear en la ejecución del edificio, por lo que es imprescindible incluirla como un factor generador de impacto. Para nuestro caso de estudio, es decir, la fase de construcción de edificios de uso residencial, se considerará exclusivamente la huella de manutención, es decir, la huella asociada al consumo de alimentos. Para ello habrá que estimar:

- Tiempo (duración de la obra en días)
- Número de trabajadores
- Número de comidas en la obra
- Tipo de comida

Se tomará como jornada laboral 40 horas a la semana.

Para el cálculo de la huella de manutención, partiremos del presupuesto de ejecución material (PEM). A partir de él podemos determinar el coste económico de la mano de obra, basándonos en las fórmulas polinómicas para edificación (contratación oficial), en las cuáles, a partir del PEM, podemos dar una estimación del coste económico, para nuestra obra, de la mano de obra.

Conociendo el coste horario de la mano de obra (€/h), que será un dato que aportaremos, obtendríamos el coste total de la mano de obra en horas para la obra en estudio.

A continuación analizaríamos los consumos de alimentos asociados a esas horas, siguiendo la referencia de la tabla 22.

Por otra parte, a través de las mediciones obtendremos las horas reales que se hayan utilizado como mano de obra en la construcción de nuestro proyecto. Por tanto, los pasos a seguir serán:

1. Emplear el coeficiente correspondiente de las fórmulas polinómicas para determinar monetariamente el impacto de la mano de obra.
2. Transformación de € en horas. Para ello se harán hipótesis del coste de la mano de obra en €/h.
3. Para la transformación del coste en horas a coste ecológico, se establecerá el ratio ha/h de consumo alimenticio, en función de todos los datos comentados en este apartado, y basándonos en los datos de productividad de la tabla 21. Se deberán emplear las fórmulas que relacionan HE con productividad, intensidad y consumo.
4. Asignar cada una de las huellas a su correspondiente territorio. Al final tendremos varios tipos de huella para el consumo de alimentos: terrenos cultivables, pastos, mar productivo, fósil...

Los costes indirectos asociados a la mano de obra se calcularán desde el punto de vista ecológico.

---

<sup>101</sup> Domenech Quesada J.L., 2007. Huella Ecológica y Desarrollo sostenible. AENOR. Madrid, España.

En esa mano de obra no computada incluiremos encargados, capataces, técnicos adscritos a la obra, administrativos, personal auxiliar, mano de obra para maquinaria (que no se haya computado en costes directos, como es el caso de las grúas), etc.

### 2.1.2. Movilidad

Para la justificación de la metodología seguiremos la secuencia descrita en la Fig.23

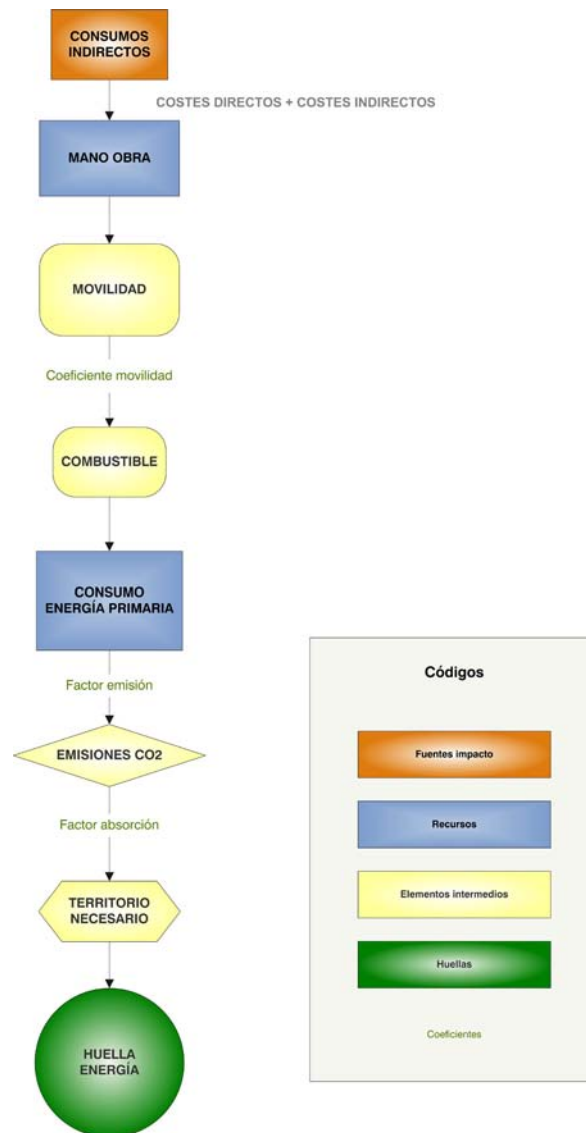


Figura 23: Cálculo de la huella de movilidad

Según datos del IDAE<sup>102</sup>, el 12% de la energía consumida en España procede del consumo en coche, siendo responsable el parque de automóviles del 40% del consumo de energía del transporte

102 Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), 2007. Guía Práctica de la Energía: Consumo Eficiente y Responsable. IDAE. Madrid, España.



por carretera, cifrándose el gasto medio anual familiar de combustible para coche en 1.200 €.

Medio de transporte	
Autobús	1
Coche	2,9
Avión	12,1
AVE	1,8
Ferrocarril	2,6

Tabla 23: Consumo de los medios de transporte en España<sup>103</sup>

Podemos observar, que, según la tabla 23, el coche es, salvando el avión, el medio de transporte de viajeros más ineficiente, y por tanto, foco de gran impacto ecológico. Podemos afirmar por tanto, que en viajes interurbanos, el coche consume por viajero y kilómetro casi 3 veces más que el autocar, siendo esa diferencia aún más acentuada en medio urbano.

Otros datos que emplearemos para los cálculos de HE asociada a la movilidad se recogen en las tablas 24 y 25:

Combustible	Consumo (litros/100 km)	Emisiones CO <sub>2</sub> (kg/litro)
Gasolina	7,40	2,35
Gasoil/diesel	6,04	2,60

Tabla 24: Coeficientes de consumo de coches en España<sup>104</sup>

Medio de transporte	km/litro y pasajero
Autobús	39,50
Coche	18,60
Metro	48

Tabla 25: Distancia recorrida por pasajero con 1 litro de carburante<sup>105</sup>

103 La unidad de medida que empleamos es unidades de energía por viajero y kilómetro.

104 Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), 2007. Guía Práctica de la Energía: Consumo Eficiente y Responsable. IDAE. Madrid, España.

105 Calvo Salazar M., 2007. Ordenación del Territorio, Urbanismo y Movilidad desde un Enfoque de Huella Ecológica. Seminario: La Huella Ecológica en España. Fundación Biodiversidad y Ministerio de Medio Ambiente. 22-23 de Octubre de 2007. Madrid, España.

Otras fuentes<sup>106</sup> cifran las emisiones generadas por el transporte de vehículos en 133 g CO<sub>2</sub>/ km recorrido.

Para poder determinar qué metodología vamos a emplear para el cálculo de la HE es necesario resumir casos relevantes de estudios de movilidad que nos permitan determinar pautas a seguir.

El primer estudio relevante se localiza en Cataluña, exactamente en la ETSAV<sup>107</sup>, donde se analizó la movilidad de los universitarios del Centro. Se consideró el tipo de transporte, el número de kilómetros recorridos anualmente, la energía consumida y las emisiones de CO<sub>2</sub> emitidas a la atmósfera. Son datos que se necesitarán para dar el impacto de la movilidad como hectáreas de superficie productiva.

Los datos de la energía consumida en el transporte a la universidad mencionada, fueron los siguientes:

Transporte	Personas (%)	Kilometraje anual	Energía consumida (MJ)	Impacto (%)	Emisiones de CO <sub>2</sub> (kg)
Coche	44,9	3.124.980	8.565.800	89,8	642.432
Tren	37,4	2.610.894	858.036	9,6	68.536
Autobús	2,8	140.533	54.808	0,6	4.110,6

Tabla 26: Resultados del estudio de movilidad de la ETSAV

Sin embargo, los casos más relevantes de estudios de movilidad proceden del Reino Unido, quizás porque la metodología de Wackernagel fue rápidamente aplicada en distintas poblaciones, lo que propició información relevante en este campo. Además, también se observa que los entes públicos británicos están empleando el indicador HE como referente para informes de muy diverso calado, lo que está permitiendo conocer cálculos y procedimientos muy útiles.

Veamos a continuación distintos estudios que se han hecho en Gran Bretaña para evaluar la huella ecológica del parque automovilístico. Hay que decir que prácticamente todos estos estudios siguen la metodología definida por Wackernagel, aunque es necesario detenernos en cada uno de ellos para ver qué datos son relevantes para nuestra investigación. El primer estudio se realizó para determinar la HE de los viajes en coche en Reino Unido<sup>108</sup>, cuyos datos más relevantes se recogen en la tabla 27.

106 Figueroa Clemente M.E., Redondo Gómez S., 2007. Los Sumideros Naturales de CO<sub>2</sub>: una Estrategia Sostenible entre el Cambio Climático y el Protocolo de Kyoto desde las Perspectivas Urbana y Territorial. Universidad de Sevilla, Secretariado de Publicaciones. Sevilla, España.

107 Escuela Técnica Superior de Arquitectura del Vallés. Cuchí i Burgos A., López Caballero I., 1999. Informe MIES: una Aproximación al Impacto Ambiental de la Escuela de Arquitectura del Vallés. Universitat Politècnica de Catalunya (UPC). Barcelona, España.

108 Chambers N., Simmons C., Wackernagel M., 2004. Sharing Nature's Interest: Ecological Footprints as an Indicator of Sustainability. Sterling Earthscan. London, Great Britain.

Componente	Demanda <sup>109</sup>	Tipo de tierra	Factor de equivalencia
Consumo petróleo	0,094 l/km (0,22 kg CO <sub>2</sub> /km)	CO <sub>2</sub>	1,17
Carreteras	2.581.747 ha	Área construida	2,83
Uso del coche de las carreteras	86%		
Viajes anuales coche en Reino Unido	362.400.000.000 km		
Ocupación por coche	1,6 personas		

Tabla 27: HE de desplazamientos en automóvil en Reino Unido

Según este estudio, para calcular la HE de los desplazamientos en automóvil deberemos considerar:

1. El consumo de combustible: dicha cantidad se podrá expresar de distintas formas: l/km, kg CO<sub>2</sub>/km... Se imputará al territorio para absorción de CO<sub>2</sub>.
2. El consumo de combustible para fabricación y mantenimiento del vehículo. Se considera un 15 % extra<sup>110</sup>.
3. El consumo de combustible para construcción y mantenimiento de carreteras. Se considera 30-35% extra<sup>111</sup>.
4. El consumo de tierra por las carreteras construidas, que se imputará a la superficie construida. Para este punto es necesario conocer la superficie ocupada en el territorio por las carreteras, el porcentaje de uso de los coches sobre las carreteras y los viajes anuales que se producen en el territorio usando el coche (expresado en km).

Con todos esos datos obtenemos, por un lado, la huella en forma de territorio para absorción de CO<sub>2</sub> (puntos 1, 2 y 3) y en forma de área construida (punto 4). Mediante los factores de equivalencia transformamos las hectáreas productivas locales en globales.

Si en vez de dar el cálculo de HE en ha anuales por coche y kilómetro la quisiéramos dar por pasajero y kilómetro, emplearíamos el dato de ocupación por coche.

Veamos ahora de forma detallada los cálculos de la tabla. En relación a éstos convendrá comentar que los datos están expresados en m<sup>2</sup> en vez de ha, lo que no invalida el ejemplo, aunque solo sea para ver cómo se han realizado los cálculos:

<sup>109</sup> Se supone una demanda de 10.000 pasajeros por kilómetro al año.

<sup>110</sup> Chambers N., Simmons C., Wackernagel M., 2004. Sharing Nature's Interest: Ecological Footprints as an Indicator of Sustainability. Sterling Earthscan. London, Great Britain.

<sup>111</sup> Chambers N., Simmons C., Wackernagel M., 2004. Sharing Nature's Interest: Ecological Footprints as an Indicator of Sustainability. Sterling Earthscan. London, Great Britain.

Así, para determinar el punto 4 (tierra construida) el cálculo fue el siguiente:

$$\frac{[2.581.747(1)*0,86(2)*10000(4)]}{[362.400.000.000(3)]=0,06$$

$$0,06*2,8=0,17 \text{ m}^2 \text{ por coche-km por año}$$

Donde:

- (1): área total en ha de carreteras en Reino Unido
  - (2): porcentaje de uso de las carreteras por coche
  - (3): viajes realizados por los coches en Reino Unido por año (expresados en km)
  - (4): conversión de ha a km<sup>2</sup>
- Factor de equivalencia es 2,8.

Estudios similares para el cálculo de la HE en Reino Unido para los viajes en coche<sup>112</sup> consideraron metodología y parámetros similares. Se fijó un uso de las carreteras por el coche del 86%, y una ocupación media de 1,6 personas por coche. Se estableció la HE total como la suma de la huella por consumo de petróleo más la huella por uso de carreteras.

Resultados análogos se determinaron con el estudio, también para Reino Unido<sup>113</sup>, basado en el análisis de HE por componente, realizado por Chambers y Simmons. A través de la estructura del análisis por componente, se desarrolló la llamada Eco-Index Methodology, empleada principalmente para determinar el consumo de viviendas y que desembocó en la aplicación informática ECO-CAL<sup>114</sup>. Para el caso de los desplazamientos en coche, dicha aplicación empleó cifras similares a las mencionadas anteriormente.

112 Best Foot Forward (BFF), 2002. City Limits: A Resource Flow and Ecological Footprint Analysis for Greater London. Chartered Institute of Wastes Management Environment Body. London, Great Britain.

113 Barrett J. 2001. Component Ecological Footprint: Developing Sustainable Scenarios. Impact Assessment and Appraisal 19 107-118.

114 Herramienta informática desarrollada por Chambers y Simmons para el consumo doméstico, que, entre otros resultados, permite calcular los consumos de combustible asociados al transporte en coche en Reino Unido. Los factores de conversión proceden de: Chambers N., Simmons C., Wackernagel M., 2004. Sharing Nature's Interest: Ecological Footprints as an Indicator of Sustainability. Sterling Earthscan. London, Great Britain. Chambers et al, 2004.



Figura 24: Interfaz de movilidad de ECOCAL<sup>115</sup>

Con esta metodología se obtuvieron los siguientes resultados de HE (tabla 28):

Transporte	HE (10 <sup>-5</sup> ha/pasajero*km)
Coche	3,64
Moto	2,93
Tren	2,41
Avión	7,35
Autobús	2,93

Tabla 28: Valores de HE para desplazamiento

Aunque es cierto que hasta ahora hemos considerado la huella de movilidad compuesta por varios términos, debemos especificar el procedimiento a emplear para nuestro estudio. Es indudable que para conocer el impacto que generan los desplazamientos de los operarios hasta la obra de edificación deberemos considerar el consumo de combustible de los coches (suponiendo que será el medio de transporte utilizado).

En segundo lugar, respecto al consumo de combustible para fabricación y mantenimiento del vehículo, se considerará para nuestro estudio sólo el 10%, ya que el automóvil tendrá otros usos que no

<sup>115</sup> Going Green Limited, 2005. ECOCAL. Versión 4.2.3. Best Foot Forward. www.bestfootforward.com

se pueden computar directamente a la obra de edificación. Lógicamente el consumo energético empleado en la fabricación de los coches no lo computaremos en el capítulo de consumo de materiales.

El tercer punto hace referencia a la huella de las infraestructuras públicas, tanto desde el punto de vista del consumo de combustible para construcción y mantenimiento de carreteras como del consumo de superficie para su construcción. Creemos, siguiendo el análisis de otros autores<sup>116</sup>, que dicha huella debería incluirse en el cálculo de la huella urbana, regional o nacional, pero no en la del proyecto de edificación, donde deben considerarse exclusivamente los consumos derivados del proceso constructivo. Por tanto, la hipótesis será excluir el uso de las infraestructuras públicas en el cálculo de la huella.

Es decir, que necesitaremos exclusivamente datos de consumo de combustible para determinar la huella de movilidad.

Dichos datos pueden ser obtenidos de los estudios de instituciones públicas británicas (DEFRA y CRAG), que permiten el cálculo de las emisiones de CO<sub>2</sub> en el Reino Unido. Para el caso de CRAG<sup>117</sup> se dan las emisiones en función de rangos de consumo de combustible:

Consumo	Factor de conversión
Litros gasolina	2,3
Litros diesel	2,7
Km recorridos coche pequeño gasolina (< 1,4 l)	0,17
Km recorridos coche mediano gasolina ( 1,4-2,1 l)	0,22
Km recorridos coche grande gasolina (> 2,1 l)	0,30
Km recorridos coche pequeño diesel (< 1,7 l)	0,15
Km recorridos coche mediano diesel (1,7-2 l)	0,19
Km recorridos coche grande diesel (> 2 l)	0,26

Tabla 29: Parámetros para desplazamiento (CRAG)

Donde las emisiones de CO<sub>2</sub> se calcularían según la siguiente expresión:

$$E = C * Fc \quad (17)$$

Donde:

E: emisiones CO<sub>2</sub> (kg)

C: consumo (unidad de consumo)

Fc: factor de conversión

116 Domenech Quesada J.L., 2007. Huella Ecológica y Desarrollo sostenible. AENOR. Madrid, España.

117 Carbon Rationing Action Groups (CRAG), 2007. CO<sub>2</sub> Conversion Spreadsheet: Calculate your Carbon Emissions. CRAG. <http://www.carbon-rationing.org.uk>

Igualmente interesante es la herramienta de cálculo de emisiones de CO<sub>2</sub> para organizaciones desarrollada por DEFRA<sup>118</sup>. En la tabla 30 se recoge los datos que proporciona para los desplazamientos en coche:

Transporte/consumo	kg CO <sub>2</sub> / unidad consumo
Gasolina (l)	2,32
Diesel	2,63
Vehículo eléctrico (kWh)	0,52
Coche híbrido (medio) km	0,13
Coche híbrido (grande) km	0,22

Tabla 30: Parámetros para desplazamiento (DEFRA)

Para establecer la metodología a seguir nos basaremos en la Fig.23 y en estudios como el de ET-SAV (tabla 26) u otros más recientes<sup>119</sup>.

Las hipótesis a seguir serán:

1. Se establecerá como tipo de transporte el vehículo privado, ya que supondremos que la obra se sitúa en una zona alejada del núcleo urbano, por lo que sería complicado el desplazamiento con otro medio de transporte.
2. Se establecerá distancia media recorrida por los vehículos de los operarios en los desplazamientos. Se asume 15-30 km de distancia media.
3. La ocupación media por vehículo será de 4 individuos por vehículo.
4. Para el cálculo del consumo de combustible nos basaremos en la tabla 24. Se añadirá un consumo extra del 10% (mantenimiento del vehículo).
5. Las emisiones de CO<sub>2</sub> podrán obtenerse a partir de las tablas 24, 29 y 30 o siguiendo la metodología para el consumo de combustible del apartado de energía.
6. La huella de movilidad se determinará siguiendo el procedimiento del apartado de energía.

Por último, al igual que en el caso del consumo de alimentos, tendremos que considerar la HE de la movilidad asociada a los costes indirectos.

118 AEA Energy & Environment, 2008. Tool for Calculations of CO<sub>2</sub> Emissions from Organisations. Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA). Great Britain.

119 Arto I., Pon D., 2007. Escenarios de Evolución de la Huella Ecológica. Seminario: La Huella Ecológica en España. Fundación Biodiversidad y Ministerio de Medio Ambiente. 22-23 de Octubre de 2007. Madrid, España.

## 2.2. Materiales de construcción

Al igual que en apartados anteriores, se seguirá la metodología descrita en la figura:

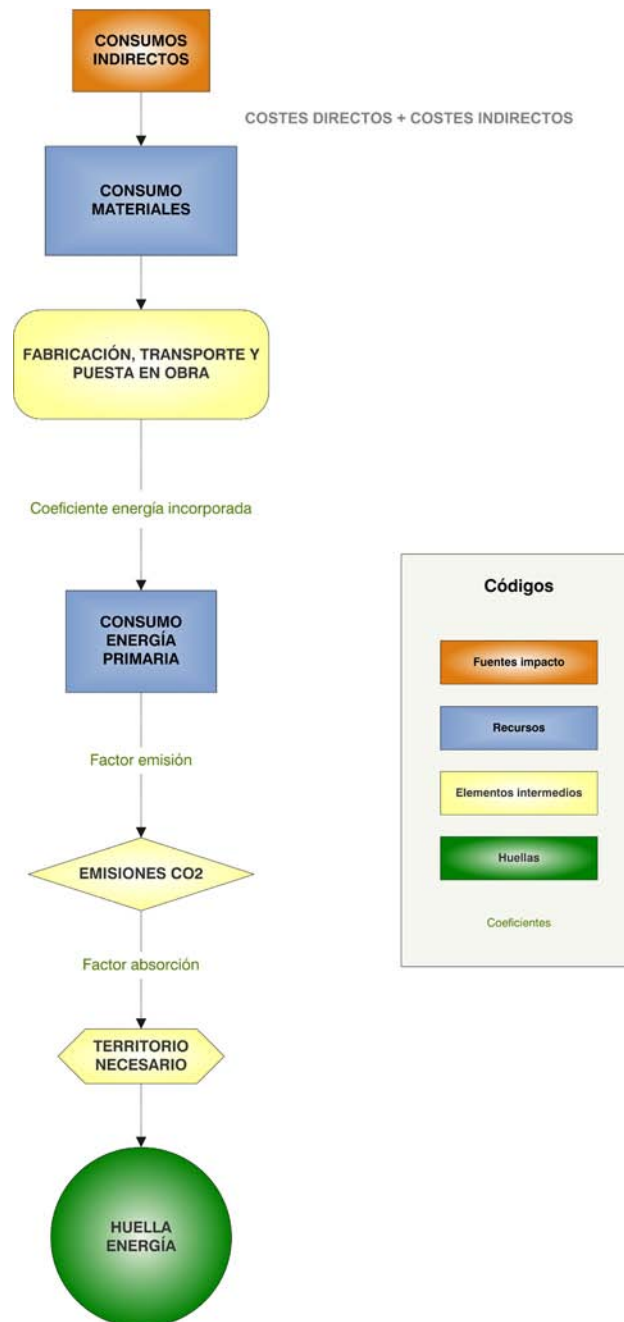


Figura 25: Metodología de cálculo de la huella de los materiales de construcción

El consumo de materiales de construcción presenta una serie de características particulares que hace más complicado el cálculo de su huella, principalmente porque los procedimientos documentados para calcular los consumos energéticos derivados de la fabricación, transporte y puesta en obra de dichos materiales generalmente no están accesibles o no están suficientemente justificados.



Es necesario antes de establecer la metodología de cálculo de su huella, explicar qué procedimiento emplearemos para evaluar los consumos energéticos. Para ello será imprescindible explicar el concepto, ya avanzado en otros capítulos, denominado energía incorporada.

### 2.2.1. La energía incorporada

Para poder explicar adecuadamente el concepto de energía incorporada<sup>120</sup> es necesario definir previamente las fases del ciclo de vida de un material que se emplee en la construcción.

Cuando hablamos “de la cuna hasta la puerta<sup>121</sup>”, nos referimos al proceso de fabricación del material, desde su extracción como material puro, pasando por los procesos de manufactura y transporte en las plantas de procesado, hasta la obtención del producto manufacturado a las puertas de la factoría.

Cuando hablamos “de la cuna hasta el sitio<sup>122</sup>”, incluimos además la información del transporte hasta la obra.

Cuando nos referimos a “de la cuna a la tumba<sup>123</sup>”, incluimos todas las fases del ciclo de vida del material: fabricación, uso, eliminación y reciclado del material.

Por último, podemos hablar incluso del concepto “de la cuna a la cuna<sup>124</sup>”, donde podemos encontrar materiales que alargan su ciclo vital, incorporándose de nuevo al proceso de fabricación.

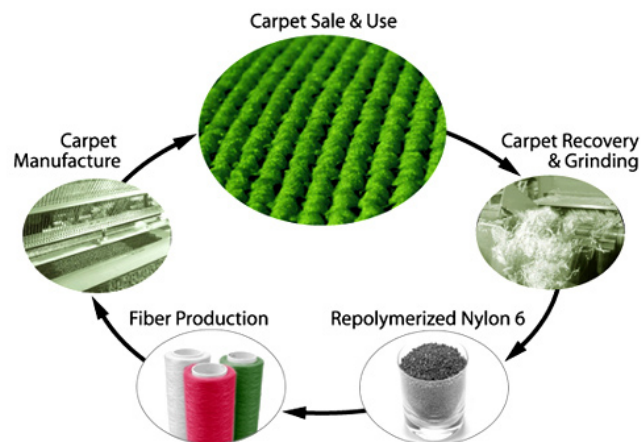


Figura 26: Fabricación de alfombras según la filosofía “de la cuna a la cuna” (www.moveyourmind.es)

Es decir, existen muchas maneras de enfocar la cuestión del ciclo de vida de un producto, por lo que es necesario, para nuestro campo de investigación, situarnos adecuadamente.

120 En inglés, embodied energy.

121 En inglés, from cradle to gate.

122 En inglés, from cradle to site. Berge B., 2009. The Ecology of Building Materials. Architectural Press. Amsterdam, Holanda.

123 From cradle to grave.

124 From cradle to cradle. McDonough W., Braungart M., 2005. Cradle to Cradle (de la Cuna a la Cuna): Rediseñando la Forma en que Hacemos las Cosas. McGraw-Hill/Interamericana. Madrid, España.

Como ya se ha comentado anteriormente, nuestro análisis se centra en el proceso constructivo, por tanto, los productos que se estudien se harán desde el análisis cuna-puerta o cuna-sitio, ya que las fases de uso, demolición o reciclado de esos materiales no se van a tener en cuenta en esta investigación.

A continuación explicaremos distintas formas de definir el concepto energía incorporada.

En primer lugar, según Bjorn Berge<sup>125</sup>, la energía incorporada de un producto incluye toda la energía empleada en los procesos que abarcan de la cuna hasta la puerta. Esa energía incluiría la energía desprendida en el proceso de combustión de los productos en el caso de que se incineraran una vez que hubiera terminado su ciclo de vida útil. Según este autor, esta energía incorporada representa el 85-95 % de la energía total invertida en ese producto que se colocará en el edificio. El restante 5-15% hace referencia a los procesos de transporte, puesta en obra, mantenimiento y demolición que tienen lugar en el proceso constructivo del edificio. Similar razonamiento lo podemos encontrar en otros estudios<sup>126</sup>.

En segundo lugar, se define<sup>127</sup> la energía incorporada como aquella que incluye la *producción, transporte y puesta en obra* de los materiales que conforman nuestro edificio. Esta energía incorporada constituirá el valor inicial de energía asociado a la materia de la edificación, cuyo símil podría ser el capital inicial o inversión.

Si consideramos las emisiones de CO<sub>2</sub> en un edificio convencional de viviendas con una vida útil estimada de 50 años, esta inversión podría significar del orden de un 30% del total de las emisiones. En edificios con alta eficiencia energética, la energía consumida durante la vida útil del edificio puede ser menor al 70% referido en el caso inicial, con lo que la energía incorporada podría aumentar mucho en porcentaje sobre el total de energía consumida (hasta el 50%).

En tercer lugar presentamos el estudio realizado con el software REAP<sup>128</sup>, donde se analizó la HE de la construcción de viviendas estándar en Londres. En dicho estudio se consideró la energía incorporada de los materiales por un lado y el transporte de dichos materiales por otro. Así se obtuvieron los resultados siguientes en términos de huella ecológica:

Componentes	HE (hag/cap)
Energía incorporada	0,0687
Transporte (de los materiales)	0,0099
Tierra (usada directamente)	0,0364
Total	0,1151

Tabla 31: HE de los materiales de construcción<sup>129</sup>

125 Berge B., 2009. The Ecology of Building Materials. Architectural Press. Amsterdam, Holanda.

126 Wadel G., Avellaneda J., Cuchí A., 2010. La sostenibilidad en la arquitectura industrializada: cerrando el ciclo de los materiales. Informes de la Construcción, Vol.62, 517, 37-51. Enero-Marzo 2010. Madrid, España.

127 Solanas T., Herreros J., 2008. Vivienda y Sostenibilidad en España. Volumen 2: Colectiva. Gustavo Gili. Barcelona, España.

128 Nye M., Rydin Y., 2008. The Contribution of Ecological Footprinting to Planning Policy Development: Using REAP to Evaluate Policies for Sustainable Housing Construction. Environment and Planning B: Planning and Design 35(2) 227 – 247.

129 Nye M., Rydin Y., 2008. The Contribution of Ecological Footprinting to Planning Policy Development: Using REAP to Evaluate Policies for Sustainable Housing Construction. Environment and Planning B: Planning and Design 35(2) 227 – 247.

La HE del consumo de materiales para construir las viviendas fue de 0,11 hag /cap, donde podemos observar que el concepto energía incorporada no incluye los transportes asociados, y que además, dichos transportes no son despreciables si los comparamos con los valores de energía incorporada.

La última fuente de información procede de los datos del ITEC<sup>130</sup>, que presenta los valores de *contenido de energía primaria o energía incorporada*, expresadas en MJ/kg de los principales materiales de construcción<sup>131</sup>.

Estos valores han sido obtenidos de diversas fuentes documentadas y hacen referencia al contenido de energía de los materiales en los procesos de extracción de materia prima, fabricación, transformación, transportes asociados, puesta en obra, mantenimiento y eliminación, sin considerar, por ejemplo en los transportes, la parte alícuota de la energía invertida en la construcción y el mantenimiento de las infraestructuras o medios precisos para ejecutarlos. Tampoco se contabiliza la energía humana utilizada en la mano de obra de los distintos procesos enunciados.

Además, para contrastar esta información, resumamos en qué consiste la herramienta informática TCQ 2000, desarrollada por el ITEC.

El TCQ 2000<sup>132</sup> es una aplicación informática que gestiona conjuntamente y de forma integrada los datos técnicos, económicos y temporales que intervienen en el ciclo de la obra mediante módulos de aplicación, entre ellos, el módulo de gestión medioambiental. Éste permite analizar los impactos medioambientales que se producen a lo largo del ciclo de vida de los materiales, tales como:

- Consumo energético en la fabricación de los materiales
- Emisiones de CO<sub>2</sub> producidas por la fabricación
- Consumo energético en la puesta en obra de los materiales
- Emisiones de CO<sub>2</sub> producidas por en la puesta en obra

Obteniendo:

- Coste energético de los materiales (consumo energético en la fabricación de los materiales que componen el presupuesto)
- Emisiones de CO<sub>2</sub> de los materiales

Podemos observar que uno de los resultados que da la herramienta es el coste energético de los materiales, que se expresa como el consumo energético realizado en la fabricación de los materiales. Dicho consumo deberá incluir los asociados a los procesos de extracción de materia prima, fabricación, transformación, transportes, puesta en obra, mantenimiento y eliminación, tal y como se indicaba anteriormente.

En parte estas definiciones son congruentes con la definición primera, aunque queda la duda de si incluir los transportes dentro del concepto energía incorporada. Como podemos asumir que el porcentaje del transporte a la obra sobre el total (en términos energéticos) es pequeño, lo integraremos dentro del concepto energía incorporada, aunque si quisiéramos hacer su análisis por separado únicamente tendríamos que estimar dichos transportes.

---

130 Instituto Tecnológico de la Construcción de Cataluña

131 Dirección General de la Vivienda, la Arquitectura y el Urbanismo, Institut Cerdá, IDAE, 1999. Guía de la Edificación Sostenible, Calidad Energética y Medio Ambiental en Edificación. Ministerio de Fomento. Madrid, España.

132 ITEC, 2005. Metabase-TCQ 2000: Datos Ambientales. ITEC. Barcelona, Cataluña.

Hay que indicar que la fiabilidad de los datos referidos a la energía consumida por un determinado material está muy relacionada con las posibilidades de acceder a fuentes de información precisas, no siempre disponibles, y a las consideraciones de las variaciones posibles en función del conjunto de los ámbitos de aplicación (local, autonómico, nacional e internacional).

Podemos observar que, aunque, las definiciones son muy parecidas, no son coincidentes. A partir de ahora, consideraremos válidos los datos procedentes del ITEC, aunque los contrastaremos con las otras fuentes, siempre conociendo qué conceptos incluyen cada uno de los valores dados. Otras fuentes han sido desechadas porque manejan rangos de valores muy amplios<sup>133</sup>.

A continuación vamos a dar los valores más representativos de energía incorporada específica (en MJ/kg) de los materiales de construcción más relevantes, según distintas fuentes, para observar si existen diferencias notables:

Material	Energía incorporada específica (MJ/kg)					
	F1 <sup>134</sup>	F2 <sup>135</sup>	F3 <sup>136</sup>	F4 <sup>137</sup>	F5 <sup>138</sup>	F6 <sup>139</sup>
Materiales simples						
Acero comercial (20% reciclado)	35	43	43	35-43	30,13	25
Acero 100 % reciclado (teórico)	17					9
Acero inoxidable				177		
Aluminio primario	215	160	180	205	180	200
Aluminio 100 % reciclado (teórico)	23					
Aluminio 85 % reciclado						45
Aluminio comercial (30 % reciclado)	160					
Arcilla cocida, ladrillo y tejas	4,50				2,90	2
Arcilla cocida, materiales cerámicos vitrificados	10			7,20		8
Arcilla cocida. Sanitarios	27,50					
Arena (áridos)	0,10	0,10	0,10	0,10	0,08	0,50
Áridos reciclados				0,10		
Asfalto en tela (oxiasfalto)	10		10,00	10,00		
Cal				3,43		4,5-5,00
Cartón-yeso				7,90	5,73	5
Cemento	7	7,20	7,20	7,00		3,6-4,00
Cerámica				2,30-2,50		
Cerámica esmaltada				13,00		

<sup>133</sup> Araujo R., 2009. El edificio como intercambiador de energía. Tectónica. Fundamentos (28). Monográfico energía (I). Madrid, España.

Cobre primario	90	90	90	150		85
Fibrocemento (de amianto)	6			9,50		
Fibrocemento (de fibras sintéticas o madera)	9			9,50		
Fibra natural				1,70		
Fibra mineral				2,35	18,40	
Fibra sintética				30		
Fibra de vidrio	30		30	22		35
Grava	0,10	0,10	0,10			
Gres				10,90		
Madera de clima templado	3	3	3	2,10		
Madera tropical	3					
Madera, tablero aglomerado sin formaldehídos	14	14	14	14		
Madera, tablero aglomerado con formaldehídos	14					
Madera, tablero contrachapado	5	5	5			
Papel				31,10		
Pintura plástica (de base acuosa) que cumple la norma ecológica	20					
Pintura plástica (de base acuosa)	20	20	20	20	42,23	
Pinturas y barnices sintéticos (esmaltes) de base de disolventes orgánicos que cumplen la norma ecológica	100			90		
Pinturas y barnices sintéticos (esmaltes) de base de disolventes orgánicos	100	100	100			
Piedra				0,18		0,50
Plomo				190		22
Policarbonato				79		
Policloropreno (neopreno)	100	120	120	100-120		
Poliestireno expandido (EPS)	100	100	100	100-115		125
Poliestireno extruido (XPS) con agente hinchante tipo HCFC	100			100-115		133
Poliestireno extruido (XPS) con agente hinchante tipo CO <sub>2</sub>	100					130
Polietileno (PE) primario	77	75		85		110
PE reciclado (más del 70%)			75			
Polipropileno (PP) primario	80		77			115
Poliuretano (PUR) con agente hinchante tipo HCFC o diclorometano	70			70	82,33	135
PUR con agente hinchante tipo CO <sub>2</sub> o similar	70	70	70			135

PVC primario	80	80	80	70	53,82	85
Terrazo				2,30		1,50
Vidrio plano	19	19	19	19	16,20	
Yeso-escayola	3,30	3,30	3,30	2,57	2,45	1
Materiales compuestos						
Fábrica ladrillo hueco	2,96		2,80		2,90	
Fábrica ladrillo perforado	2,85					
Fábrica ladrillo macizo	2,86					
Hormigón H-150	0,99					
Hormigón H-175	1,03					
Hormigón H-200	1,10					
Hormigón prefabricado				2,30		1,50
Mortero M-40/a	1					
Mortero M-80/a	1,34					
Mortero prefabricado				2,00- 2,50	2,25	1
Ventanas / puertas aluminio					218	
Ventanas / puertas madera					26,85	

Tabla 32: La energía incorporada de los materiales de construcción según distintas fuentes

Observando las cifras, podemos concluir que los datos de las fuentes 1 al 4 son similares, ya que todos proceden de los estudios del ITEC, aunque se pueden distinguir pequeñas variaciones en algunos materiales debido a la antigüedad de la información.

134 Fuente 1. Dirección General de la Vivienda, la Arquitectura y el Urbanismo, Institut Cerdà, IDAE, 1999. Guía de la Edificación Sostenible, Calidad Energética y Medio Ambiental en Edificación. Ministerio de Fomento. Madrid, España.

135 Fuente 2. Cuchí i Burgos A., López Caballero I., 1999. Informe MIES: una Aproximación al Impacto Ambiental de la Escuela de Arquitectura del Vallés. Universitat Politècnica de Catalunya (UPC).Barcelona, España.

136 Fuente 3. Cuchí i Burgos A., 2005. Arquitectura i Sostenibilitat. Universitat Politècnica de Catalunya (UPC).Barcelona, España.

137 Fuente 4. ITEC, 2005. Metabase-TCQ 2000: Datos Ambientales. ITEC. Barcelona, Cataluña.

138 Fuente 5. Nye M., Rydin Y., 2008. The Contribution of Ecological Footprinting to Planning Policy Development: Using REAP to Evaluate Policies for Sustainable Housing Construction. Environment and Planning B: Planning and Design 35(2) 227 – 247. Estos datos no incluyen el transporte, que se estimó en un rango de 10 a 150 km.

139 Fuente 6. Berge B., 2009. The Ecology of Building Materials. Architectural Press. Amsterdam, Holanda. Estos datos no incluyen el transporte. Además, se incluye en el concepto energía incorporada el valor de combustión del producto, que influye sobre todo en los materiales plásticos y los fabricados con madera.

Con las fuentes 5 y 6 los resultados son más dispares, aunque en general son bastante aproximados. Las diferencias más apreciables se encuentran en aquellos materiales que tienen un poder de combustión importante, como es el caso de la madera y los plásticos. En el caso de la fuente 6, generalmente el valor de combustión está incluido para estos materiales, mientras que para las fuentes del ITEC no está suficientemente definido si ese valor se incluye. Además, tal y como se menciona anteriormente, el transporte de los materiales hasta la obra no está incluido en los casos 5 y 6, lo que puede hacer variar ligeramente los valores.

De todas maneras, estas cifras se van a emplear para la determinación de la huella ecológica, donde es mucho más necesaria la metodología que la exactitud, lo que nos permite ser más flexibles con los valores que adoptemos como representativos.

De esas cifras también podemos ver los materiales de construcción que más y menos impactan en la ejecución de la edificación. Vemos claramente que el material que tiene mayor impacto energético es el aluminio, aunque su bajo peso hace que su repercusión sobre el total de la edificación sea menor. Además, tiene un alto grado de reciclabilidad, lo que le permite reciclarlo tantas veces como se desee sin que éste pierda calidad y a un bajo coste para el medio ambiente. En España se estima el nivel de reciclaje cercano al 30%<sup>140</sup>.

Los metales también incorporan importantes cantidades de energía en sus procesos de fabricación, aunque poseen una gran capacidad de reciclaje con baja energía. El más importante es el acero, que tiene un menor consumo de energía por kg que el aluminio, aunque mayor en total por las grandes cantidades consumidas. De hecho, su impacto energético suele ser muy relevante en las edificaciones españolas. La reciclabilidad es elevada, aunque menor que para el aluminio (20%), y generalmente su vida útil excede a la del edificio.

Los plásticos también tienen un elevado consumo energético, aunque su bajo peso hace que su repercusión sobre el total sea también baja.

El hormigón armado es un responsable directo de las emisiones de CO<sub>2</sub>, ya que las armaduras y el cemento son dos de los factores que hacen del hormigón una fuente de emisiones, además de su presencia predominante en la construcción actual. Una alternativa para reducir su impacto podría ser emplear materiales sustitutivos, como las fábricas cerámicas, que es un material muy empleado en la construcción, con un impacto similar al del hormigón, aunque con mayores posibilidades de mejora ambiental.

Una fórmula para reducir la energía incorporada en la construcción sería usando materiales orgánicos, como la madera y sus derivados, en todas las aplicaciones secundarias (carpinterías o pavimentos).

Otra acción para reducir la energía incorporada sería empleando materiales reciclados en todas las aplicaciones que resulten posibles, en especial granulados pétreos y metales provenientes del reciclado.

En el mismo sentido de minimizar la energía podríamos incorporar a la construcción procesos de industrialización, que aumentan el ciclo de vida de los materiales no renovables y disminuyen el volumen de residuos. También el empleo de sistemas constructivos en seco permite minimizar el tiempo de ejecución y las pérdidas de material en la obra.

---

140 Dirección General de la Vivienda, la Arquitectura y el Urbanismo, Institut Cerdá, IDAE, 1999. Guía de la Edificación Sostenible, Calidad Energética y Medio Ambiental en Edificación. Ministerio de Fomento. Madrid, España.

Con acciones como las comentadas anteriormente podríamos reducir hasta un 30% las emisiones durante la fase de construcción<sup>141</sup>.

## 2.2.2. La huella ecológica de los materiales de construcción

Hemos visto en el punto anterior el concepto de energía incorporada y cómo se puede cuantificar esa energía.

Vamos a ver ahora de qué forma se ha cuantificado hasta ahora la huella ecológica de esos materiales, y si esos procedimientos tienen alguna aplicabilidad a nuestra investigación.

La primera referencia que mostramos procede de las investigaciones de Chambers<sup>142</sup>, que recogió la siguiente tabla en el libro referenciado:

<b>Materiales</b>	<b>HE (ha/año y tonelada)</b>
Madera	1,00 (blanda)- 5,70 (dura)
Cemento	0,10
Acero	0,80-1,40
Papel	2,80-4,00
Vidrio	1,00-1,10
Plástico	3,60-4,10

Tabla 33: La HE de los materiales de construcción

Se observa, en primer lugar, que el número de materiales de los que se obtuvieron valores de huella fue reducido. En segundo lugar, los rangos de variabilidad de las huellas son bastante amplios, posiblemente porque cuando se realizaron los cálculos no había demasiada información sobre energía incorporada. Y por último, hay que resaltar que cada una de esas huellas incluye la energía incorporada y el uso del territorio, como en el caso del acero, donde se consideraba el porcentaje de energía empleada en la extracción de la mina, o el cemento, en el que se tenía en cuenta la energía incorporada y el porcentaje de tierra utilizada por la mina.

Sin duda son datos útiles, aunque la investigación debe partir de los datos de energía incorporada y plantear la metodología, no asumir como ciertos determinados valores de huella.

La segunda referencia procede de REAP<sup>143</sup>, que presenta el resultado de estudio de huella ecológica en las construcciones de viviendas estándar en Londres. Se realizó el estudio para el análisis por componente para Londres y la huella de materiales fue de 0,11 hag /cap. El análisis es similar al

141 Solanas T., Herreros J., 2008. Vivienda y Sostenibilidad en España. Volumen 2: Colectiva. Gustavo Gili. Barcelona, España.

142 Chambers N., Simmons C., Wackernagel M., 2004. Sharing Nature's Interest: Ecological Footprints as an Indicator of Sustainability. Sterling Earthscan. London, Great Britain.

143 Nye M., Rydin Y., 2008. The Contribution of Ecological Footprinting to Planning Policy Development: Using REAP to Evaluate Policies for Sustainable Housing Construction. Environment and Planning B: Planning and Design 35(2) 227 – 247.



anterior, sin embargo, en este caso sí se suministraron datos de energía incorporada que han sido utilizados en el apartado anterior.

La última referencia procede de Domenech<sup>144</sup>, que para el cálculo de la huella asociada al consumo de materiales de construcción emplea las fórmulas polinómicas.

El autor considera que la conversión del costo de las obras a toneladas presenta una problemática especial, ya que en cada obra participan distintos tipos de materiales. Para efectuar dicha conversión utiliza las fórmulas polinómicas<sup>145</sup>, en las que se asigna un porcentaje a los diferentes conceptos que componen una obra (mano de obra, energía, cemento, materiales siderúrgicos, ligantes bituminosos, materiales cerámicos, madera, cobre y aluminio). Los coeficientes que se obtienen dan una referencia de la importancia que puede tener cada material dentro del conjunto.

Sin embargo, este procedimiento puede servir de apoyo para esta investigación, pero no ser la base de cálculo.

La explicación está en dos aspectos: el primero, que en la lista de materiales que recoge las fórmulas polinómicas no están todas las variedades de materiales que hemos visto, con lo que estaríamos sustrayendo posible información para el cálculo de la huella. Y en segundo lugar, estamos asignándole pesos a los materiales sin considerar la tipología constructiva. Además, los porcentajes de las fórmulas polinómicas son pesos sobre el presupuesto de la obra, y no sobre el peso real de la obra que hemos edificado, por lo que estaríamos cometiendo un error apreciable. Si disponemos de información sobre la energía incorporada por los materiales, deberemos utilizarla, y emplear las fórmulas polinómicas como contraste para ver si los pesos son lógicos.

Por tanto, el procedimiento a seguir para determinar la HE de los materiales de construcción será el siguiente (Fig.25):

1. Empleo de los valores de energía incorporada recogidos en la tabla 32. Se tomará la media de los valores disponibles, siempre que no exista gran disparidad en dichos valores. En caso de que se diera esta circunstancia, los valores más dispares se desecharían. Dicha energía incorporada incluye la fabricación, transporte y puesta en obra de los materiales.
2. Determinación de los consumos de materiales (en peso) a través de las mediciones del proyecto estudiado. También habrá que tener en cuenta las fórmulas polinómicas por si alguna información de consumo de materiales no estuviera disponible, además de servirnos de contraste de resultados.

$$E_p = \sum_i C_{m_i} * E_{i_{em_i}} \quad (18)$$

Donde:

$E_p$ : energía primaria (MJ)

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

$E_{i_{em_i}}$ : energía incorporada específica del material  $i$  (MJ/kg)

144 Domenech Quesada J.L., 2007. Huella Ecológica y Desarrollo sostenible. AENOR. Madrid, España.

145 Empleadas en la revisión de precios de los contratos de obras del Estado (Decreto 365/1970, 19 Diciembre y modificaciones)

3. Determinación de la huella (energética) de los materiales de construcción. Se asume que los procesos de fabricación de los materiales son intensivos en energía, y que dicha energía procede del empleo de combustibles fósiles, generalmente derivados del petróleo. Recordemos que la productividad energética del petróleo tenía un valor de 71 GJ/ha. Por tanto, la determinación de la huella de los materiales de construcción se haría empleando la siguiente expresión:

$$HE = \frac{\sum_i C_{m_i} * E_{iem_i}}{P_c} \quad (19)$$

Donde:

HE: huella ecológica de materiales de construcción (ha)

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

$E_{iem_i}$ : energía incorporada específica del material (MJ/kg)

$P_c$ : productividad energética del petróleo (MJ/ha). Su valor es 71.000 MJ/ha.

Esa superficie sería la huella total de los materiales de construcción, suponiendo que todos los procesos de fabricación emplean el petróleo como energía de producción.

En esa superficie habrá que incluir los consumos asociados a los materiales que están incluidos en los costes indirectos de ejecución, como las instalaciones accesorias y otras.

Hemos de comentar que el coste energético de la fabricación de la maquinaria de construcción que se empleará en nuestra obra no se va a computar en esta huella, ya que se considera que dicha huella pertenece a las empresas de fabricación de maquinaria, y no a las empresas de construcción. Sí se podría plantear la asignación en el apartado de consumo de combustible de la maquinaria un extra (alrededor del 10%) por el empleo de dicha maquinaria, al igual que hicimos con los automóviles.

### 3. Los residuos

En esta apartado analizaremos cómo se puede evaluar el impacto ecológico de los residuos, centrándonos en aquellos más relevantes para nuestra investigación: los residuos urbanos y los residuos de construcción y demolición (RCD).

Los residuos generados a lo largo del proceso de vida de un edificio son variados y de orígenes diversos. Al centrarnos en la fase de construcción del edificio, deberemos tener en cuenta por una parte, los residuos sólidos urbanos (RSU) que se generan en el lugar donde se esté edificando, y por otro, los RCD que se generen en esta fase.

Los residuos sólidos urbanos se distribuyen de la siguiente forma (Fig.27):

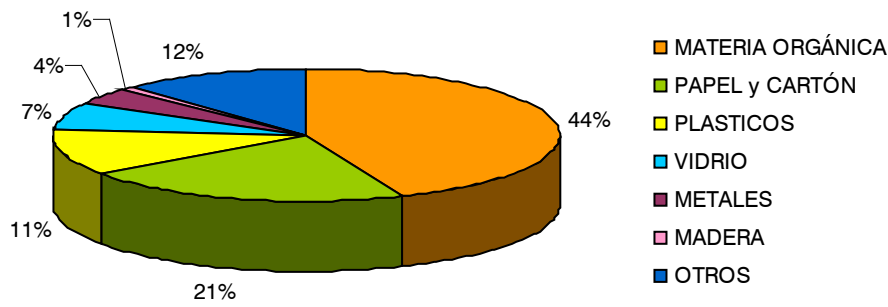


Figura 27: Estimación porcentual de la composición de los RSU<sup>146</sup>

A su vez, los RCD, generados principalmente en la fase de construcción y demolición, son residuos que debido a su gran volumen es necesario gestionar adecuadamente.

Los porcentajes que componen los RCD se pueden ver en la Fig.28:

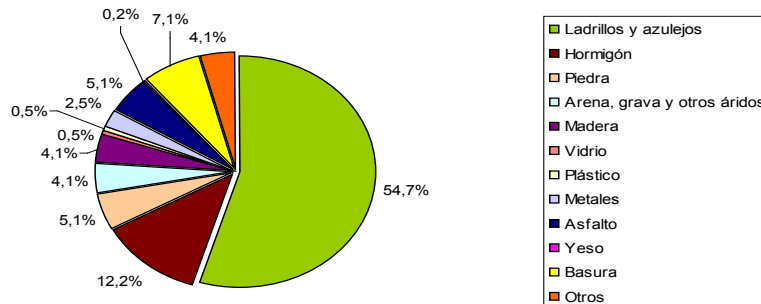


Figura 28: Estimación porcentual de la composición de los RCD<sup>147</sup>

Actualmente en España se generan aproximadamente entre 600 y 1.000 kg de RCD por habitante y año<sup>148</sup>, por lo que será un flujo importante a tener en cuenta.

Antes de comenzar con este apartado, representaremos en la Fig.29 la metodología a seguir para el cálculo de la HE de los residuos:

146 Ministerio de Medio Ambiente, 2001. Plan Nacional de Residuos 2001-2006. Madrid, España.

147 Ministerio de Medio Ambiente, 2001. Plan Nacional de Residuos 2001-2006. Madrid, España.

148 Gremio de Entidades del Reciclaje de Derribos (GERD), 2009. IV Congreso Nacional de Demolición y Reciclaje. 20-22 de Mayo de 2009. GERD. Zaragoza, España.

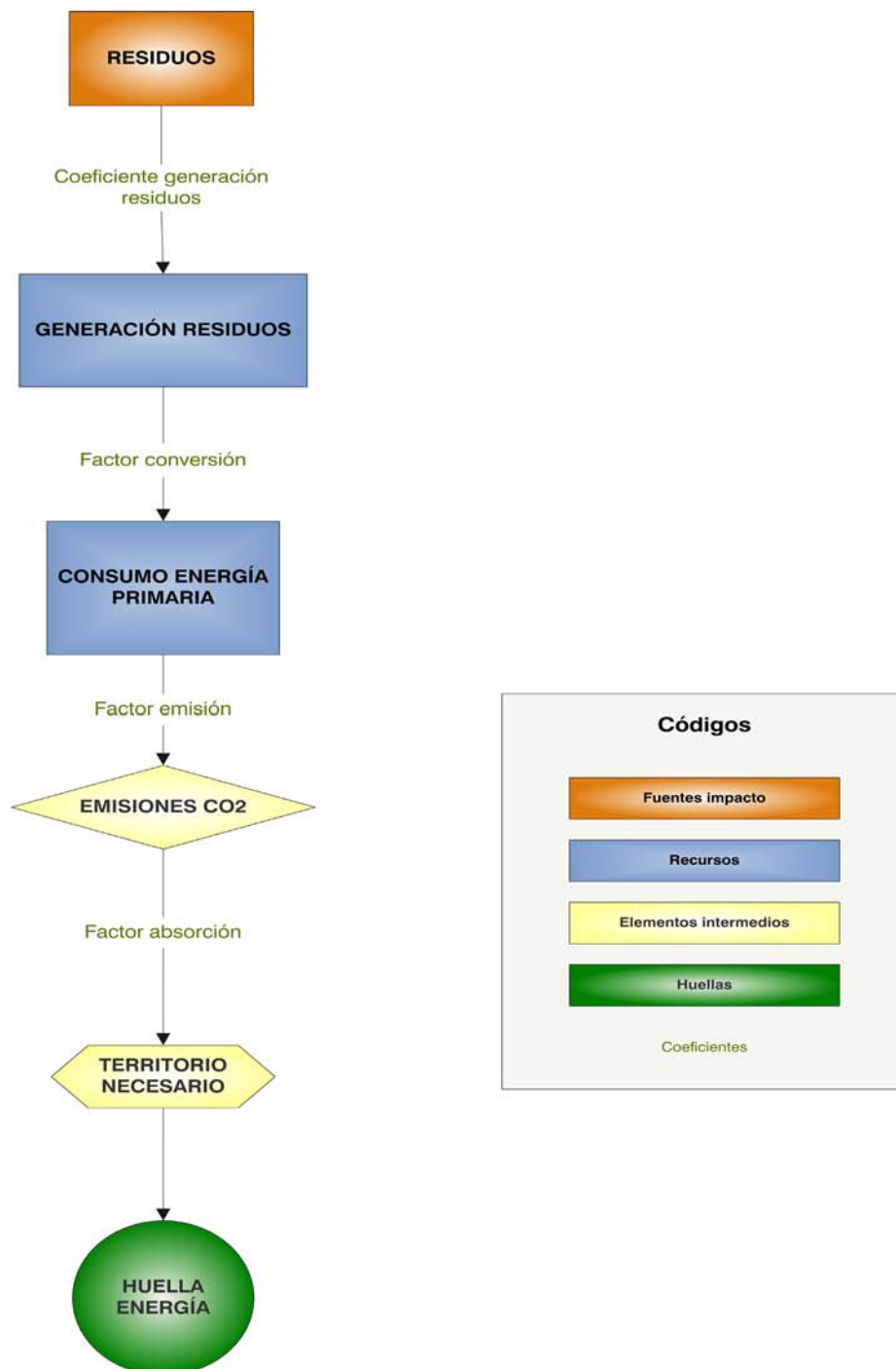


Figura 29: Metodología para determinación de la HE de los residuos

En la figura 29 podemos observar que el primer paso para la determinación de la huella es conocer la generación de residuos. Es decir, el volumen de residuos que se van a generar en las obras que estudiemos.

Para el caso de los RSU, podemos dar datos de estimaciones de generación<sup>149</sup>, tal y como aparecen en la Fig.30:

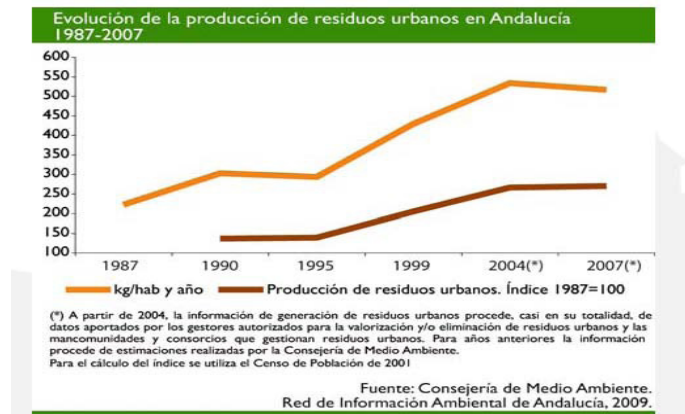


Figura 30: Evolución de la producción de residuos urbanos en Andalucía

En el año 2007, las estimaciones de generación eran de 516 kg por persona al año (1,41 kg por persona y día). Estas cantidades se refieren a residuos urbanos domiciliarios, con o sin recogida selectiva, sin contemplar los procedentes de construcción y demolición, ni los residuos asimilables a urbanos de procedencia industrial.

Para el caso de los RCD, las estimaciones de generación proceden de fuentes propias, ya que emplearemos un modelo informático de cuantificación<sup>150</sup> de RCD, que nos dará, en función de la tipología residencial que estemos considerando, el volumen de RCD que se generarán<sup>151</sup>.

En el caso de no disponer de esta herramienta, podemos emplear la estimación recogida anteriormente del GERD.

En la Fig.31 podemos ver el interfaz del modelo informático:

149 Consejería de Medio Ambiente de Andalucía, 2009. Informe de Medio Ambiente 2008. Andalucía, España.

150 Ramírez de Arellano Agudo, A., Solís Guzmán J., Pérez Monge J., 2008. Generación de RCD versión 2.0 (Software de Evaluación de RCD para Tramitación de Licencias Municipales). Universidad de Sevilla, España.

151 Ramírez de Arellano Agudo, A. Solís Guzmán, J, 2007. Consumo de Recursos y Generación de Residuos en los Procesos Edificatorios. I Jornada Nacional de la Investigación en la Edificación. Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica de Madrid. Madrid, España. También se puede consultar el artículo: Solís-Guzmán J., Marrero M., Montes-Delgado M.V., Ramírez-de-Arellano A., 2009. A Spanish Model for Quantification and Management of Construction Waste. Waste Management 29 (9) 2542-2548.

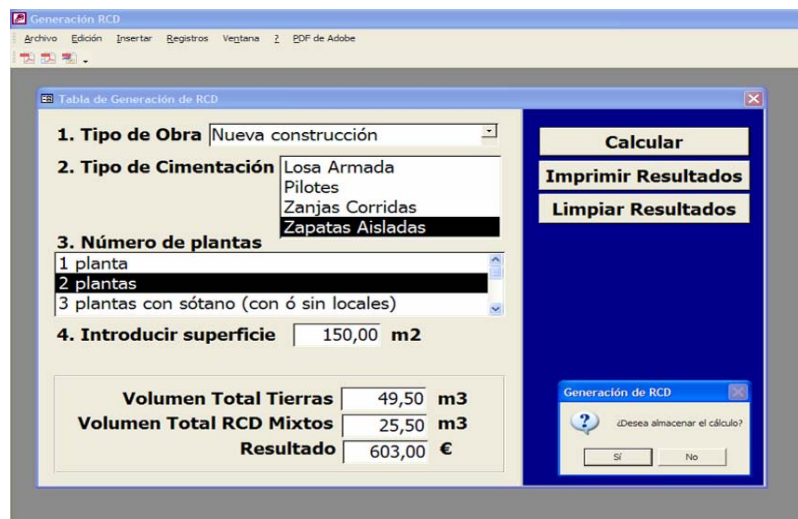


Figura 31: Modelo informático de cuantificación de RCD

Ya hemos evaluado los volúmenes de residuos que vamos a generar. Ahora tendremos que conocer las tasas de reciclaje de los residuos, ya que cuanto mayor sea esa tasa, menor será el impacto energético.

El concepto de tasa de reciclaje se puede definir de la siguiente forma<sup>152</sup>:

$$\text{tasa de reciclaje (kg/kg)} = \frac{\text{reciclado (kg)}}{\text{existencias (kg)}}$$

Es decir, el peso de material que se recicla respecto al peso de residuos que se genera.

Para el caso de los RSU tenemos que conocer dichas tasas para la evaluación posterior a realizar:

Fracciones	Reciclaje (%)
Materia orgánica	12-15
Papel y cartón	50
Plásticos	40
Vidrio	40

Tabla 34: Tasas de reciclaje efectivo de las fracciones representativas de los RSU

Analizando la tabla 34, para el caso de la materia orgánica hemos empleado información de carácter nacional, y hemos determinado ese porcentaje a partir de los residuos orgánicos realmente compostados del flujo de los residuos tratados para compostaje<sup>153</sup>. La misma fuente proporciona

152 Cuchí i Burgos A., 2005. Arquitectura i Sostenibilitat. Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), Barcelona, España.

153 Observatorio de la Sostenibilidad en España, 2008. Sostenibilidad en España 2007. Madrid, España. [www.sostenibilidad-es.org](http://www.sostenibilidad-es.org)

información de tasa de reciclado de materia orgánica sobre el total de los residuos urbanos, situándola alrededor del 30%. Sin embargo, esa tasa puede incorporar tratamientos que no conlleven recuperación efectiva de la materia orgánica, por lo que dicho valor no sería adecuado usarlo.

Para los otros flujos (papel, plásticos y vidrio) empleamos los datos de la Consejería de Medio Ambiente<sup>154</sup> sobre tasas de reciclado en Andalucía.

Para los RCD, consideraremos que los flujos de RCD que se generen en la obra no se van a separar selectivamente en la misma, por lo que llegará a las plantas de tratamiento el RCD mixto o mezclado. Aunque actualmente exista un Decreto<sup>155</sup> que exige la separación en origen de los RCD, la actividad constructora en España todavía no tiene instaurados los procesos que la permitan. En el caso que esa separación se hiciera efectiva, habría que hacer el cálculo de esas fracciones<sup>156</sup>.

Estimaremos un porcentaje de reciclaje del 15%<sup>157</sup>, que es una estimación actual que está muy por debajo de los objetivos tanto nacionales como europeos. Así, el objetivo para España es del 40% para 2011<sup>158</sup> y para la Unión Europea del 70% para 2020<sup>159</sup>.

El problema es que debido al patrón constructivo llevado a cabo en los últimos años en nuestro país, nuestras tasas de reciclaje están aún muy alejadas de las de países punteros en el ámbito del reciclaje, como Holanda o Alemania.

Entre las medidas<sup>160</sup> que se podrían tomar para disminuir el consumo de recursos y la generación de residuos podrían ser la reducción de la demanda de recursos no renovables, la reutilización, el reciclaje, y la rehabilitación no sólo de los edificios, sino del medio ambiente urbano.

Hemos visto hasta ahora cómo podemos determinar los volúmenes de residuos que se pueden generar en las obras, y qué porcentaje efectivo de esos volúmenes se puede reciclar.

Para poder determinar la huella de esos residuos, nos basaremos en la metodología de los estudios de Wackernagel<sup>161</sup>.

En ellos se afirma que la huella asociada a depósito de residuos, emisiones o vertidos se calcula del mismo modo que para los materiales, con su misma intensidad energética, restando el porcentaje de energía que puede recuperarse por reciclaje.

Según Wackernagel, se estima que para el papel y el cartón puede recuperarse un 50 % de energía por reciclaje. Es decir, si por ejemplo la huella de x toneladas de residuos de papel es de 20 ha, con un 100% de reciclaje, la huella quedaría en 10 ha. Dichas estimaciones se recogen en la tabla 35:

---

154 Consejería de Medio Ambiente de Andalucía, 2009. Informe de Medio Ambiente 2008. Andalucía, España.

155 Ministerio de la Presidencia, 2008. Real Decreto 105/2008, de 1 de Febrero, por el que se Regula la Producción y Gestión de los Residuos de Construcción y Demolición. España.

156 Ramírez de Arellano Agudo, A. Solís Guzmán, J, Martín del Río, J.J., 2009. A Computer Model for the Quantification of Construction Waste for the Application of Royal Decree 105/2008. I Congreso Internacional de Investigación en Edificación. Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica de Madrid. Madrid, España.

157 Gremio de Entidades del Reciclaje de Derrivos (GERD), 2009. IV Congreso Nacional de Demolición y Reciclaje. 20-22 de Mayo de 2009. GERD. Zaragoza, España.

158 Ministerio de Medio Ambiente, 2008. II Plan Nacional de Residuos 2008-2015. Madrid, España.

159 Parlamento Europeo, 2008. Directiva Marco sobre Residuos 2008. Unión Europea.

160 Edwards B., 2008. Guía Básica de la Sostenibilidad. Gustavo Gili. Barcelona, España.

161 Domenech Quesada J.L., 2007. Huella Ecológica y Desarrollo sostenible. AENOR. Madrid, España.

Material	Recuperación de energía por reciclaje (%)
Residuos orgánicos	100 (por compostaje)
Residuos sólidos urbanos	50
Plásticos	70
Vidrio	40
Papel y cartón	50
Aluminio	90
Metales magnéticos	50
Escombros	90

Tabla 35: Recuperación de energía por reciclaje

Para los residuos de papel, tendríamos por una parte la huella fósil (de las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas al consumo energético) y la huella forestal del consumo de bosques para su fabricación que no se han podido reciclar.

Antes de ver el procedimiento que vamos a emplear, reseñar que existen estudios donde ya se evaluaron la huella de los residuos.

Así, en los estudios de Chambers<sup>162</sup> se recogen datos de la huella de materiales reciclados y no reciclados, poniendo en evidencia la diferencia de impactos. Por ejemplo, la huella del papel se estimó en el rango de 2,8-4 ha/año y tonelada, mientras que la huella del papel reciclado arrojó un resultado de 2-2,9. La diferencia en términos de huella procede, por una parte, de que el papel reciclado no consume territorio de bosque para su fabricación, y por otra que el consumo energético en la fabricación es mucho menor, alrededor del 30%. Análisis similares se hacen para el vidrio o el plástico.

Otra referencia de huella de residuos la tenemos de los estudios con el software REAP<sup>163</sup> que se hicieron para viviendas en Londres, donde se estimó el reciclaje del 25% de RCD, y se consideró que disminuía la energía incorporada de los materiales que se reciclaban.

En general, podemos decir que para producir un material reciclado, el ahorro es múltiple puesto que nos ahorramos por una parte consumo de energía, porque generalmente la obtención de materiales reciclados requieren procesos que consumen menos energía, y por otra consumo de tierra, al no tener que realizar extracciones de material, y en ocasiones, además, el consumo proporcional de los vertederos, a los que van a parar los materiales no reciclados.

Hemos de aclarar que en la metodología que vamos a emplear todos los consumos se imputan a la huella fósil, o en el caso del papel, además a la huella forestal. Por tanto, esta metodología no va a incluir huella de superficie construida procedente de vertederos o plantas de tratamiento, ya que esa huella se deberá tener en cuenta en el caso de los análisis regionales o locales, y no desde el

<sup>162</sup> Chambers N., Simmons C., Wackernagel M., 2004. *Sharing Nature's Interest: Ecological Footprints as an Indicator of Sustainability*. Sterling Earthscan. London, Great Britain.

<sup>163</sup> Nye M., Rydin Y., 2008. *The Contribution of Ecological Footprinting to Planning Policy Development: Using REAP to Evaluate Policies for Sustainable Housing Construction*. *Environment and Planning B: Planning and Design* 35(2) 227 – 247.



punto de vista del impacto del proceso constructivo. En todo caso, si se quisiera tener en cuenta, indicamos la referencia bibliográfica para consultar un posible procedimiento<sup>164</sup>.

El procedimiento que vamos a emplear, y además más cercano a la realidad española procede de las investigaciones de Domenech<sup>165</sup>, y que se expresa en forma de índices. Estos índices se pueden referir a residuos de muy diverso origen (peligrosos, no peligrosos, papel...). Para nuestro caso de estudio, consideramos de interés los no peligrosos y los procedentes del papel.

Para los *residuos no peligrosos*, se utiliza la intensidad energética de producción del material del que está fabricado el residuo, descontando el porcentaje de energía que puede recuperarse por reciclaje<sup>166</sup>. Algunos de estos residuos no peligrosos son los orgánicos o los RCD. Empleamos la fórmula que presentamos a continuación:

$$IC_{RNP_x} = \frac{IE_x}{PE} * \left(1 - \frac{\%R_x}{100} * \frac{\%SE_x}{100}\right) \quad (20)$$

Donde:

$IC_{RNP_x}$ : índice de conversión del residuo no peligroso X (ha/t)

$IE_x$ : intensidad energética de producción del material del que está fabricado el residuo. Para conocer estos valores tenemos que conocer las intensidades energéticas de los materiales que se van a reciclar. Para ello empleamos la siguiente tabla:

Bienes de consumo	Intensidad energética (GJ/t) <sup>167</sup>	Intensidad energética (GJ/t) <sup>168</sup>
Mineral bruto	1,50	
RCD (escombros)	5,00 <sup>169</sup>	
Manufactura de cemento, yeso, piedra, tierra	5,00	
Orgánicos	20 <sup>170</sup>	
Vidrio	20	
Papel y cartón	30	35
Productos básicos de hierro, acero y metales	30	50
Derivados del plástico	43,75	50

Tabla 36: Intensidad energética de bienes de consumo

164 Marañón E., Iregui G., Domenech J.L., Fernández Nava Y., González M., 2008. Propuesta de índices de conversión para la obtención de la huella de los residuos y los vertidos. Observatorio iberoamericano del desarrollo local y la economía social Año 1 número 4 (Abril-Junio 2008)

165 Domenech Quesada J.L., 2007. Huella Ecológica y Desarrollo sostenible. AENOR. Madrid, España.

166 Marañón E., Iregui G., Domenech J.L., Fernández Nava Y., González M., 2008. Propuesta de índices de conversión para la obtención de la huella de los residuos y los vertidos. Observatorio iberoamericano del desarrollo local y la economía social Año 1 número 4 (Abril-Junio 2008)

167 Domenech Quesada J.L., 2007. Huella Ecológica y Desarrollo sostenible. AENOR. Madrid, España. Domenech, 2007

168 Acosta Bono G., González Daimiel J., Calvo Salazar M., Sancho Royo F., 2001. Estimación de la Huella Ecológica en Andalucía y Aplicación a la Aglomeración Urbana de Sevilla. Dirección General de Ordenación del Territorio y Urbanismo, Consejería de Obras Públicas de la Junta de Andalucía. Sevilla, España.

169 Supondremos que la mayoría de los escombros son tierras, hormigones o piedras (5 de intensidad energética)

170 Media estimada entre los productos alimenticios, asumiendo que la mayor parte de los desechos proceden de restos vegetales.

PE: productividad energética del residuo (se asume que es igual a la de los combustibles fósiles). Por tanto, será 71 GJ/ha y año.

%R<sub>x</sub>: porcentaje de reciclaje de x. Nos basaremos en los datos de la tabla 34, para el caso de los residuos urbanos, y el dato del 15% para los RCD.

%SE<sub>x</sub>: porcentaje de energía recuperada por reciclaje. Empleamos la tabla 35.

Si quisiéramos expresar ese índice de conversión en hag/t, lo multiplicaríamos por el factor de equivalencia de la energía fósil FE<sub>F</sub>, por lo que la expresión quedaría como:

$$IC_{RNP_{x_p}} = \frac{IE_x}{PE} * \left(1 - \frac{\%R_x}{100} * \frac{\%SE_x}{100}\right) * FE_F \quad (21)$$

Donde:

IC<sub>RNP<sub>x<sub>p</sub></sub></sub>: índice de conversión ponderado (hag/t)

Se aplicaría a todos los residuos como huella por energía fósil, salvo para el papel y cartón.

En el caso de los residuos de papel y cartón, a la huella por “energía fósil” hay que añadir la “huella por bosque”, lo que viene a decir, que para obtener su índice de conversión habrá que adicionarle la siguiente ecuación a la expresada anteriormente<sup>171</sup>:

$$IC_{RNP_{x_p}} = \dots + \frac{1}{PN} * \left(1 - \frac{\%R_x}{100} * 0,8\right) * FE_B$$

Donde cada uno de esos términos representa lo siguiente:

PN: productividad natural del papel. Se considera 1,01 t/ha y año<sup>172</sup>.

%R<sub>x</sub>: porcentaje de reciclaje de x. Sería el 50%.

0,8 sería el factor de corrección análogo al SE de la fórmula anterior, que de alguna manera nos indica la productividad que puede recuperarse con el papel reciclado (alrededor del 80%).

FE<sub>B</sub>: factor de equivalencia del bosque

Finalmente, para determinar la huella total de los residuos deberemos utilizar la siguiente expresión:

$$HE_{pr} = \sum_i IC_{RNP_{i_p}} * C_i \quad (22)$$

Donde:

HE<sub>pr</sub>: huella ecológica ponderada de los residuos (hag)

IC<sub>RNP<sub>i<sub>p</sub></sub></sub>: índice de conversión ponderado (hag/t)

C<sub>i</sub>: consumo (t)

171 Marañón E., Iregui G., Domenech J.L., Fernández Nava Y., González M., 2008. Propuesta de índices de conversión para la obtención de la huella de los residuos y los vestidos. Observatorio iberoamericano del desarrollo local y la economía social Año 1 número 4 (Abril-Junio 2008)

172 Domenech Quesada J.L., 2007. Huella Ecológica y Desarrollo sostenible. AENOR. Madrid, España.

Resumiendo, el procedimiento a seguir, que utiliza la metodología definida en la Fig.29 sería el siguiente:

1. Determinación de los volúmenes o pesos generados de RSU y RCD. Tendremos en total cinco tipos de residuos: orgánicos, papel, plástico, vidrio y RCD. Dichos cálculos se basarán en estimaciones (Fig.27 y 30) o en herramientas informáticas (Fig.31).
2. Determinación de los índices de conversión (IC) para cada uno de los residuos considerados, siguiendo la formulación comentada.
3. Cálculo de la HE de los residuos (procedente de huella forestal y energética).

#### 4. La superficie construida

Quando se realiza la implantación de un edificio se produce un cambio de valor ecológico muy notable en el territorio. Al analizar esta fuente de impacto, pretendemos cuantificar las áreas urbanizadas y avanzar hacia la sostenibilidad, incorporando estrategias como la disminución progresiva del consumo de territorio nuevo o la recuperación de la calidad ecológica de los solares. Para ello hay que desarrollar herramientas de planificación que involucren a aspectos ajenos la edificación, tales como el transporte, la dispersión urbana o los sistemas naturales a escala territorial<sup>173</sup>.

Pretendemos, por tanto, explicar la metodología para la determinación del parámetro y reflexionar sobre los modelos de construcción en nuestro territorio.

Sobre este último aspecto, podemos analizar la Fig.32<sup>174</sup>, donde se comparan los incrementos de superficie urbanizada y población en España y Europa durante la última década del siglo XX. Si los incrementos de población han sido similares (cerca del 5%), sin embargo el incremento de superficie urbanizada ha sido muy distinto, estableciéndose en Europa alrededor del 15%, y en España, por encima del 25%. Es decir, un modelo edificatorio intensivo en el uso de suelo, con lo que eso supone de pérdida de valor productivo y ecológico.

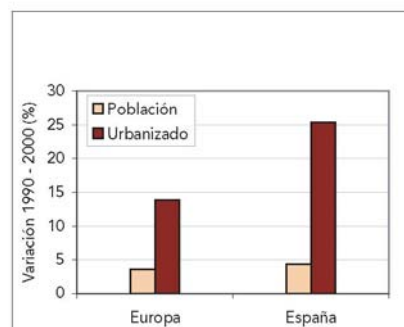


Figura 32: Incremento de población y superficie urbanizada (1990-2000)

173 Mañá i Reixach F., Cuchí i Burgos A., 2003. Parámetros de Sostenibilidad. Instituto de Tecnología de la Construcción de Cataluña (ITEC). Barcelona, España.

174 Observatorio de la Sostenibilidad en España, 2006. Sostenibilidad en España 2005. Madrid, España. [www.sostenibilidad-es.org](http://www.sostenibilidad-es.org)

Si además nos centramos en el suelo urbano que nos acoge, Sevilla, y analizamos la Fig.33<sup>175</sup> vemos que los incrementos de suelo potencialmente edificable en los primeros años del siglo XXI sigue la misma tónica que la figura anterior.

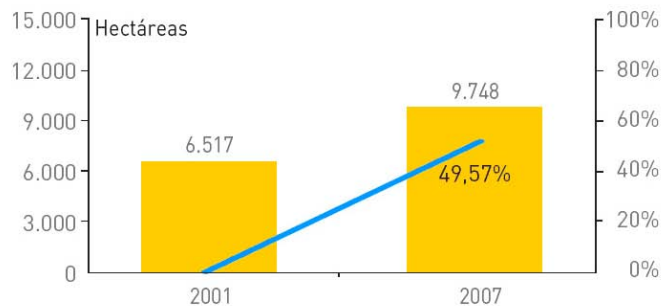


Figura 33: Aumento de suelo de naturaleza urbana (en % y ha) en la ciudad de Sevilla 2001-2007

Este análisis de los posibles usos de los suelos es muy relevante por las características particulares del parámetro superficie construida.

Ya explicamos en el apartado de estado de la cuestión, que la huella ecológica establece entre las categorías de uso de suelo aquel que se consume directamente. Ese suelo será biológicamente improductivo a partir del momento en que sea ocupado. Sin embargo, en los cálculos de HE aplicados a ciudades o regiones, la capacidad de carga o biocapacidad incluye el terreno construido, ya que es un espacio donde realmente viven personas, aunque el terreno no sea ecológicamente productivo. Es decir, que las viviendas, los jardines y espacios verdes se consideran espacios ecológicamente productivos, aunque se vuelvan improductivos en el caso de que se urbanicen.

Dentro de esta fuente de impacto se incluyen las zonas construidas, pavimentadas y en general, todas las seriamente degradadas.

Según esta definición, se podrían incluir en esta categoría<sup>176</sup>:

- Superficies construidas o utilizadas para albergar infraestructuras y equipamientos
- Zonas mineras
- Vertederos
- Áreas en construcción. Por ejemplo, se podría contabilizar en este apartado la tierra construida asociada a la energía eólica, donde se incluiría también la superficie ocupada por los accesos a carreteras
- Embalses: ciertos embalses fueron contabilizados cuando se trató el espacio productivo ocupado por la energía hidroeléctrica. En cierta medida se produce aquí una doble contabilidad, pues no se ha realizado una división clara entre los embalses utilizados con fines energéticos para abastecimiento hídrico y actividades productivas en general.

<sup>175</sup> Observatorio de la Sostenibilidad en España, 2009. Sostenibilidad Local en España: una Aproximación Urbana y Rural. Madrid, España. [www.sostenibilidad-es.org](http://www.sostenibilidad-es.org)

<sup>176</sup> Acosta Bono G., González Daimiel J., Calvo Salazar M., Sancho Royo F., 2001. Estimación de la Huella Ecológica en Andalucía y Aplicación a la Aglomeración Urbana de Sevilla. Dirección General de Ordenación del Territorio y Urbanismo, Consejería de Obras Públicas de la Junta de Andalucía. Sevilla, España.

Para nuestro análisis edificatorio, únicamente tendremos en cuenta la superficie que vamos a utilizar para la urbanización y las edificaciones que la conforman, por tanto, el resto de conceptos no se considerarán.

Antes de resumir la metodología de cálculo, apuntemos varias referencias de evaluación de HE de superficie para viviendas.

La primera la encontramos en un estudio de viviendas en Canadá durante los años 90<sup>177</sup>, donde se compararon distintas tipologías según la HE generada. Uno de los parámetros estudiado fue la tierra consumida. La HE (ha/cap) varió entre 1,2 (adosado estándar), 0,9 (vivienda en ciudad) y 0,5 (apartamento en edificio).

Según estudios posteriores en Gran Bretaña usando el software REAP<sup>178</sup>, el impacto de la HE desde el punto de vista del suelo usado directamente, para una vivienda construida a principios del siglo XXI, se calculó en 0,0364 hag/cap.

Estudios paralelos<sup>179</sup> sobre 5 tipologías de viviendas y de estilos de vida dieron un resultado de HE por superficie construida de 0,32 hag/cap para las tres primeras tipologías y de 0,29 hag/cap para las dos últimas.

Dichas tipologías fueron:

1. Casa típica de Reino Unido
2. Vivienda de nueva construcción (año 2002)
3. Vivienda clasificada como "excelente" por Ecohomes<sup>180</sup>
4. Vivienda BEDZED<sup>181</sup> tipo I
5. Vivienda BEDZED tipo II (incorpora más estrategias de ahorro energético)

La última referencia la encontramos en viviendas españolas. Por una parte el estudio de HE para la casa Torre Ferrera, obra del arquitecto Daniel Calatayud<sup>182</sup> y un proyecto de condominio de 2 viviendas, obras de los arquitectos Daniel Calatayud y Coque Claret<sup>183</sup>. En ambos proyectos se dan datos de consumo en términos de HE, aunque no nos fue posible obtener valores de HE para la superficie construida.

En definitiva, podemos afirmar que, a la vista de las cifras mostradas, existe gran disparidad en los valores, debido fundamentalmente a que por una parte las unidades en las que se expresa el parámetro son distintas según el caso estudiado, y por otra, a que los coeficientes de paso y las metodologías difieren mucho, por lo que no se puede en principio asumir que los cálculos de alguna de las tipologías de vivienda sea incorrecto.

---

177 Chambers N., Simmons C., Wackernagel M., 2004. *Sharing Nature's Interest: Ecological Footprints as an Indicator of Sustainability*. Sterling Earthscan. London, Great Britain.

178 Nye M., Rydin Y., 2008. *The Contribution of Ecological Footprinting to Planning Policy Development: Using REAP to Evaluate Policies for Sustainable Housing Construction*. *Environment and Planning B: Planning and Design* 35(2) 227 – 247.

179 Wiedmann T., Barrett J., Cherrett N., 2003. *Sustainability Rating for Homes: The Ecological Footprint Component*. Stockholm Environment Institute. York, Great Britain. <http://www.sei.se/index.php?section=implement&page=publications>

180 EcoHomes es una herramienta de calificación ambiental de las viviendas en Reino Unido. Es la versión inglesa de la herramienta BREEAM. Fue sustituida por el Código de Viviendas Sostenibles en Abril de 2007.

181 Beddington Zero Energy Development (BedZED) es una urbanización cercana a Londres, construida durante el período 2000-2002, que intenta ser respetuosa con el medio ambiente. Fue diseñada por el arquitecto Bill Dunster.

182 Solanas T., 2007. *Vivienda y Sostenibilidad en España. Volumen 1: Unifamiliar*. Gustavo Gili. Barcelona, España.

183 Solanas T., Herreros J., 2008. *Vivienda y Sostenibilidad en España. Volumen 2: Colectiva*. Gustavo Gili. Barcelona, España.

En este estudio no vamos a tomar como base ninguna de las cifras mostradas, aunque creemos conveniente haberlas comentado para establecer rangos de posibles impactos. Para este estudio, y al igual que hemos hecho en los apartados anteriores, seguiremos una determinada metodología de cálculo, que se resume en la Fig.34:

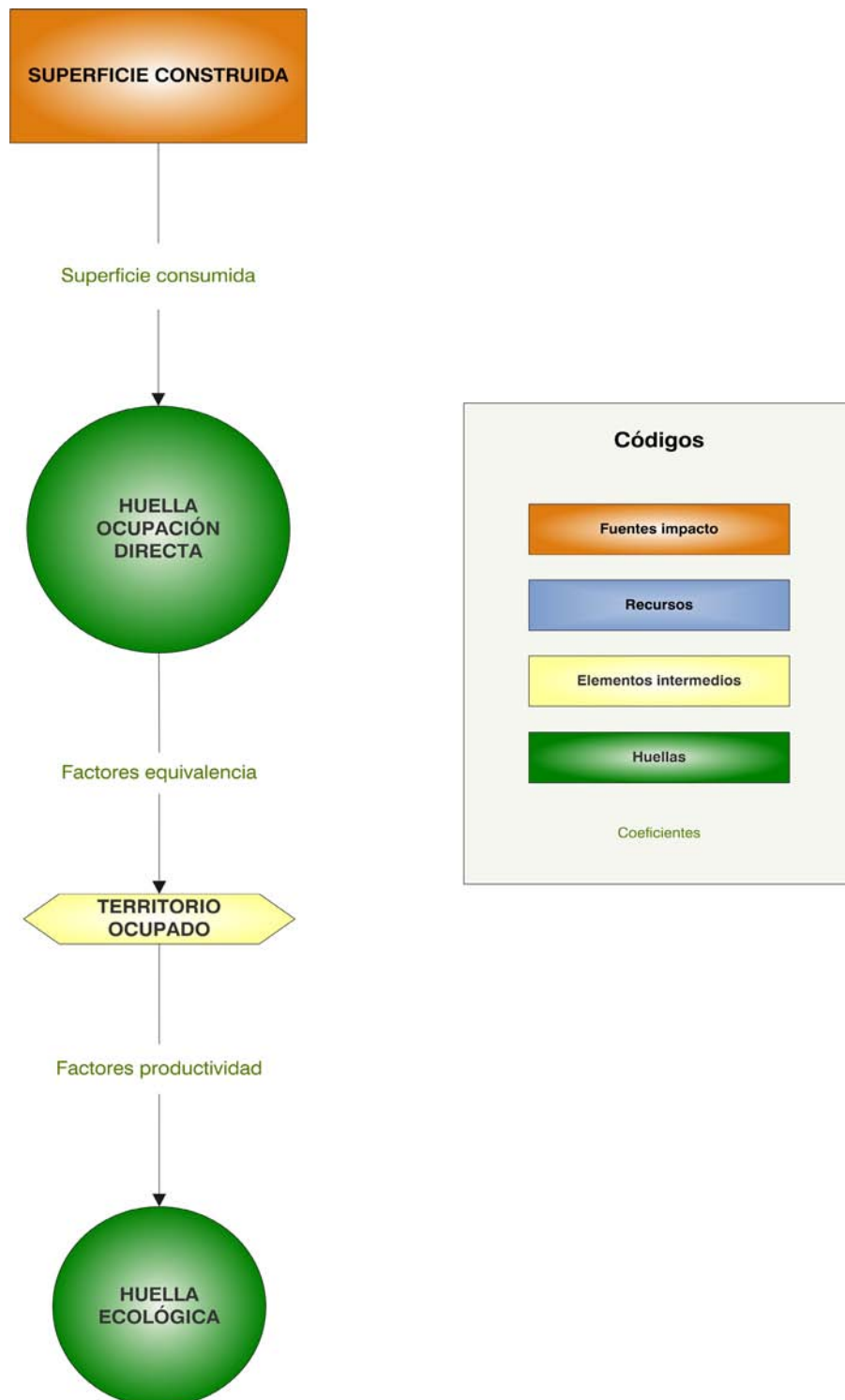


Figura 34: Metodología de cálculo de la HE de superficie construida

La HE de planificación, implantación, ocupación directa o de forma menos ambigua, de superficie construida, vendrá dada por la transformación sufrida por el suelo a analizar.

Dicha huella se obtendrá calculando la superficie consumida por la urbanización y la edificación que estemos analizando, a través de la memoria de cada proyecto analizado. No tendremos que aplicar ningún factor de conversión ya que las unidades que obtendremos serán de superficie, sólo tendremos que convertir la superficie de m<sup>2</sup> a ha. Tal como define la metodología de huella ecológica, la superficie a computar se dará en la forma *Superficie productiva utilizada directamente*.

$$\boxed{HE=S} \quad (23)$$

Donde:

HE: huella ecológica de ocupación directa (ha)  
S: superficie consumida (ha)

Para que esa huella se pueda comparar con el resto de huellas que se han obtenido de los apartados anteriores, deberemos multiplicar el valor anterior por el factor de equivalencia (FE) para la superficie utilizada directamente.

El territorio utilizado directamente se considera que tiene la productividad de un suelo agrícola, dado que la mayoría de las infraestructuras y espacio construido están ubicados en zonas de calidad agrícola. Aunque esta afirmación es excesivamente generalista, en este caso debemos seguir las hipótesis de HE, ya que no podemos modificar los factores de equivalencia.

En la tabla 3 se recogen los valores de los factores de equivalencia. Según dicha tabla, el FE para la superficie construida (en la tabla aparece como “asentamientos humanos”) es el mismo que el de las principales tierras agrícolas, valorado en 2,21 hag/ha.

El cálculo de la HE en términos globales sería:

$$\boxed{HE_{ps}=S * FE_{sc}} \quad (24)$$

Donde:

HE<sub>ps</sub>: HE ponderada de ocupación directa (hag)  
FE<sub>sc</sub>: factor de equivalencia de la superficie construida

Para el cálculo del déficit ecológico se emplearán los factores de productividad, cuyo análisis se realizará en la parte práctica.

## Bibliografía por capítulos

### 1. Estado de la cuestión

1. Wackernagel M., Rees W., 2001. Nuestra Huella Ecológica: Reduciendo el Impacto Humano sobre la Tierra. LOM. Santiago de Chile, Chile.
2. Forrester J.W., 1970. Urban Dynamics. MIT Press. Cambridge, Massachussets.
3. Meadows D.H., Meadows D.L., 1973. Los Límites del Crecimiento: Informe al Club de Roma sobre el Predicamento de la Humanidad. Fondo de Cultura Económica. México.
4. Meadows D.H., Randers J., Meadows D.L., 2006. Los Límites del Crecimiento 30 Años después. Galaxia Gutenberg. Barcelona, España.
5. Chambers N., Simmons C., Wackernagel M., 2004. Sharing Nature's Interest: Ecological Footprints as an Indicator of Sustainability. Sterling Earthscan. London, Great Britain.
6. WWF, Zoological Society of London, Global Footprint Network, 2008. Living Planet Report. WWF International. Suiza.
7. Díaz Reyes M.C., García-Navarro J., Maestro L., Del Río M., 2007. Glosario de Sostenibilidad en la Construcción. AENOR. Madrid, España.
8. Edwards B., 2008. Guía Básica de la Sostenibilidad. Gustavo Gili. Barcelona, España.
9. Martín Palmero F., 2004. Desarrollo Sostenible y Huella Ecológica. Netbiblo. A Coruña, España.
10. Acosta Bono G., González Daimiel J., Calvo Salazar M., Sancho Royo F., 2001. Estimación de la Huella Ecológica en Andalucía y Aplicación a la Aglomeración Urbana de Sevilla. Dirección General de Ordenación del Territorio y Urbanismo, Consejería de Obras Públicas de la Junta de Andalucía. Sevilla, España.
11. Calvo M., 2007. Informe de Síntesis: Análisis Preliminar de la Huella Ecológica en España. Secretaría General para el Territorio y la Biodiversidad. Ministerio de Medio Ambiente. España.
12. Holden E., 2004. Ecological Footprints and Sustainable Urban Form. Journal of Housing and the Built Environment 19, 91-109.
13. Nye M., Rydin Y., 2008. The Contribution of Ecological Footprinting to Planning Policy Development: Using REAP to Evaluate Policies for Sustainable Housing Construction. Environment and Planning B: Planning and Design 35(2) 227 – 247.

### 2. Energía

1. Acosta Bono G., González Daimiel J., Calvo Salazar M., Sancho Royo F., 2001. Estimación de la Huella Ecológica en Andalucía y Aplicación a la Aglomeración Urbana de Sevilla. Dirección General de Ordenación del Territorio y Urbanismo, Consejería de Obras Públicas de la Junta de Andalucía. Sevilla, España.
2. IDAE, 2000. ES6: Eficiencia Energética y Energías Renovables, num1: Boletín IDAE. Madrid, España.
3. IDAE, 2005. Plan de Energías Renovables en España 2005-2010. Madrid, España.
4. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, 2007. La Energía en España 2006. Cuadro 3.2.1.3: Balance Energía Eléctrica por Fuentes de Energía. Pág.38. Madrid, España
5. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, 2008. La Energía en España 2007. Cuadro 3.2.1.3: Balance Energía Eléctrica por Fuentes de Energía. Pág.40. Madrid, España
6. Cuchí i Burgos A., López Caballero I., 1999. Informe MIES: una Aproximación al Impacto Ambiental de la Escuela de Arquitectura del Vallés. Universitat Politècnica de Catalunya (UPC). Barcelona, España.



7. IDAE, 2000. ES5: Plan de Fomento de las Energías Renovables. Anexo I: Unidades y Factores de Conversión. IDAE. Madrid, España.
8. Mañá i Reixach F., Cuchí i Burgos A., 2003. Parámetros de Sostenibilidad. Instituto de Tecnología de la Construcción de Cataluña (ITEC). Barcelona, España.
9. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), 2007. Guía Práctica de la Energía: Consumo Eficiente y Responsable. IDAE. Madrid, España.
10. Casado N., González J.M., Llorens J.I., Mañá F., Martorell P., Puig-Pey A., Rius F., Soldevila A., 1997. La Enseñanza de la Arquitectura y del Medio Ambiente. ITEC. Barcelona, España.
11. Domenech Quesada J.L., 2007. Huella Ecológica y Desarrollo Sostenible. AENOR. Madrid, España.
12. Wackernagel M., Rees W., 2001. Nuestra Huella Ecológica: Reduciendo el Impacto Humano sobre la Tierra. LOM. Santiago de Chile, Chile.
13. Figueroa Clemente M.E., Redondo Gómez S., 2007. Los Sumideros Naturales de CO<sub>2</sub>: una Estrategia Sostenible entre el Cambio Climático y el Protocolo de Kyoto desde las Perspectivas Urbana y Territorial. Universidad de Sevilla, Secretariado de Publicaciones. Sevilla, España.
14. Cuchí i Burgos A., Wadel G., López F., Sagrera A., 2007. Guía de la Eficiencia Energética para Administradores de Fincas. Fundación Gas Natural. Barcelona, España.
15. IDAE, 1998. Cálculo de Emisiones de CO<sub>2</sub> de una Vivienda Estándar. IDAE. Madrid, España.
16. AEA Energy & Environment, 2008. Tool for Calculations of CO<sub>2</sub> Emissions from Organisations. Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA). Great Britain.
17. Carbon Rationing Action Groups (CRAG), 2007. CO<sub>2</sub> Conversion Spreadsheet: Calculate your Carbon Emissions. CRAG. <http://www.carbonrationing.org.uk>
18. Coto Millán P., Domenech Quesada J.L., Mateo Mantecón I., 2008. Corporate Ecological Footprint: New Conversion Factors. Research Letters in Ecology.
19. Chambers N., Simmons C., Wackernagel M., 2004. Sharing Nature's Interest: Ecological Footprints as an Indicator of Sustainability. Sterling Earthscan. London, Great Britain.
20. Wiedmann T., Barrett J., Cherrett N., 2003. Sustainability Rating for Homes: The Ecological Footprint Component. Stockholm Environment Institute. York, Great Britain. <http://www.sei.se/index.php?section=implement&page=publications>

### 3. Agua

1. Chambers N., Simmons C., Wackernagel M., 2004. Sharing Nature's Interest: Ecological Footprints as an Indicator of Sustainability. Sterling Earthscan. London, Great Britain.
2. Wiedmann T., Barrett J., Cherrett N., 2003. Sustainability Rating for Homes: The Ecological Footprint Component. Stockholm Environment Institute. York, Great Britain. <http://www.sei.se/index.php?section=implement&page=publications>
3. Nye M., Rydin Y., 2008. The Contribution of Ecological Footprinting to Planning Policy Development: Using REAP to Evaluate Policies for Sustainable Housing Construction. Environment and Planning B: Planning and Design 35(2) 227 – 247.
4. Barrett J., Scott A., 2001. An Ecological Footprint of Liverpool: Developing Sustainable Scenarios. A Detailed Examination of Ecological Sustainability. Stockholm Environment Institute. York, Great Britain.
5. Domenech Quesada J.L., 2007. Huella Ecológica y Desarrollo sostenible. AENOR. Madrid, España.
6. Cuchí i Burgos A., 2005. Arquitectura i Sostenibilitat. Universitat Politècnica de Catalunya (UPC). Barcelona, España.
7. Solanas T., Herreros J., 2008. Vivienda y Sostenibilidad en España. Volumen 2: Colectiva. Gustavo Gili. Barcelona, España.
8. Diario El País, 11 de Enero de 2008.

#### 4. Consumo de alimentos

1. Chambers N., Simmons C., Wackernagel M., 2004. Sharing Nature's Interest: Ecological Footprints as an Indicator of Sustainability. Sterling Earthscan. London, Great Britain.
2. Domenech Quesada J.L., 2007. Huella Ecológica y Desarrollo sostenible. AENOR. Madrid, España.

#### 5. Movilidad

1. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), 2007. Guía Práctica de la Energía: Consumo Eficiente y Responsable. IDAE. Madrid, España.
2. Calvo Salazar M., 2007. Ordenación del Territorio, Urbanismo y Movilidad desde un Enfoque de Huella Ecológica. Seminario: La Huella Ecológica en España. Fundación Biodiversidad y Ministerio de Medio Ambiente. 22-23 de Octubre de 2007. Madrid, España.
3. Figueroa Clemente M.E., Redondo Gómez S., 2007. Los Sumideros Naturales de CO<sub>2</sub>: una Estrategia Sostenible entre el Cambio Climático y el Protocolo de Kyoto desde las Perspectivas Urbana y Territorial. Universidad de Sevilla, Secretariado de Publicaciones. Sevilla, España.
4. Cuchí i Burgos A., López Caballero I., 1999. Informe MIES: una Aproximación al Impacto Ambiental de la Escuela de Arquitectura del Vallés. Universitat Politècnica de Catalunya (UPC). Barcelona, España.
5. Chambers N., Simmons C., Wackernagel M., 2004. Sharing Nature's Interest: Ecological Footprints as an Indicator of Sustainability. Sterling Earthscan. London, Great Britain.
6. Best Foot Forward (BFF), 2002. City Limits: A Resource Flow and Ecological Footprint Analysis for Greater London. Chartered Institute of Wastes Management Environment Body. London, Great Britain.
7. Barrett J., 2001. Component Ecological Footprint: Developing Sustainable Scenarios. Impact Assessment and Appraisal 19 107-118.
8. Going Green Limited, 2005. ECOCAL. Versión 4.2.3. Best Foot Forward. [www.bestfootforward.com](http://www.bestfootforward.com)
9. Domenech Quesada J.L., 2007. Huella Ecológica y Desarrollo sostenible. AENOR. Madrid, España.
10. Carbon Rationing Action Groups (CRAG), 2007. CO<sub>2</sub> Conversion Spreadsheet: Calculate your Carbon Emissions. CRAG. <http://www.carbonrationing.org.uk>
11. AEA Energy & Environment, 2008. Tool for Calculations of CO<sub>2</sub> Emissions from Organisations. Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA). Great Britain.
12. Arto I., Pon D., 2007. Escenarios de Evolución de la Huella Ecológica. Seminario: La Huella Ecológica en España. Fundación Biodiversidad y Ministerio de Medio Ambiente. 22-23 de Octubre de 2007. Madrid, España.

#### 6. Consumo de materiales

1. Berge B., 2009. The Ecology of Building Materials. Architectural Press. Amsterdam, Holanda.
2. Wadel G., Avellaneda J., Cuchí A., 2010. La sostenibilidad en la arquitectura industrializada: cerrando el ciclo de los materiales. Informes de la Construcción, Vol.62, 517, 37-51. Enero-Marzo 2010.
3. McDonough W., Braungart M., 2005. Cradle to Cradle (de la Cuna a la Cuna): Rediseñando la Forma en que Hacemos las Cosas. McGraw-Hill/Interamericana. Madrid, España.
4. Solanas T., Herreros J., 2008. Vivienda y Sostenibilidad en España. Volumen 2: Colectiva. Gustavo Gili. Barcelona, España.

5. Nye M., Rydin Y., 2008. The Contribution of Ecological Footprinting to Planning Policy Development: Using REAP to Evaluate Policies for Sustainable Housing Construction. *Environment and Planning B: Planning and Design* 35(2) 227 – 247.
6. Dirección General de la Vivienda, la Arquitectura y el Urbanismo, Institut Cerdá, IDAE, 1999. *Guía de la Edificación Sostenible, Calidad Energética y Medio Ambiental en Edificación*. Ministerio de Fomento. Madrid, España.
7. ITEC, 2005. *Metabase-TCQ 2000: Datos Ambientales*. ITEC. Barcelona, Cataluña.
8. Araujo R., 2009. El edificio como intercambiador de energía. *Tectónica. Fundamentos* (28). Monográfico energía (I). Madrid, España.
9. Cuchí i Burgos A., López Caballero I., 1999. Informe MIES: una Aproximación al Impacto Ambiental de la Escuela de Arquitectura del Vallés. Universitat Politècnica de Catalunya (UPC). Barcelona, España.
10. Cuchí i Burgos A., 2005. *Arquitectura i Sostenibilitat*. Universitat Politècnica de Catalunya (UPC). Barcelona, España.
11. Chambers N., Simmons C., Wackernagel M., 2004. *Sharing Nature's Interest: Ecological Footprints as an Indicator of Sustainability*. Sterling Earthscan. London, Great Britain.
12. Domenech Quesada J.L., 2007. *Huella Ecológica y Desarrollo sostenible*. AENOR. Madrid, España.

## 7. Residuos

1. Ministerio de Medio Ambiente, 2001. *Plan Nacional de Residuos 2001-2006*. Madrid, España.
2. Consejería de Medio Ambiente de Andalucía, 2009. *Informe de Medio Ambiente 2008*. Andalucía, España.
3. Gremio de Entidades del Reciclaje de Derribos (GERD), 2009. *IV Congreso Nacional de Demolición y Reciclaje*. 20-22 de Mayo de 2009. GERD. Zaragoza, España.
4. Ramírez de Arellano Agudo, A., Solís Guzmán J., Pérez Monge J., 2008. *Generación de RCD versión 2.0 (software de evaluación de RCD para tramitación de licencias municipales)*. Universidad de Sevilla, España.
5. Ramírez de Arellano Agudo, A. Solís Guzmán, J, 2007. *Consumo de Recursos y Generación de Residuos en los Procesos Edificatorios*. I Jornada Nacional de la Investigación en la Edificación. Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica de Madrid. Madrid, España.
6. Solís-Guzmán J., Marrero M., Montes-Delgado M.V., Ramírez-de-Arellano A., 2009. *A Spanish Model for Quantification and Management of Construction Waste*. *Waste Management* 29 (9) 2542-2548.
7. Cuchí i Burgos A., 2005. *Arquitectura i Sostenibilitat*. Universitat Politècnica de Catalunya (UPC). Barcelona, España.
8. Observatorio de la Sostenibilidad en España, 2008. *Sostenibilidad en España 2007*. Madrid, España. [www.sostenibilidad-es.org](http://www.sostenibilidad-es.org)
9. Ministerio de la Presidencia, 2008. *Real Decreto 105/2008, de 1 de Febrero, por el que se Regula la Producción y Gestión de los Residuos de Construcción y Demolición*. España.
10. Ramírez de Arellano Agudo, A. Solís Guzmán, J, Martín del Río, J.J., 2009. *A Computer Model for the Quantification of Construction Waste for the Application of Royal Decree 105/2008*. I Congreso Internacional de Investigación en Edificación. Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica de Madrid. Madrid, España.
11. Ministerio de Medio Ambiente, 2008. *II Plan Nacional de Residuos 2008-2015*. Madrid, España.
12. Parlamento Europeo, 2008. *Directiva Marco sobre Residuos 2008*. Unión Europea.
13. Edwards B., 2008. *Guía Básica de la Sostenibilidad*. Gustavo Gili. Barcelona, España.

14. Domenech Quesada J.L., 2007. Huella Ecológica y Desarrollo sostenible. AENOR. Madrid, España.
15. Chambers N., Simmons C., Wackernagel M., 2004. Sharing Nature's Interest: Ecological Footprints as an Indicator of Sustainability. Sterling Earthscan. London, Great Britain.
16. Nye M., Rydin Y., 2008. The Contribution of Ecological Footprinting to Planning Policy Development: Using REAP to Evaluate Policies for Sustainable Housing Construction. *Environment and Planning B: Planning and Design* 35(2) 227 – 247.
17. Marañón E., Iregui G., Domenech J.L., Fernández Nava Y., González M., 2008. Propuesta de índices de conversión para la obtención de la huella de los residuos y los vertidos. *Observatorio iberoamericano del desarrollo local y la economía social* Año 1 número 4 (Abril-Junio 2008)
18. Acosta Bono G., González Daimiel J., Calvo Salazar M., Sancho Royo F., 2001. Estimación de la Huella Ecológica en Andalucía y Aplicación a la Aglomeración Urbana de Sevilla. Dirección General de Ordenación del Territorio y Urbanismo, Consejería de Obras Públicas de la Junta de Andalucía. Sevilla, España.

## 8. La superficie construida

1. Mañá i Reixach F., Cuchí i Burgos A., 2003. Parámetros de Sostenibilidad. Instituto de Tecnología de la Construcción de Cataluña (ITEC). Barcelona, España.
2. Observatorio de la Sostenibilidad en España, 2006. Sostenibilidad en España 2005. Madrid, España. [www.sostenibilidad-es.org](http://www.sostenibilidad-es.org)
3. Observatorio de la Sostenibilidad en España, 2009. Sostenibilidad Local en España: una Aproximación Urbana y Rural. Madrid, España. [www.sostenibilidad-es.org](http://www.sostenibilidad-es.org)
4. Acosta Bono G., González Daimiel J., Calvo Salazar M., Sancho Royo F., 2001. Estimación de la Huella Ecológica en Andalucía y Aplicación a la Aglomeración Urbana de Sevilla. Dirección General de Ordenación del Territorio y Urbanismo, Consejería de Obras Públicas de la Junta de Andalucía. Sevilla, España.
5. Chambers N., Simmons C., Wackernagel M., 2004. Sharing Nature's Interest: Ecological Footprints as an Indicator of Sustainability. Sterling Earthscan. London, Great Britain.
6. Nye M., Rydin Y., 2008. The Contribution of Ecological Footprinting to Planning Policy Development: Using REAP to Evaluate Policies for Sustainable Housing Construction. *Environment and Planning B: Planning and Design* 35(2) 227 – 247.
7. Wiedmann T., Barrett J., Cherrett N., 2003. Sustainability Rating for Homes: The Ecological Footprint Component. Stockholm Environment Institute. York, Great Britain. <http://www.sei.se/index.php?section=implement&page=publications>
8. Solanas T., 2007. Vivienda y Sostenibilidad en España. Volumen 1: Unifamiliar. Gustavo Gili. Barcelona, España.
9. Solanas T., Herreros J., 2008. Vivienda y Sostenibilidad en España. Volumen 2: Colectiva. Gustavo Gili. Barcelona, España.

## Bibliografía por autores

1. Acosta Bono G., González Daimiel J., Calvo Salazar M., Sancho Royo F., 2001. Estimación de la Huella Ecológica en Andalucía y Aplicación a la Aglomeración Urbana de Sevilla. Dirección General de Ordenación del Territorio y Urbanismo, Consejería de Obras Públicas de la Junta de Andalucía. Sevilla, España.
2. AEA Energy & Environment, 2008. Tool for Calculations of CO<sub>2</sub> Emissions from Organisations. Department for Environment, Food and Rural Affairs (DEFRA). Great Britain.
3. Araujo R., 2009. El edificio como intercambiador de energía. Tectónica. Fundamentos (28). Monográfico energía (I). Madrid, España.
4. Arto I., Pon D., 2007. Escenarios de Evolución de la Huella Ecológica. Seminario: La Huella Ecológica en España. Fundación Biodiversidad y Ministerio de Medio Ambiente. 22-23 de octubre de 2007. Madrid, España.
5. Barrett J., Scott A., 2001. An Ecological Footprint of Liverpool: Developing Sustainable Scenarios. A Detailed Examination of Ecological Sustainability. Stockholm Environment Institute. York, Great Britain.
6. Barrett J., 2001. Component Ecological Footprint: Developing Sustainable Scenarios. Impact Assessment and Appraisal 19 107-118.
7. Berge B., 2009. The Ecology of Building Materials. Architectural Press. Amsterdam, Holanda.
8. Best Foot Forward (BFF), 2002. City Limits: A Resource Flow and Ecological Footprint Analysis for Greater London. Chartered Institute of Wastes Management Environment Body. London, Great Britain.
9. Calvo M., 2007. Informe de Síntesis: Análisis Preliminar de la Huella Ecológica en España. Secretaría General para el Territorio y la Biodiversidad. Ministerio de Medio Ambiente. España.
10. Calvo Salazar M., 2007. Ordenación del Territorio, Urbanismo y Movilidad desde un Enfoque de Huella Ecológica. Seminario: La Huella Ecológica en España. Fundación Biodiversidad y Ministerio de Medio Ambiente. 22-23 de Octubre de 2007. Madrid, España.
11. Carbon Rationing Action Groups (CRAG), 2007. CO<sub>2</sub> Conversion Spreadsheet: Calculate your Carbon Emissions. CRAG. <http://www.carbonrationing.org.uk>
12. Casado N., González J.M., Llorens J.I., Mañá F., Martorell P., Puig-Pey A., Rius F., Soldevila A., 1997. La Enseñanza de la Arquitectura y del Medio Ambiente. ITEC. Barcelona, España.
13. Consejería de Medio Ambiente de Andalucía, 2009. Informe de Medio Ambiente 2008. Andalucía, España.
14. Coto Millán P., Domenech Quesada J.L., Mateo Mantecón I., 2008. Corporate Ecological Footprint: New Conversion Factors. Research Letters in Ecology.
15. Cuchí i Burgos A., López Caballero I., 1999. Informe MIES: una Aproximación al Impacto Ambiental de la Escuela de Arquitectura del Vallés. Universitat Politècnica de Catalunya (UPC). Barcelona, España.
16. Cuchí i Burgos A., 2005. Arquitectura i Sostenibilitat. Universitat Politècnica de Catalunya (UPC). Barcelona, España.
17. Cuchí i Burgos A., Wadel G., López F., Sagrera A., 2007. Guía de la Eficiencia Energética para Administradores de Fincas. Fundación Gas Natural. Barcelona, España.
18. Chambers N., Simmons C., Wackernagel M., 2004. Sharing Nature's Interest: Ecological Footprints as an Indicator of Sustainability. Sterling Earthscan. London, Great Britain.
19. Diario El País, 11 de Enero de 2008.
20. Díaz Reyes M.C., García-Navarro J., Maestro L., Del Río M., 2007. Glosario de Sostenibilidad en la Construcción. AENOR. Madrid, España.
21. Dirección General de la Vivienda, la Arquitectura y el Urbanismo, Institut Cerdá, IDAE, 1999. Guía de la Edificación Sostenible, Calidad Energética y Medio Ambiental en Edificación. Ministerio de Fomento. Madrid, España.

22. Domenech Quesada J.L., 2007. Huella Ecológica y Desarrollo Sostenible. AENOR. Madrid, España.
23. Edwards B., 2008. Guía Básica de la Sostenibilidad. Gustavo Gili. Barcelona, España.
24. Figueroa Clemente M.E., Redondo Gómez S., 2007. Los Sumideros Naturales de CO<sub>2</sub>: una Estrategia Sostenible entre el Cambio Climático y el Protocolo de Kyoto desde las Perspectivas Urbana y Territorial. Universidad de Sevilla, Secretariado de Publicaciones. Sevilla, España.
25. Forrester J.W., 1970. Urban Dynamics. MIT Press . Cambridge, Massachussets.
26. Going Green Limited, 2005. ECOCAL. Versión 4.2.3. Best Foot Forward. www.bestfootforward.com
27. Gremio de Entidades del Reciclaje de Derrivos (GERD), 2009. IV Congreso Nacional de Demolición y Reciclaje. 20-22 de Mayo de 2009. GERD. Zaragoza, España.
28. Holden E, 2004. Ecological Footprints and Sustainable Urban Form. Journal of Housing and the Built Environment 19, 91-109.
29. IDAE, 1998. Cálculo de Emisiones de CO<sub>2</sub> de una Vivienda Estándar. IDAE. Madrid, España.
30. IDAE, 2000. ES6: Eficiencia Energética y Energías Renovables, num1: Boletín IDAE. Madrid, España.
31. IDAE, 2000. ES5: Plan de Fomento de las Energías Renovables. Anexo I: Unidades y Factores de Conversión. IDAE. Madrid, España.
32. IDAE, 2005. Plan de Energías Renovables en España 2005-2010. Madrid, España.
33. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), 2007. Guía Práctica de la Energía: Consumo Eficiente y Responsable. IDAE. Madrid, España.
34. ITEC, 2005. Metabase-TCQ 2000: Datos Ambientales. ITEC. Barcelona, Cataluña.
35. Mañá i Reixach F., Cuchí i Burgos A., 2003. Parámetros de Sostenibilidad. Instituto de Tecnología de la Construcción de Cataluña (ITEC). Barcelona, España.
36. Marañón E., Iregui G., Domenech J.L., Fernández Nava Y., González M., 2008. Propuesta de índices de conversión para la obtención de la huella de los residuos y los vertidos. Observatorio iberoamericano del desarrollo local y la economía social Año 1 número 4 (Abril-Junio 2008)
37. Martín Palmero F., 2004. Desarrollo Sostenible y Huella Ecológica. Netbiblo. A Coruña, España.
38. McDonough W., Braungart M., 2005. Cradle to Cradle (de la Cuna a la Cuna): Rediseñando la Forma en que Hacemos las Cosas. McGraw-Hill/Interamericana. Madrid, España.
39. Meadows D.H., Meadows D.L., 1973. Los Límites del Crecimiento: Informe al Club de Roma sobre el Predicamento de la Humanidad. Fondo de Cultura Económica. México.
40. Meadows D.H., Randers J., Meadows D.L., 2006. Los Límites del Crecimiento 30 Años después. Galaxia Gutenberg. Barcelona, España.
41. Mercader Moyano P., 2009. 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 Kyoto. Tesis doctoral.
42. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, 2007. La Energía en España 2006. Cuadro 3.2.1.3: Balance Energía Eléctrica por Fuentes de Energía. Pág.38. Madrid, España.
43. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, 2008. La Energía en España 2007. Cuadro 3.2.1.3: Balance Energía Eléctrica por Fuentes de Energía. Pág.40. Madrid, España.
44. Ministerio de Medio Ambiente, 2001. Plan Nacional de Residuos 2001-2006. Madrid, España.
45. Ministerio de Medio Ambiente, 2008. II Plan Nacional de Residuos 2008-2015. Madrid, España.
46. Ministerio de la Presidencia, 2008. Real Decreto 105/2008, de 1 de Febrero, por el que se Regula la Producción y Gestión de los Residuos de Construcción y Demolición. España.
47. Nye M., Rydin Y., 2008. The Contribution of Ecological Footprinting to Planning Policy Development: Using REAP to Evaluate Policies for Sustainable Housing Construction. Environment and Planning B: Planning and Design 35(2) 227 – 247.

48. Observatorio de la Sostenibilidad en España, 2006. Sostenibilidad en España 2005. Madrid, España. [www.sostenibilidad-es.org](http://www.sostenibilidad-es.org)
49. Observatorio de la Sostenibilidad en España, 2008. Sostenibilidad en España 2007. Madrid, España. [www.sostenibilidad-es.org](http://www.sostenibilidad-es.org)
50. Observatorio de la Sostenibilidad en España, 2009. Sostenibilidad Local en España: una Aproximación Urbana y Rural. Madrid, España. [www.sostenibilidad-es.org](http://www.sostenibilidad-es.org)
51. Parlamento Europeo, 2008. Directiva Marco sobre Residuos 2008. Unión Europea.
52. Ramírez de Arellano Agudo, A. Solís Guzmán, J, 2007. Consumo de Recursos y Generación de Residuos en los Procesos Edificatorios. I Jornada Nacional de la Investigación en la Edificación. Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica de Madrid. Madrid, España.
53. Ramírez de Arellano Agudo, A., Solís Guzmán J., Pérez Monge J., 2008. Generación de RCD versión 2.0 (Software de Evaluación de RCD para Tramitación de Licencias Municipales). Universidad de Sevilla, España.
54. Ramírez de Arellano Agudo, A. Solís Guzmán, J, Martín del Río, J.J., 2009. A Computer Model for the Quantification of Construction Waste for the Application of Royal Decree 105/2008. I Congreso Internacional de Investigación en Edificación. Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica de Madrid. Madrid, España.
55. Solanas T., 2007. Vivienda y Sostenibilidad en España. Volumen 1: Unifamiliar. Gustavo Gili. Barcelona, España.
56. Solanas T., Herreros J., 2008. Vivienda y Sostenibilidad en España. Volumen 2: Colectiva. Gustavo Gili. Barcelona, España.
57. Solís-Guzmán J., Marrero M., Montes-Delgado M.V., Ramírez-de-Arellano A., 2009. A Spanish Model for Quantification and Management of Construction Waste. *Waste Management* 29 (9) 2542-2548.
58. Wackernagel M., Rees W., 2001. Nuestra Huella Ecológica: Reduciendo el Impacto Humano sobre la Tierra. LOM. Santiago de Chile, Chile.
59. Wadel G., Avellaneda J., Cuchí A., 2010. La sostenibilidad en la arquitectura industrializada: cerrando el ciclo de los materiales. *Informes de la Construcción*, Vol.62, 517, 37-51. Enero-Marzo 2010.
60. Wiedmann T., Barrett J., Cherrett N., 2003. Sustainability Rating for Homes: The Ecological Footprint Component. Stockholm Environment Institute. York, Great Britain. <http://www.sei.se/index.php?section=implement&page=publications>
61. WWF, Zoological Society of London, Global Footprint Network, 2008. Living Planet Report. WWF International. Suiza.

## Fuentes bibliográficas de las figuras

Figuras 1, 3, 5, 7 y 8

WWF, Zoological Society of London, Global Footprint Network, 2008. Living Planet Report. WWF International. Suiza.

Figura 4 [www.bestfootforward.com](http://www.bestfootforward.com)

Figura 6 World Consumption Cartogram. <http://pthbb.org/natural/footprint>

Figuras 10-15 Software REAP 2008. The Stockholm Environment Institute at York.

Figura 20 <http://sicrono.com/arte/diseno/visualizacion-virtual-water/>

Figura 22 <http://www.citylimitslondon.com/>

Figura 24 Going Green Limited, 2005. ECOCAL. Versión 4.2.3. Best Foot Forward. [www.bestfootforward.com](http://www.bestfootforward.com)

Figura 26 [www.moveyourmind.es](http://www.moveyourmind.es)

Figura 30 Consejería de Medio Ambiente de Andalucía, 2009. Informe de Medio Ambiente 2008. Andalucía, España.

Figura 32 Observatorio de la Sostenibilidad en España, 2006. Sostenibilidad en España 2005. Madrid, España. [www.sostenibilidad-es.org](http://www.sostenibilidad-es.org)

Figura 33 Observatorio de la Sostenibilidad en España, 2009. Sostenibilidad Local en España: una Aproximación Urbana y Rural. Madrid, España. [www.sostenibilidad-es.org](http://www.sostenibilidad-es.org)



## Nomenclatura

### VARIABLES

Variable	Expresión	Significado	Unidad medida
1	AA	Área apropiada para la producción de cada categoría	ha
2	C	Consumo total	t,m <sup>3</sup> ,GJ <sup>184</sup>
3	P	Productividad	t/ha, GJ/ha
4	aa	Área apropiada para la producción de cada categoría por habitante	ha/hab
5	N	Tamaño de población analizada	hab
6	he <sub>N</sub>	Huella ecológica	ha/hab y año
7	HE	Huella ecológica	ha/año
8	HE <sub>p</sub>	Huella ecológica ponderada	hag/año
9	FE	Factor de equivalencia	hag/ha
10	Tpe	Territorio productivo estándar	hag
11	Tp	Territorio productivo	ha
12	FP	Factor de productividad	-
13	Tpc	Territorio productivo corregido	hag
14	Tpt	Territorio productivo total	hag
15	Tb	Territorio para biodiversidad	hag
16	D	Déficit ecológico	hag
17	Pee	Producción de energía eléctrica	GJ
18	Fef	Factor de eficiencia	-
19	Pc	Productividad del combustible	GJ/ha
20	F <sub>a</sub>	Factor de absorción	kg CO <sub>2</sub> /ha
21	F <sub>e</sub>	Factor de emisión	kg CO <sub>2</sub> /GJ
22	t	Lapso de tiempo	año
23	Pb	Productividad de los bosques	m <sup>3</sup> /ha
24	HE <sub>pa</sub>	Huella ecológica ponderada del agua	hag
25	FE <sub>B</sub>	Factor de equivalencia de los bosques	hag/ha
26	Pn	Productividad natural	t/ha
27	HE <sub>f</sub>	Huella energética (fósil) de los alimentos	ha
28	IE	Intensidad energética	GJ/t

184 Depende de que tipo de elemento se consume. Por ejemplo, para materiales será t, para energía GJ,...

29	E	Emisiones CO <sub>2</sub>	kg
30	Fc	Factor de conversión	-
31	Ep	Energía primaria	MJ
32	Cm	Consumo del material	kg
33	Eiem	Energía incorporada específica del material	MJ/kg
34	IC <sub>RNP</sub>	Índice de conversión de residuo no peligroso	ha/t
35	PE	Productividad energética	GJ/ha
36	%R <sub>x</sub>	Porcentaje de reciclaje	-
37	%SE <sub>x</sub>	Porcentaje de energía recuperada por reciclaje	-
38	HE <sub>pr</sub>	Huella ecológica ponderada de los residuos	hag
39	IC <sub>RNPxp</sub>	Índice de conversión ponderado	hag/t
40	FE <sub>F</sub>	Factor de equivalencia de energía fósil	hag/ha
41	HE <sub>ps</sub>	Huella ecológica ponderada de ocupación directa	hag
42	S	Superficie consumida	ha
43	FE <sub>SC</sub>	Factor de equivalencia de la superficie construida	hag/ha

## Relaciones

$$AA_i = C_i / P_i \quad (1)$$

$$aa_i = AA_i / N \quad (2)$$

$$he_N = \sum aa_i \quad (3)$$

$$HE = N * he \quad (4)$$

$$HE_p = HE * FE \quad (5)$$

$$Tpe = Tp * FP * FE \quad (6)$$

$$Tpc = Tpt - Tb \quad (7)$$

$$D = HE_p - Tpe \quad (8)$$

$$C = \frac{Pee}{Fef} \quad (9)$$

$$P_c = \frac{F_a}{F_e} \quad (10)$$

$$HE = \frac{C}{P_c} \quad (11)$$

$$he_N = \frac{HE}{N \cdot t} \quad (12)$$

$$HE = \frac{C}{P_b} \quad (13)$$

$$HE_{pa} = \frac{C}{P_b} * FE_B \quad (14)$$

$$HE = \frac{C}{P_n} \quad (15)$$

$$HE_f = \frac{C * IE}{P_c} \quad (16)$$

$$E = C * F_c \quad (17)$$

$$E_p = \sum_i C m_i * E i e m_i \quad (18)$$

$$HE = \frac{\sum_i C m_i * E i e m_i}{P_c} \quad (19)$$

$$IC_{RNP_x} = \frac{IE_x}{PE} * \left(1 - \frac{\%R_x}{100} * \frac{\%SE_x}{100}\right) \quad (20)$$

$$IC_{RNP_{xp}} = \frac{IE_x}{PE} * \left(1 - \frac{\%R_x}{100} * \frac{\%SE_x}{100}\right) * FE_F \quad (21)$$

$$HE_{pr} = \sum_i IC_{RNP_p} * C_i \quad (22)$$

$$HE = S \quad (23)$$

$$HE_{ps} = S * FE_{sc} \quad (24)$$

## Abreviaturas

1. ACV: Análisis de Ciclo de Vida
2. cap: per cápita (por habitante)
3. FE: factor de equivalencia
4. GEI: Gases de Efecto Invernadero
5. GJ: gigajulios
6. ha: hectárea
7. hag: hectáreas globales
8. HE: huella ecológica. En inglés, EF (Ecological Footprint)
9. kWh: Kilo-vatio hora
10. I-O: análisis Input-Output
11. IPCC: Intergovernmental Panel on Climate Change
12. REAP: Resources and Energy Analysis Program
13. RCD: Residuos de Construcción y Demolición
14. RSU: Residuos Sólidos Urbanos
15. t: tonelada

## Glosario

1. *Biocapacidad*: ver capacidad de carga.
2. *Capacidad de carga*: número de personas que en las circunstancias actuales podrían sostenerse en el planeta durante un largo espacio de tiempo (decenios) sin deteriorar la productividad global de la tierra.
3. *Compostaje*: El compost (a veces también se le llama abono orgánico) es el producto que se obtiene del compostaje, y constituye un "grado medio" de descomposición de la materia orgánica, que ya es en sí un buen abono.
4. *Consumos directos*: aquellos que generan consumos directos de recursos en la obra.
5. *Consumos indirectos*: aquellos que generan consumos indirectos de recursos, ya que el consumo de recursos materiales ó energéticos proviene de otros recursos previos.
6. *Déficit ecológico*: diferencia entre el área disponible (capacidad de carga) y el área consumida (huella ecológica).
7. *Desarrollo sostenible*: aquel que satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades.
8. *Energía incorporada*: contenido de energía de los materiales en los procesos de extracción de materia prima, fabricación, transformación, transportes asociados, puesta en obra, mantenimiento y eliminación.
9. *Factor de equivalencia ó ponderación*: proporciona las diferencias en los promedios mundiales de productividad entre los diferentes tipos de paisaje.
10. *Factor de rendimiento ó de productividad*: compara la productividad local de cada categoría de territorio respecto a un tipo de territorio hipotético cuya productividad biológica sea la media mundial de todos los territorios.
11. *Huella ecológica*: 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.
12. *Huella ecológica ponderada*: Huella ecológica dada en hectáreas de terreno productivo estándar (hag).
13. *Intensidad energética*: consumo energético (GJ) para obtener una tonelada de cada uno de los recursos agropecuarios ya disponible para el consumidor
14. *Productividad natural*: cantidad de territorio (en ha) necesario para producir 1 t de recursos (alimentos).
15. *Productividad energética*: cantidad de territorio (en ha) necesario para producir 1 GJ de energía.
16. *Tasa de reciclaje*: se define como el peso del material que se recicla respecto al peso de residuos que se genera.
17. *Territorio para la absorción de CO<sub>2</sub>*: 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.
18. *Territorio productivo*: ver capacidad de carga.
19. *Territorio productivo estándar*: superficie con productividad biológica promedio a nivel mundial. Es decir, su factor de productividad es 1.

**Segunda parte: determinación de la huella ecológica de la construcción de bloques de viviendas**



## Características generales del proyecto

### 1. Clase de suelo analizado

Según la LOUA (Ley de Ordenación Urbanística de Andalucía)<sup>185</sup>, se entiende por suelo urbano aquel que se encuentra en alguna de las siguientes circunstancias:

- Formar parte de un núcleo de población existente o poder ser susceptible de incorporarse a él en la ejecución de un Plan General o de un Plan Intermunicipal, estando dotado, como mínimo, de los servicios urbanísticos de acceso rodado por vía urbana, abastecimiento de agua, saneamiento y suministro de energía eléctrica en baja tensión.
- Estar ya consolidadas al menos los 2/3 del espacio apto para la edificación según la ordenación que el planeamiento general proponga e integrados en la malla urbana en condiciones de conectar a los servicios urbanísticos básicos reseñados en el apartado anterior.
- Haber sido transformados y urbanizados en ejecución del correspondiente instrumento de planeamiento urbanístico y de conformidad con sus determinaciones.

El Suelo Urbano se divide en Suelo Urbano Consolidado (SUC) y No Consolidado (SUNC). Dentro de los SUNC se establecen dos grandes grupos:

- Los que carecen de urbanización consolidada. Se entiende que se produce por dos circunstancias:
  - a) Urbanización Insuficiente: no comprende todos los servicios, infraestructuras y dotaciones precisas, o no tienen la proporción o las características adecuadas para servir a la edificación existente o que se haya de construir.
  - b) Urbanización Desfasada: porque precisa una renovación, mejora o rehabilitación que debe ser realizada mediante actuaciones integradas de reforma interior, incluso dirigidas para el establecimiento de nuevas dotaciones.
- Los terrenos que formen parte de áreas homogéneas de edificación a las que el planeamiento les atribuya un aprovechamiento objetivo considerablemente superior al existente, siempre que su ejecución requiera el incremento de los servicios públicos y de urbanización existentes.

---

185 7/2002. BOJA 31 de diciembre de 2002.



El suelo urbano no consolidado tiene un régimen urbanístico similar al suelo urbanizable, lo que le obliga a ceder el 10 % del aprovechamiento urbanístico ya urbanizado.

Desde el punto de vista de los usos, densidades, edificabilidad y reservas para dotaciones públicas, la LOUA contempla los siguientes aspectos:

- Tres tipos de usos: residencial, industrial o terciario y turístico. En el uso residencial, la densidad máxima permitida será de 75 viviendas/Ha y la edificabilidad máxima de 1m<sup>2</sup> de t/s, salvo en las Áreas de Reforma Interior donde se elevan a 100 viv/Ha y a 1,3m<sup>2</sup> t/s (artículo 17).
- Se deberá reservar un mínimo de 18 a 21 m<sup>2</sup> suelo/100 m<sup>2</sup> techo residencial como suelo dotacional con destino a parques y jardines (y nunca menos del 10% de la superficie del sector). Para plaza de aparcamiento se reservará de 0,5 a 1 plaza aparcamiento público / 100 m<sup>2</sup>t.

En el caso de nuestro estudio, que analizaremos a continuación, el suelo inicial tenía la clasificación de **SUNC con urbanización insuficiente**.

Como el suelo que ha sido objeto de estudio se ubica en el municipio de la Palma del Condado, buscamos en su PGOU<sup>186</sup> alguna referencia al tipo de suelo analizado. Según dicho PGOU<sup>187</sup>, en su Sección Tercera se definen las características del SUNC en Unidad de Ejecución (UE). Así, en el artículo 189 de dicha sección define el SUNC en UE de la siguiente forma: “son aquellas áreas delimitadas por el Plan General, en las que el mismo prevé una ordenación diferente a la existente, definiendo sus características y sus determinaciones a cumplir. El Plan las ordena, por lo que tan solo deberá procederse a la formulación del correspondiente Proyecto de Gestión y Urbanización”.

Según el régimen urbanístico (artículo 191), los propietarios tienen la obligación de ceder los terrenos destinados a los viales, espacios libres y dotaciones que se contemplan en las determinaciones de cada área. Además, los propietarios deberán costear la urbanización, incluyendo todos los elementos que se contienen en las Normas Urbanísticas. El aprovechamiento urbanístico susceptible de apropiación por los particulares asciende al 90% del tipo resultante de cada área, que adquiere el carácter de área de reparto. El aprovechamiento de propiedad municipal asciende al 10% del resultante localizado sobre parcelas urbanizadas.

Además de la localización de los datos ya expuestos, se realizó un análisis de las distintas UE que se iban a ejecutar en el municipio, según constaba en su PGOU, del que se obtuvieron las siguientes conclusiones:

1. Los usos predominantes de las UE a ejecutar eran:
  - Espacio libre de uso y dominio público, bien jardines o verde básico (dotaciones).
  - Aparcamiento público, generalmente en superficie, aunque también bajo rasante (dotaciones).
  - Residencial: unifamiliar o plurifamiliar.
2. La superficie restante es siempre para viario
3. Generalmente el SUNC establece su conexión con la trama urbanística existente mediante la UE. Suelen ser suelos con urbanización incompleta que se conectan mediante el viario nuevo al ya existente y que se complementa con los usos definidos.
4. Su superficie es muy variable: 1.000-10.000 m<sup>2</sup>

---

<sup>186</sup> Plan General de Ordenación Urbanística

<sup>187</sup> Aprobado según consta en el BOJA, num.53. Sevilla, 17 de Marzo de 2008. Página 64

Como veremos en próximos apartados, para el cálculo de la HE emplearemos un suelo urbano, que pasará a través de las distintas transformaciones que sufrirá, de la categoría no consolidado a consolidado.

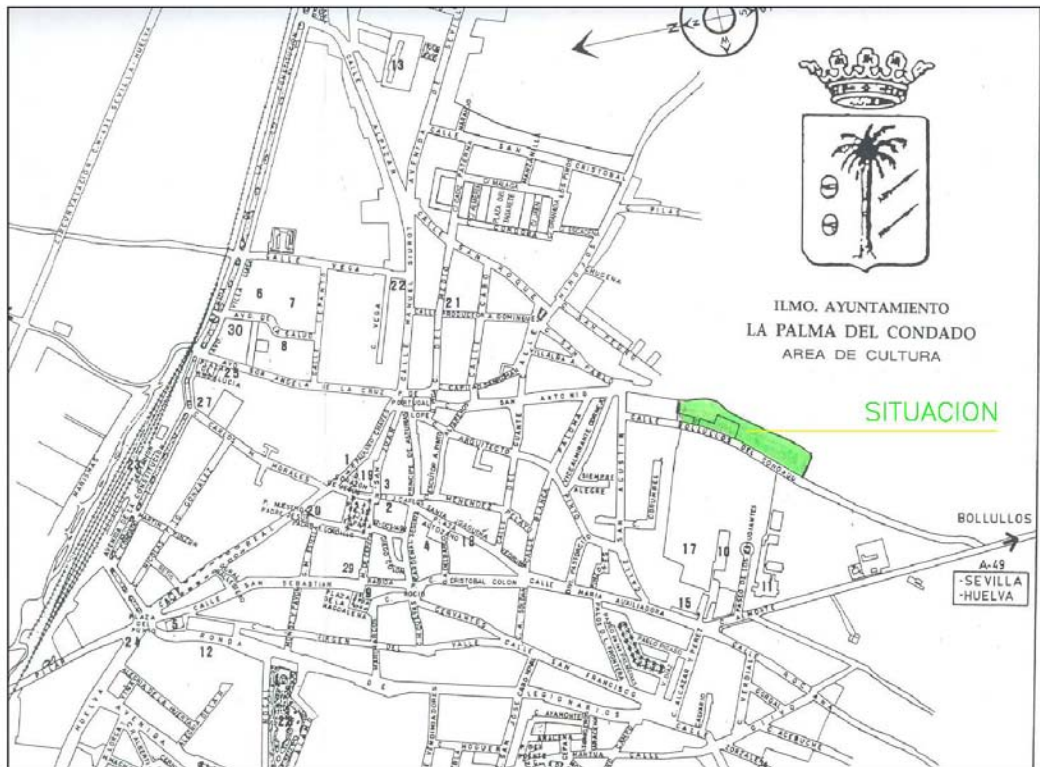


Figura 1. Localización del suelo a estudiar

## 2. Actuaciones a realizar sobre el suelo

### 2.1. Delimitación de la Unidad de Ejecución

Se realizó en octubre de 2005. La justificación legal de la delimitación se encuentra en la LOUA, que establece en el Artículo 105 que la delimitación de las UE deberá asegurar su idoneidad técnica y económica, y permitir en todo caso el cumplimiento de los deberes legales y la equidistribución de los beneficios y las cargas derivadas de la ordenación urbanística. La UE además de servir de presupuesto necesario para establecer la ordenación detallada (apertura de nuevo vial, definición de parcelas, alineaciones y rasantes, localización de zonas verdes), ha de constituir el ámbito idóneo para el desarrollo de la totalidad de las operaciones jurídicas y materiales precisas para la ejecución integral del planeamiento y de la comunidad de referencia para la justa distribución de cargas y beneficios.

Por otro lado, en las normas urbanísticas del PGOU de la Palma del Condado se dispone que en el **suelo urbano no consolidado** deberán delimitarse las UE. El sistema de ejecución conforme al cual debe desarrollarse la actividad de ejecución es el de compensación.

Los terrenos que conforman la Unidad son:

- Finca urbana segregada de la que ésta es parcela resto, situada en la Palma del Condado (Huelva), calle Bollullos del Condado nº13, con una superficie de **8.419, 61 m<sup>2</sup>**.
- Viario: calle Camino Viejo a Bollullos. Bien de dominio público. Superficie **1.204,10 m<sup>2</sup>**.

La delimitación de la UE queda justificada técnicamente por la disposición de las edificaciones del entorno. Existe un espacio vacío que es necesario ejecutar y ordenar globalmente, de esta forma se completa la red de comunicaciones definida en el PGOU, proporcionando acceso a los edificios y urbanizando el vial actualmente carente de infraestructuras. Esta delimitación garantiza la conexión del área de ejecución con la estructura urbana de la localidad, y una ordenación urbanística coherente. La ordenación detallada del área de ejecución se realizará mediante Estudio de Detalle (ED) y la UE.

Se ejecutará mediante el sistema de compensación, redactándose los correspondientes Proyecto de Reparcelación (PR) y Proyecto de Urbanización (PU), cuya aprobación permitirán la edificación de los terrenos.

## 2.2. Estudio de Detalle

Redactado en octubre de 2005. La normativa urbanística de aplicación es el PGOU de La Palma del Condado, pendiente de aprobación definitiva<sup>188</sup> en aquel momento. Con fecha de 27 de Octubre de 2003, el Ayuntamiento de La Palma del Condado aprobó en el pleno un convenio urbanístico con los anteriores propietarios de los terrenos objeto de ordenación, en el que éste se comprometía a destinar la edificabilidad residencial que resultara a VPO<sup>189</sup>. Los objetivos de redacción del ED fueron:

- Ordenar volúmenes
- Trazar el viario local secundario
- Localizar el suelo dotacional público
- Fijar las alineaciones y rasantes
- Desarrollar la ordenación establecida en el Plan General

El desarrollo de este suelo se efectuaría posteriormente mediante la redacción de un PR y PU.

El terreno está situado al sureste de La Palma del Condado en el Camino Viejo a Bollullos, que enlaza con la carretera A-49 Sevilla-Huelva.

La superficie a ordenar una vez delimitada la UE es de **9.623,71 m<sup>2</sup>**.

El terreno objeto de ordenación es **Suelo Urbano No Consolidado (SUNC)**.

Los usos permitidos por las Normas son **residencial** y compatible, entre los que se encuentra el uso comercial. Las ordenanzas particulares establecidas en el Plan General son las siguientes:

- Residencial Plurifamiliar R4.
- Residencial Unifamiliar R2.

---

<sup>188</sup> Se aprobó en 2008.

<sup>189</sup> Viviendas de Protección Oficial.

La solución que se propuso en el ED fue la siguiente:

- Ordenación de volúmenes: la ordenación de volúmenes propuesta que concentran el uso residencial y comercial, respetando la normativa urbanística de aplicación fue la siguiente:

Nº parcelas	Superficie m <sup>2</sup>	Uso	Nº plantas
Parcela nº 1	1.484,80	Residencial Compatible R4	B+3
Parcela nº 2	1.320,08	Residencial Compatible R4	B+3
Parcela nº 3	2.252,99	Residencial R2	B+1

Tabla 1: ordenación de volúmenes según ED

La edificabilidad asignada resulta de la aplicación de las Ordenanzas del suelo Urbano del PGOU de La Palma, en lo que concierne a la calificación de este suelo como Residencial R4 y R2.

- Trazado del viario local secundario: con la ordenación planteada se crean 2 viales peatonales que separan las parcelas residenciales de la zona verde y un vial secundario necesario para conectar la calle existente Bollullos de la Mitación o también llamada Camino Viejo a Bollullos con las parcelas de viviendas unifamiliares, permitiendo que tengan acceso el tráfico peatonal y el rodado. La anchura de todas las calzadas es la establecida en el Plan General, cumpliendo lo dispuesto en la normativa.

Nº parcelas	Superficie m <sup>2</sup>	Uso
Parcela nº 5	4.318,90	Viario

Tabla 2: superficie para viario local secundario según ED

- Localización del suelo dotacional público. La superficie destinada a zona verde pública es de **246,94 m<sup>2</sup>**.

Nº parcelas	Superficie m <sup>2</sup>	Uso
Parcela nº 4	246,94	Zona verde pública

Tabla 3: superficie para zona verde pública según ED

Como resumen veamos la distribución por parcelas de usos, superficies y edificabilidades.

Las parcelas resultantes de la ordenación que se plantea es la siguiente:

Nº parcelas	Superficie m <sup>2</sup>	Uso
Parcela nº 1	1.484,80	Residencial Compatible
Parcela nº 2	1.320,08	Residencial Compatible
Parcela nº 3	2.252,99	Residencial
Parcela nº 4	246,94	Zona Verde
Parcela nº 5	4.318,90	Viario
<b>Total</b>	<b>9.623,71</b>	

Tabla 4: superficies y usos de las parcelas según ED

### 2.3. Proyecto de Reparcelación

En octubre de 2005 se redactó el Proyecto de Reparcelación. El terreno se clasificaba conforme al Artículo 45 de la LOUA, como SUNC por la urbanización incluido en una UE, cuyo régimen jurídico se regula en el Artículo 55, que a su vez se remite a los deberes enumerados en el Artículo 51.a y c, como son la cesión obligatoria y gratuita de las dotaciones públicas y del aprovechamiento urbanístico correspondiente a la Administración, así como proceder a la distribución equitativa de beneficios y cargas con anterioridad a la ejecución material.

Estos presupuestos fueron necesarios para iniciar la edificación tal y como establece el Artículo 149 de la LOUA.

En aplicación del Artículo 132 de la LOUA, el PR se tramitó por el procedimiento abreviado, para su aprobación conjunta con el ED; y conforme al Artículo 130.3 con el PU.

La Entidad promotora tenía como derechos y obligaciones: redactar los instrumentos necesarios para la ordenación del terreno, ED, así como los instrumentos de ejecución que fueren necesarios para la edificación de 141 VPO. En segundo lugar se comprometía a sustituir la cesión del 10% de aprovechamiento por su equivalente en metálico conforme al valor dado por los técnicos municipales.

Por ello, de conformidad con los Artículos 129.1.2 y 130.1.a, correspondió a dicha Entidad la formulación del PR ya que si bien el Ayuntamiento era propietario de **1.204,10 m<sup>2</sup>** de vial, al estar ambos propietarios interesados en el desarrollo y gestión de la UE, no era necesaria la constitución de la Junta de Compensación conforme al Artículo 138, aplicándose el sistema mediante la regulación establecida para el propietario único.

A continuación, describimos brevemente las fincas incluidas:

- Parcela A: Con una extensión superficial de **8.419,61 m<sup>2</sup>**. Linderos: al sur, con calle Manuel Pinto González, al norte, con finca segregada de la que esta es resto, al este, con colector del arroyo del Pozo de las Vacas, sobre el que se proyectó la ejecución de una nueva calle,

prevista en el PGOU de La Palma del Condado, que corresponde a la prolongación de la Calle San Antonio, y al oeste con viario Camino Viejo de Bollullos. La finca se encontraba libre de cargas y gravámenes, y en ella no existían edificaciones.

- Parcela B: Calle Camino Viejo de Bollullos. Bien de dominio Público. Superficie: **1.204,10 m<sup>2</sup>**.

Tal y como se mencionaba anteriormente, se sustituyó la cesión del 10% del aprovechamiento lucrativo a la Administración actuante por equivalente económico.

Y las fincas resultantes son las que se recogen en la tabla 4, y que detallamos a continuación:

- Parcela n<sup>o</sup> 1: parcela de uso residencial en el Camino Viejo a Bollullos del Condado, en el término de La Palma del Condado, con superficie **1.484,80 m<sup>2</sup>**. Linda al Norte con vía peatonal de nueva creación. Al Sur, con vial de nueva creación y al Oeste con Camino Viejo de Bollullos. Uso residencial plurifamiliar (VPO) compatible.
- Parcela n<sup>o</sup> 2: parcela de uso residencial en calle Bollullos del Condado, en el término de La Palma del Condado, con superficie **1.320,08 m<sup>2</sup>**. Linda al Norte con vial de nueva creación; al Sur, con vial peatonal de nueva creación y al Oeste con Camino Viejo de Bollullos. Uso residencial plurifamiliar (VPO) compatible.
- Parcela n<sup>o</sup> 3: parcela de uso residencial en calle Bollullos del Condado, en el término de La Palma del Condado, con superficie **2.252,99 m<sup>2</sup>**. Linda al Norte, con finca segregada de la que es resto; al Sur, con finca de Manuel Pinto González; al Este, con colector Arroyo del Pozo de las Vacas; y al Oeste con parcela n<sup>o</sup> 5, vial de nueva creación. Uso residencial unifamiliar.
- Parcela n<sup>o</sup> 4: parcela de zona verde en calle Camino Viejo de Bollullos del término de La Palma del Condado, con superficie **246,94 m<sup>2</sup>**. Linda al Norte con vial peatonal de nueva creación; al Sur, con vial peatonal de nueva creación; al Este, con vial de nueva creación; y al Oeste con vial Camino Viejo de Bollullos. El uso asignado es zona verde. Esta parcela se adjudicó al Ayuntamiento como cesión obligatoria y gratuita.
- Parcela n<sup>o</sup> 5: parcela destinada a vial rodado-peatonal, resto de finca matriz. Uso viario. Se adjudicó al Ayuntamiento como cesión obligatoria y gratuita.

## 2.4. Proyecto de Urbanización

En febrero de 2006 se redactó el PU, que comprendía las siguientes partidas:

- Obras de viabilidad, en las que se incluían las de explanación, afirmado y pavimentación de calzadas; construcción y encintado de aceras y construcción de las canalizaciones que debían construirse en el subsuelo de las vías o de las aceras.
- Obras de saneamiento, que comprendían los colectores generales y parciales, acometidas, sumideros y atarjeas para aguas pluviales y estaciones depuradoras, en la proporción que corresponda.
- Obras para la instalación y el funcionamiento de los servicios públicos de suministro de agua, incluyendo las de captación de ésta si fuese necesario y las de distribución domiciliaria de agua potable, de riego y de hidrantes contra incendios; de suministro de energía eléctrica, comprendiendo la conducción y la distribución, así como el alumbrado público, y los de telefonía y telecomunicaciones.

El objeto del PU debía ser dotar de infraestructuras y pavimentación a la parcela del Camino Viejo

de Bollullos. El área de actuación era de **9.623,71 m<sup>2</sup>** y se localizaba al Sur del Municipio de La Palma del Condado. El terreno objeto, como ya se ha comentado, tiene un uso definido como SUNC, no encontrándose ninguna edificación en la parcela. Se ubicaba en un sector de expansión residencial y las únicas construcciones existentes eran redes de saneamiento que estaba previsto que fueran desmontadas durante el proceso de la ejecución de la urbanización.

Las infraestructuras que se incorporaron en el presente PU fueron:

- Abastecimiento de agua
- Alcantarillado
- Red Eléctrica
- Red de Telefonía
- Alumbrado Público

Y las obras proyectadas consistían en:

- Movimiento de tierras y trabajos previos. Previamente se realizaría la limpieza del terreno, así como la eliminación de una infraestructura de saneamiento existente, que estuviese en desuso. Se realizarían aperturas de zanjas y pozos, y excavación de las cajas de los viales.
- Red de alcantarillado. Se utilizaría para dicha red el sistema unitario, con acometidas independientes para vertidos de fecales y recogida mediante imbornales de pluviales. Toda la evacuación de aguas se efectuaría por gravedad.
- Red de abastecimiento de agua potable. Se emplearía conducciones de polietileno de alta densidad. Se optó por red mallada que garantizase el suministro a todos los puntos.
- Red de distribución de energía eléctrica. La red de media subterránea. La red de baja tensión según la normativa vigente.
- Red de alumbrado público. Se utilizarían lámparas de vapor de sodio. En cuanto a la disposición de las luminarias, se adoptó una solución unilateral, disposición válida para las distintas secciones de calle proyectadas.
- Red de Telefonía.
- Pavimentación. Las aceras se componían de terreno natural compactado, solera de hormigón de 10 cm, mortero de cemento y solería hidráulica de 40 x 40 cm. Los bordillos fueron de hormigón prefabricado achaflanado. Las calzadas se proyectaron con capa de rodadura, base de zahorra artificial, sub-base de zahorra natural y terreno natural compactado.
- Espacios libres y jardinería. No se previó ningún tipo de jardinería en especial, tan solo una zona central, la cual se dotó con una terminación de tierra vegetal con plantación de césped y algunas flores autóctonas de la zona.

El Presupuesto de Ejecución Material (PEM) estimado inicialmente correspondiente a las obras a realizar es el reflejado en el cuadro siguiente:

<b>Resumen de Presupuesto (en €)</b>	
Movimiento de Tierras y Cimentación	<b>22.094,31</b>
Pavimentación	<b>67.563,88</b>
Saneamiento	<b>17.555,98</b>
Abastecimiento	<b>44.529,20</b>
Baja Tensión	<b>62.418,96</b>
Alumbrado Público	<b>19.425,05</b>
Telefonía	<b>30.065,82</b>
Señalización	<b>8.312,84</b>
<b>Total Ejecución Material</b>	<b>271.966,04 €</b>

Tabla 5: PEM del PU

Dentro del PU, se redactó un anexo, correspondiente a la parcela R4 (calzada). El objeto del anexo era acondicionar y asfaltar el Camino Viejo de Bollullos de conexión entre la calle San Agustín y la carretera de Bollullos, que pasa por la parcela objeto del proyecto y se sitúa junto al Polideportivo. El área objeto de actuación de este anexo es de **1.200 m<sup>2</sup>**. Las obras a realizar fueron:

- Movimiento de tierras
- Desbroce y acondicionamiento del terreno
- Asfaltado y pavimentación

Y el resumen del presupuesto fué:

<b>Resumen de Presupuesto</b>	
Movimiento de Tierras y Cimentación	<b>7.375,49</b>
Pavimentación	<b>10.800,00</b>
Seguridad y señalización	<b>164,64</b>
<b>Total Ejecución Material</b>	<b>18.340,13</b>

Tabla 6: PEM del anexo al PU

## 2.5. Proyecto de Edificación

Analizaremos el PE de 107 viviendas plurifamiliares de Protección Oficial, 107 plazas de aparcamiento, 107 trasteros y locales comerciales en el Camino Viejo de Bollullos, de La Palma del Condado (Huelva). El proyecto es de Abril de 2006, con reformados en Julio de 2007 y Febrero de 2008. Las viviendas unifamiliares que aparecen en la figura 2 no se estudiarán en esta investigación, ya que la tipología a evaluar son únicamente las viviendas plurifamiliares.



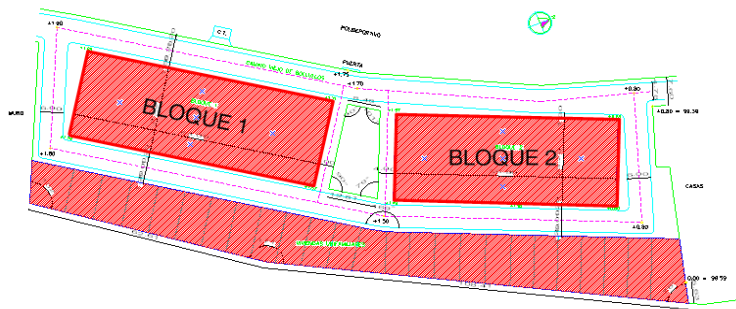


Figura 2: PE de la investigación



Figura 3: Bloques de viviendas del PE de la investigación



Figura 4: Bloques de viviendas del PE de la investigación



Figura 5: Bloques de viviendas del PE de la investigación

La promoción se desarrolla en dos parcelas independientes, siendo la superficie de la Parcela 1 de **1.484,80 m<sup>2</sup>** y la superficie de la parcela 2 de **1.320,08 m<sup>2</sup>**. La Parcela 1 linda al Norte, con vial peatonal de nueva creación; al Sur, con vial de nueva creación; al Este, con vial de nueva creación y al Oeste con Camino Viejo de Bollullos. La Parcela 2 linda al Norte, con vial de nueva creación; al Sur, con vial peatonal de nueva creación; al Este, con vial de nueva creación y al Oeste con Camino Viejo de Bollullos.

El uso es residencial compatible con comercial R-4. La calificación del suelo es urbano no consolidado. La altura máxima es Baja+3. La edificabilidad viene definida según la normativa de VPO.

El PE recoge la construcción de 2 bloques:

- **Bloque 1 (57 viviendas):** Se compone de dos sótanos y cuatro plantas sobre rasante. Se plantea a partir de cuatro núcleos de circulación vertical. Está compuesto por dos portales de entrada y dos escaleras de distribución en cada uno de los portales. En la planta sótano -2 se sitúan 18 plazas de aparcamiento y 24 trasteros<sup>190</sup>. Posteriormente sería ampliado a 46 plazas de aparcamiento y 25 trasteros<sup>191</sup>. En la planta sótano -1 se sitúan 39 plazas de aparcamiento y 33 trasteros (Abril 2006), modificadas posteriormente a 39 plazas de aparcamiento y 32 trasteros (Julio 2007). En la planta baja se sitúan los portales de entrada, 3 locales comerciales, 9 viviendas, repartidas de forma que hay seis en el portal 1 y tres en el portal 2, la rampa de acceso al garaje y espacio reservado para centro de transformación. Las plantas 1, 2 y 3 disponen de 16 viviendas cada una (48 en total), ocho en portal 1 y ocho en portal 2. La planta de cubierta tiene una parte transitable habilitada para el tendido de ropa.
- **Bloque 2 (50 viviendas):** Se compone de dos sótanos y cuatro plantas sobre rasante. Se plantea a partir de tres núcleos de circulación vertical. Está compuesto por dos portales de entrada y dos escaleras de distribución en el portal 1 y una escalera de distribución en el portal 2. En la planta sótano -2 se sitúan 20 plazas de aparcamiento y 15 trasteros (Abril 2006), modificada a 42 plazas y 15 trasteros (Julio 2007). En la planta sótano -1 se sitúan 30 plazas de aparcamiento y 35 trasteros, que no se modifican en número en el reformado posterior. En la planta baja se sitúan los portales de entrada, 3 locales comerciales, 8 viviendas, repartidas de forma que hay tres en el portal 1 y cinco en el portal 2 y la rampa de acceso al garaje. Las plantas 1, 2 y 3 disponen de 14 viviendas cada una (42 en total), ocho en portal 1 y seis en portal 2. La planta de cubierta tiene una parte transitable habilitada para el tendido de ropa.

La organización de todas las viviendas es muy similar y se distribuyen en: estar-comedor, cocina, dos baños, tres dormitorios y los vestíbulos y espacios de distribución necesarios.

En cuanto a la distribución de superficies útiles, en el bloque 1 existen 16 tipos de viviendas distintas, aunque las superficies de las estancias son aproximadamente iguales. La superficie útil de cada una de ellas es de 70 m<sup>2</sup>, dando una superficie total de las 57 viviendas de 3.990 m<sup>2</sup>. El mismo análisis se hace con el bloque 2, dando una superficie de 3.500 m<sup>2</sup>. La superficie útil total de las 107 viviendas de 7.490 m<sup>2</sup>.

Para el análisis de la superficie útil de los sótanos, conviene indicar que el proyecto inicial se modificó con los reformados de Julio 2007 y Febrero de 2008. En Julio de 2007 se redistribuye y amplía

<sup>190</sup> En el PE de Abril de 2006.

<sup>191</sup> Reformado de Julio de 2007.

el sótano -2 de ambos bloques, añadiéndose 28 plazas de aparcamiento en el bloque 1 y 22 en el bloque 2. Se modifican las superficies útiles y construidas de los sótanos. En Febrero de 2008 se modifican las superficies útiles de los trasteros y las plazas de aparcamientos, sin que la superficie construida total cambie.

En el bloque 1, se sitúan 85 plazas de aparcamiento (46 en sótano -2 y 39 en sótano -1), con una superficie útil por plaza de 12,50 m<sup>2</sup>. Al añadirle la superficie de rodadura, obtenemos una superficie construida de 29,56 m<sup>2</sup> por plaza. Como solo se computan 25 m<sup>2</sup> por plaza, la superficie computable total asciende a 2512,86 m<sup>2</sup>.

En el bloque 2, tenemos 72 plazas de aparcamiento (42 en sótano -2 y 30 en sótano -1), con una superficie útil por plaza de 14,25 m<sup>2</sup>, que al añadirle la superficie de rodadura nos da una superficie construida total de 2177,05 (30,23 m<sup>2</sup> por plaza). Como solo se computan 25 m<sup>2</sup> por plaza, la superficie computable total de aparcamientos ascienden a 1800 m<sup>2</sup>.

Para los trasteros, en el bloque 1 disponemos de 24 (sótano -2) y 33 (sótano -1), haciendo un total de 57. Las superficies útiles varían de 5 a 6,40 m<sup>2</sup>, y las útiles computables (incluyendo parte proporcional de pasillo), de 6,40 a 7,90 m<sup>2</sup>. La superficie construida varía de 7 a 8,80 m<sup>2</sup>, dando una superficie total de 439,32 m<sup>2</sup>.

En el bloque 2, disponemos de 15 trasteros (sótano -2) y 35 (sótano -1), haciendo un total de 50. Las superficies útiles son similares a las del bloque 1, obteniéndose una superficie construida total de 441,11 m<sup>2</sup>.

Las superficies construidas por planta se distribuyen de la siguiente manera (Febrero 2008):

BLOQUE 1	Viviendas	Garajes	Trasteros	Locales	C. Transf.	Total		
Planta sótano -2		1.300,18	175,91			1.476,09		
Planta sótano -1		1.212,68	263,41			1.476,09	Total B/R	2.952,18
Planta baja	862,71	106,32		365,97	24,06	1.359,06		
Planta primera	1.359,15					1.359,15		
Planta segunda	1.363,35					1.363,35		
Planta tercera	1.363,35					1.363,35		
Cubierta	113,61					113,61	Total S/R	5.558,52
<b>TOTAL</b>	<b>5.062,17</b>	<b>2.619,18</b>	<b>439,32</b>	<b>365,97</b>	<b>24,06</b>	<b>8.510,70</b>		<b>8.510,70</b>

Tabla 7: Superficies construidas del bloque 1

BLOQUE 2	Viviendas	Garajes	Trasteros	Locales	Total		
Planta sótano -2		1.176,47	135,61		1.312,08		
Planta sótano -1		1.006,58	305,50		1.312,08	Total B/R	2.624,16
Planta baja	779,80	106,32		311,74	1.197,86		
Planta primera	1.197,86				1.197,86		
Planta segunda	1.201,53				1.201,53		
Planta tercera	1.201,53				1.201,53		
Cubierta	81,28				81,28	Total S/R	4.880,06
<b>TOTAL</b>	<b>4.462,00</b>	<b>2.289,37</b>	<b>441,11</b>	<b>311,74</b>	<b>7.504,22</b>		7.504,22

Tabla 8: Superficies construidas del bloque 2

BLOQUES 1+2	Viviendas	Garajes	Trasteros	Locales	C. Transf.	Total		
Planta sótano -2		2.476,65	311,52			2.788,17		
Planta sótano -1		2.219,26	568,91			2.788,17	Total B/R	5.576,34
Planta baja	1.642,51	212,64		677,71	24,06	2.556,92		
Planta primera	2.557,01					2.557,01		
Planta segunda	2.564,88					2.564,88		
Planta tercera	2.564,88					2.564,88		
Cubierta	194,89					194,89	Total S/R	10.438,58
<b>TOTAL</b>	<b>9.524,17</b>	<b>4.908,55</b>	<b>880,43</b>	<b>677,71</b>	<b>24,06</b>	<b>16.014,92</b>		16.014,92

Tabla 9: Superficies construidas de ambos bloques

La superficie construida<sup>192</sup> de cada una de las viviendas es de **88,81 m<sup>2</sup>**, para el caso del bloque 1 (57 viviendas), y de **89,24 m<sup>2</sup>** para el bloque 2 (50 viviendas).

La superficie construida total es de **5.062,17 m<sup>2</sup>** (bloque 1), y de **4.462 m<sup>2</sup>** (bloque 2), dando un total de **9.524,17 m<sup>2</sup>**.

El bloque 1 tiene una relación SC/SU de 1,2687, y el 2 de 1,2748.

El presupuesto económico de la promoción se desglosó de la siguiente manera:

<sup>192</sup> Superficie construida con parte proporcional de zonas comunes

	Uso		Precio m <sup>2</sup>	Sup.m <sup>2</sup>	P.E.M. (€)
<b>BLOQUE 1</b>	Vivienda	bloque aislado	407,81	5.062,17	2.064.403,56
	Trasteros	sótano -2	302,57	175,91	53.225,09
	Trasteros	sótano -1	276,26	263,41	72.769,66
	Garaje	sótano -2	302,57	1.300,18	393.395,47
	Garaje	sótano -1	276,26	1.319,00	364.386,95
	Locales		171,02	365,97	62.588,19
	C. Transf.		171,02	24,06	4.114,74
<b>Totales</b>				<b>8.510,70</b>	<b>3.014.883,66</b>

	Uso		Precio m <sup>2</sup>	Sup. m <sup>2</sup>	P.E.M. (€)
<b>BLOQUE 2</b>	Vivienda	bloque aislado	407,81	4.462,00	1.819.648,23
	Trasteros	sótano -2	302,57	135,61	41.031,53
	Trasteros	sótano -1	276,26	305,50	84.397,44
	Garaje	sótano -2	302,57	1.176,47	355.964,54
	Garaje	sótano -1	276,26	1.112,90	307.449,75
	Locales		171,02	311,74	53.313,77
<b>Totales</b>				<b>7.504,22</b>	<b>2.661.805,26</b>

Tabla 10: Presupuesto económico de la promoción

En cuanto al presupuesto (realizado en febrero de 2008), este se distribuyó por capítulos, del siguiente modo:

	Euros
Demoliciones y trabajos previos	2.159,76
Acondicionamiento de terrenos	238.767,39
Cimentación	542.439,11
Saneamiento	8.525,56
Estructura	1.367.110,66
Albañilería	516.251,49
Cubiertas	137.198,62
Instalaciones	801.157,12

Revestimientos	992.625,52
Tabiquería, yesos y escayolas	555.481,23
Carpintería	335.053,31
Vidrios	13.605,62
Pintura	67.412,91
Decoración y varios	98.900,62
<b>TOTAL</b>	<b>5.676.688,92</b>

Tabla 11: Presupuesto económico por capítulos

Una vez resumidas las cuestiones económicas y de superficie, haremos lo mismo con la memoria del PE.

De la memoria de cimentación y estructura, podemos decir que se planteó una estructura de hormigón armado, compuesta por pilares, forjados de losa sin aligerar sobre apoyos aislados con un canto de 22 cm. La cimentación fué de tipo superficial, resuelta mediante losa armada. El sótano se ejecutó mediante muros formados por pantallas de hormigón armado de 50 cm de espesor<sup>193</sup>. El hormigón a emplear fué el prescrito por la EHE, incluyendo las prescripciones del acero, cemento, áridos y agua.

De la memoria de oficios destacaremos:

- Cerramientos exteriores: compuestos por fábrica de medio pie de espesor, enfoscada o con revestimiento monocapa al exterior, pintura de oxiasfalto interior, cámara de aire, aislante térmico de panel de fibra de vidrio o poliestireno expandido, y tabique de ladrillo hueco sencillo, tomado con mortero de cemento Pórtland y arena de río en dosificación 1:8, enfoscado o enlucido interiormente o doblado de placas prefabricadas de yeso laminado.
- Divisiones interiores: de placas prefabricadas de yeso laminado o de ladrillo hueco sencillo en general, y doble en cocinas y aseos, tomado con mortero de cemento Pórtland y arena de río en proporción 1:8, y enfoscado, enlucido o alicatado, según los casos. División entre viviendas de doble placa de yeso laminado o de citara de ladrillo macizo perforado revestido interiormente con placas de yeso laminado.
- Cubiertas: en azotea transitable, ejecutada a la andaluza y compuesta por aislante, formación de pendientes con hormigón celular, lámina asfáltica impermeabilizante, capa de mortero de protección, y acabado con solería de ladrillo fino prensado 14 x 28 tomado con mortero bastardo de cal y cemento. En azotea no transitable, compuesta por aislante, formación de pendiente con hormigón celular, lámina asfáltica impermeabilizante, capa de mortero de protección y acabado de gravilla.
- Alicatados y solados: alicatados hasta el techo con azulejos 20 x 30 blancos, en cuartos de baño y cocinas. Solería de terrazo 40 x 40 pulido y abrillantado, colocado a la terraja, con rodapiés del mismo material y 4 cm de altura mínima. En escaleras, peldaños de piedra artificial y zanquines del mismo material con 4 cm de altura mínima.

<sup>193</sup> En el proyecto inicial de Abril de 2006 las pantallas de hormigón no aparecían.

- Carpintería: interior de madera con cercos y contracercos de pino pintada o barnizada, y hoja de paso prefabricada de alma alveolada chapada en abebay pintada o barnizada, con tres elementos de cuelgue y cerradura de resbalón. Espesor mínimo 35 mm en interiores y 40 mm en puertas de entrada a viviendas. Carpintería exterior en perfil de aluminio lacado con elementos de cuelgue, cierre y seguridad. Rejas en huecos de planta baja.
- Vidriería: luna pulida incolora de 4 mm de espesor en carpintería exterior. Luna impresa de 4 mm de espesor en baños. Vidrio impreso de 3 mm de espesor en carpintería de madera.
- Pinturas: en exteriores pintura impermeable pétreo sobre imprimación. En interiores, gotelé sobre imprimación, en paramentos verticales y horizontales. En cuartos húmedos pintura plástica en techos. Pintura al esmalte sobre imprimación en carpintería de madera. Pintura sintética a dos manos, sobre imprimación de Wash-primer en carpintería metálica y sobre minio de plomo en rejas.
- Yesos: techo de placas prefabricadas de escayola en baños, aseos y cocinas.

Y de la de instalaciones:

- Fontanería: redes de agua fría y caliente en cobre. Calentador de agua sanitaria a gas butano instalado en cocina y con una potencia máxima de 9.000 Kcal/h. La red de agua caliente se dispuso a una distancia no menor de 4 cm. de la de agua fría y nunca por debajo de ésta. La velocidad del agua sería en cualquier punto mayor a 1,5 m/s y la presión estaría comprendida entre 10 y 35 m.c.a. Cualquier cuarto húmedo, así como el calentador y los inodoros, se instalaron con llaves de paso. Conexión de toda la instalación a la red general, mediante conducto enterrado en zanja de longitud media 20,00 m.
- Saneamiento: redes de PVC con pendientes no menores al 1,5%. Los bajantes serían ventilados en su extremo superior para evitar sifonamientos. Botes sifónicos comunes a todos los aparatos en cuartos de baño con conexión al manguetón del inodoro. Sifones individuales en lavabos de aseos y piletas. Separador de grasas y fangos en garaje. Conexión de toda la instalación a la red general mediante conducto enterrado en zanja de longitud media 20,00 m.
- Sanitarios: de porcelana vitrificada blanca. Hidromezcladores en baño y lavabo. Bañera y plato de ducha de acero esmaltado.
- Electricidad: acometida a tensión de 230 V con una previsión de potencia de 5.750 W por vivienda. Se dispusieron cinco circuitos independientes por vivienda correspondientes a los previstos en el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión e Instrucciones Técnicas Complementarias para nivel de electrificación bajo. Toma de tierra por pica, con una resistencia máxima de 20 ohmios. Todas las tomas se instalaron con protección a tierra. La canalización se hizo bajo tubo con conexiones en cajas de registro.
- Ventilación: por conductos prefabricados cerámicos en cocinas, aseos y baños. En la cocina se proyecta un hueco de 225 cm<sup>2</sup> a ras de suelo para evacuación de gases pesados. Sistema de ventilación mecánica en sótano, constituida por aparatos de extracción mediante motor ventilador homologado por Industria y garantizando con 6 renovaciones/hora, ventilando mediante conductos rematados 1 m por encima del castillete.
- Telecomunicaciones. Se instalaron tomas en viviendas.

Conexión a la red general mediante la ejecución de canalizaciones y colocación de conductos de instalaciones de abastecimiento y saneamiento de agua, redes de media y baja tensión, alumbrado público y telecomunicaciones incluyendo la pavimentación correspondiente. En el caso de redes de media y baja tensión se preveía también la posible construcción, conexión y/o ampliación de centro de transformación.

## Determinación de los elementos del proyecto

En este punto de la investigación habrá que explicar qué conceptos deben ser tenidos en cuenta en un proyecto de edificación para poder realizar el cálculo de la huella ecológica que genera.

El análisis se irá realizando siguiendo la estructura teórica, es decir, considerando cada uno de los impactos que genera el proceso constructivo.

Antes de comenzar el análisis, es necesario aclarar un aspecto respecto a la metodología a seguir. Cualquier análisis de huella ecológica 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 en el tiempo. Es decir, que la actividad del sector construcción somete al territorio a stress 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, consideraremos que en el territorio de estudio la única actividad que ejerce algún impacto sobre el mismo es la que corresponde a la construcción de los bloques de edificios considerados en el apartado anterior. Y ese impacto será ejercido durante un período de **12 meses**, que es el que consideraremos como 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 del proceso edificatorio 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). El considerar como una hipótesis de partida la duración de la obra es necesario también para poder realizar determinados cálculos de impacto, ya que el proyecto está aún en fase de ejecución, por lo que determinados datos de consumo no están aún disponibles. Además, la herramienta que se está elaborando tendrá siempre un carácter predictivo, por lo que pensamos que dicha hipótesis estaría suficientemente justificada.

También es necesario aclarar una cuestión importante respecto al presupuesto. Se ha considerado hasta ahora el presupuesto de ejecución de la obra, sin entrar en análisis pormenorizados. Para nuestro estudio debemos conocer el presupuesto total de la obra. Eso incluye no sólo el Coste Directo de Ejecución, sino además los Costes Indirectos y los Estudios de Seguridad y Salud.



Además, para poder hacer el cálculo pormenorizado de los materiales empleados deberemos disponer de un Presupuesto ajustado según la Base de Costes de Construcción de nuestra Comunidad Autónoma. En este caso, se empleará la Base de Costes de la Construcción de Andalucía<sup>194</sup> (BCCA) del año 2008, ya que es el año que tomamos para este estudio. Para ello se han rehecho los presupuestos para conseguir precios unitarios ajustados a esta base. Por tanto, el procedimiento a seguir para determinar el presupuesto total ha sido el siguiente:

1. Obtener el Presupuesto de Ejecución Material de la obra de edificación.
2. Obtener el Presupuesto de Ejecución Material de la obra de urbanización
3. Rehacer los Presupuestos para ajustar los precios a la BCCA (año 2008)
4. Integrar los Costes Indirectos en el Presupuesto de Ejecución.
5. Integrar el Presupuesto del Estudio de Seguridad y Salud en el Presupuesto de Ejecución
6. Calcular el Presupuesto global

$$P_g = CDE_{edif} + CDE_{urbaniz} + P_{indirectos} + P_{ss} \quad (1)$$

Donde:

$P_g$ : Presupuesto global

$CDE_{edif}$ : Coste Directo de Ejecución de la obra de edificación según BCCA.

$CDE_{urbaniz}$ : Coste Directo de Ejecución de la obra de urbanización según BCCA.

$P_{indirectos}$ : Presupuesto de Costes Indirectos, según BCCA.

$P_{ss}$ : Presupuesto del Estudio de Seguridad y Salud, según BCCA.

## 1. Parámetros para la determinación de la huella energética

Para predecir el consumo de energía producido en la construcción de una obra partiremos de los datos que proporcionan las fórmulas polinómicas<sup>195</sup>. Dichas fórmulas se dividen según distintas categorías constructivas. Analizando dichas fórmulas, podremos considerar que nuestro tipo de obra encaja en la tipología 18 de dichas fórmulas: “aquellos edificios con estructura de hormigón armado y presupuesto de instalaciones menor del 20% del presupuesto total<sup>196</sup>”. Además, al ser la edificación de estudio una promoción de viviendas de protección oficial, se considera que la contratación es del tipo oficial.

Para esas características de proyecto, los parámetros de las fórmulas polinómicas que emplearemos serán los siguientes (tabla 12):

Tipología	h	e	c	s	m	Cr	Total
Tipol. 18	0,36	0,08	0,12	0,12	0,07	0,10	0,85
Tipol. 18 (corregida)	0,42	0,09	0,14	0,14	0,08	0,12	1,00

Tabla 12: Fórmulas polinómicas de la tipología 18 (contratación oficial)

194 Base de Costes de la Construcción de Andalucía 2008. Consejería de Obras Públicas y Transportes. Junta de Andalucía. Página web: [http://www.juntadeandalucia.es/viviendayordenaciondelterritorio/www/jsp/estatica.jsp?pma=0&pmsa=0&e=planificacion/publicaciones/banco\\_precios\\_construccion/bcca08/bcca08.html](http://www.juntadeandalucia.es/viviendayordenaciondelterritorio/www/jsp/estatica.jsp?pma=0&pmsa=0&e=planificacion/publicaciones/banco_precios_construccion/bcca08/bcca08.html).

195 Según los decretos 3650/1970 de 19 de diciembre y 2167/1981 de 20 de agosto.

196 Según los decretos 3650/1970 de 19 de diciembre y 2167/1981 de 20 de agosto.

Los coeficientes indicados representan el tanto por uno sobre el importe total de cada tipo de obra. Dicho importe es sin IVA, una vez descontado el beneficio industrial y los gastos generales. El 15% restante serían los Costes Indirectos. En este caso, dichos costes sí se calculan, por lo que los porcentajes de la tabla 12 se incrementan para obtener el 100% del presupuesto (Pg), obteniendo los coeficientes corregidos, que serán los que emplearemos para los cálculos.

Cada uno de las iniciales de la tabla 12 hace referencia a los siguientes conceptos:

- h: coste laboral (mano de obra)
- e: energía
- c: cemento
- s: acero
- m: madera
- Cr: cerámica

Por tanto, para nuestro caso el consumo energético de la obra se podría estimar como el 9% del Pg.

Siempre que el cálculo no distorsione mucho los resultados, intentaremos agrupar el proyecto de urbanización y edificación, ya que el presupuesto del primero es mucho menor que el de edificación, por lo que parece razonable considerarlo como uno solo.

Una vez definido el coste energético de la construcción de la obra (en euros), el siguiente paso sería determinar el consumo de combustible que se produce en la obra.

Como se explicó en el apartado de energía, la determinación del consumo de energía eléctrica se obtendrá una vez que se haya determinado el consumo de combustible que se produce en la ejecución.

Para la determinación del consumo de combustible, podemos optar por uno de los dos caminos siguientes:

El primero, partiríamos de datos de consumo de combustible en obras de características similares a la nuestra. Generalmente dicho consumo viene dado en términos monetarios, por lo que realizaríamos una interpolación basada en el presupuesto de la obra. Además, los proyectos que sirvan de referencia para la interpolación tendrán que estar actualizados según el IPC al año de estudio. Este procedimiento es más rápido pero bastante más inexacto.

El segundo es un procedimiento más complejo pero bastante más exacto, ya que partimos de los cálculos realizados en las mediciones. La secuencia sería:

- Cálculo, a través de las mediciones de las horas de maquinaria empleada.
- Cálculo del coste económico del empleo de dicha maquinaria. Se detallará el coste de cada tipo de maquinaria que consuma combustible.

Para obtener el consumo de combustible en litros, deberemos conocer la tarifa del combustible empleado. Generalmente consideraremos como combustible diesel A, y será necesario actualizar dicho dato al año de realización del proyecto. Como nuestro año de referencia será 2008, habrá que actualizarlo al IPC de 2008.

Por último, se considerará un coeficiente de mayoración del 10%, ya que siguiendo el estudio realizado en el análisis de movilidad de la parte teórica, podemos computar un 10% extra de consumo de combustible para mantenimiento de la maquinaria. Sin embargo, la fabricación de la maquinaria no se considerará, ya que computará a las empresas que la fabriquen.

Una vez definido el consumo de combustible en unidad de volumen (litros), la huella ecológica podrá ser calculada con la fórmula que se indicó en el apartado de energía<sup>197</sup>, y que se empleará de forma numérica en el próximo apartado.

Para el cálculo del consumo de energía eléctrica haremos la siguiente consideración:

$$\boxed{\text{Consumo ener. electrica} = \text{Consumo ener. total} - \text{Consumo comb}} \quad (2)$$

Es decir, se considera que el consumo total de energía de la ejecución se reparte entre la energía eléctrica y el combustible empleados. Por tanto, una vez que se haya determinado el consumo de energía total y el de combustible, se puede considerar que la diferencia es el consumo de energía eléctrica realizado en la obra.

Para determinar el consumo de energía eléctrica en una magnitud apta para el cálculo de la huella, deberemos conocer el coste económico de dicha energía. Para ello precisaremos del dato de tarifa de la electricidad (kWh/€) de la empresa suministradora. Al igual que antes, dicho dato deberá actualizarse al año de referencia, que en este caso es 2008.

Con esa información, deberemos seguir el procedimiento recogido en el capítulo de energía de la parte teórica.

## 2. Parámetros para la determinación de la huella vinculada al suministro de agua

El consumo de agua no es un recurso que esté recogido en las fórmulas polinómicas, por lo que no podemos dar una estimación inicial. Además, si utilizamos los Bancos de Precios de Construcción, los precios unitarios no recogen el consumo de agua asociado a las distintas unidades de obra. Es decir, que no podemos plantear el cálculo del consumo de agua en el proceso de construcción del edificio ni mediante las fórmulas polinómicas ni mediante las mediciones del proyecto. Por tanto, el procedimiento a emplear para poder estimar dicho consumo es la interpolación a partir de datos de consumo de agua de obras de características similares a la nuestra. Dicho consumo suele venir expresado en términos monetarios. Conociendo el presupuesto de la obra  $P_g$ , mediante interpolación obtendríamos el consumo de agua, que será el total de la obra. Este procedimiento es rápido pero bastante inexacto. Para poder contrastar los resultados tendríamos que esperar a la finalización de la obra para conocer el consumo real de agua.

Una vez que tengamos el dato de interpolación, será necesario transformarlo en dato de consumo (en  $m^3$ ). Para ello empleamos el coste del suministro de agua de la empresa suministradora<sup>198</sup>, que debe ser aquella que facilita el agua en la zona donde se ubica la obra. Con dicho coste puedo determinar el consumo de agua expresado en volumen.

<sup>197</sup> Fórmula 11 de la parte teórica.

<sup>198</sup> Por ejemplo, EMASESA.

Con esos parámetros podemos determinar la huella mediante la expresión que se comentó en el capítulo correspondiente de la parte teórica, empleando el dato de productividad de 1.500 m<sup>3</sup>/ha.

### 3. Parámetros para la determinación de la huella vinculada al consumo de alimentos

Al igual que en los apartados anteriores, partiremos del presupuesto global de la obra. Se calculará, a través de la medición detallada del proyecto, las horas totales trabajadas por la mano de obra en la ejecución.

A continuación será necesario plantear la hipótesis para el consumo de alimentos. Se considerará que cada trabajador de la obra realiza una única comida en las 8 horas de jornada laboral que realiza. Dicha comida se compondrá de los alimentos recogidos en la tabla 22 de la parte teórica, que equivale a la composición de un menú de empresa. Aunque posiblemente sea excesivo considerar tal cantidad de alimentos para una comida en un día de trabajo, al no contabilizar más comidas a lo largo de la jornada laboral podemos hacer dicha hipótesis.

Por tanto, para conocer el número de comidas que se producen a lo largo del proceso constructivo, dividiremos el coste en horas de la mano de obra entre las 8 horas que dura la jornada, en la que se produce una única comida.

La huella ecológica ponderada ( $HE_p$ , en hag) sería:

$$HE_{pal} = \frac{HE_c}{h_c} * N_h \quad (3)$$

Donde

$HE_{pal}$ : huella ecológica ponderada de los alimentos  
 $HE_c$ : huella ecológica expresada como hag/comida  
 $h_c$ : 8 horas/comida  
 $N_h$ : número total de horas trabajadas

Como existirán varios tipos de huella, será necesario hacerlo para cada una de ellas.

Para poder determinar la HE expresada en hag/comida, tendremos que determinar en primer lugar los tipos de superficie que consumen cada uno de los alimentos que se recogían en la tabla 22 de la parte teórica. Dichos tipos aparecen en la tabla 13. Además, cada uno de esos alimentos generará huella de origen fósil asociada a la elaboración de los alimentos a partir de las materias primas.

Alimentos	Porcentaje	Superficie
Carnes	25	Pastos
Pescados	25	Mar productivo
Cereales	12	Tierras agrícolas
Bebidas	10	Tierras agrícolas
Legumbres y patatas	8	Tierras agrícolas
Dulces	6	Tierras agrícolas
Aceites	5	Tierras agrícolas
Lácteos	5	Pastos
Café/Té	4	Tierras agrícolas

Tabla 13: Tipos de territorio productivo

Tendremos, por tanto, cuatro tipos de huella:

- Huella de origen fósil: generada por todos los alimentos, ya que requieren algún tipo de elaboración, o como en el caso del pescado consumimos combustible para su captura. Se traduce en territorio para la absorción de CO<sub>2</sub>.
- Huella de pastos: la genera la carne y los lácteos.
- Territorio agrícola: cereales, bebidas, patatas, dulces, aceites y café.
- Mar productivo: área para producir pescado y marisco.

Es decir, que la HE expresada como hag/comida vendrá dada por cuatro expresiones, cada una definida por el tipo de huella que genera.

La dificultad estriba en que el consumo de alimentos viene definido por los porcentajes de la tabla 13, que están referidos al coste medio de una comida. Para poder transformar esos datos en toneladas, nos apoyamos en la tabla 22 de la parte teórica, donde tenemos datos del peso en toneladas por cada 1.000 €. Como estamos suponiendo que en la jornada laboral sólo hay una comida, hay que suponer un coste medio de esa comida.

La hipótesis es que ese coste medio es de **10 €**.

Por tanto, como la conversión de € a toneladas está dada por cada 1.000 €, aplicaremos un factor de corrección de  $10/1000=0,01$  para poder obtener los costes en toneladas de nuestro menú.

Con esa información vamos a determinar la expresión de cada una de las huellas.

Para el caso de la huella fósil, tendremos que contabilizar todos los alimentos. Partimos de la expresión siguiente:

$$HE_{cf} = \frac{C * IE}{Pc} * FE_B \quad (4)$$

Donde:

$HE_{cf}$ : HE fósil (hag/comida)

C: consumo (t)

IE: intensidad energética (GJ/t)

Pc: productividad petróleo (GJ/ha)

$FE_B$ : factor de equivalencia de los bosques

Y con las hipótesis hechas, la expresión para el caso de estudio sería:

$$HE_{cf} = \frac{Cs}{1000} \left[ \sum_i \frac{\%alim_i}{100} * C_i * IE_i \right] \frac{FE_B}{Pc} \quad (5)$$

Cada uno de los factores considerados sería:

- Huella de pastos: la genera la carne y los lácteos.
- % alim<sub>i</sub>: el porcentaje del presupuesto que representa cada uno de los alimentos de la tabla 13
- C<sub>i</sub>: los consumos en toneladas por cada 1.000 € recogidos en la tabla 22 de la parte teórica.
- IE<sub>i</sub>: las intensidades energéticas recogidas la tabla 21 de la parte teórica.
- $FE_B$ : consideramos un factor de equivalencia de bosques de 1,34.
- Prod.petróleo (Pc): la productividad del petróleo es de 71 GJ/ha.

Para el caso de las otras huellas, partiremos de los datos de productividad natural. Distinguiremos entre los tres tipos de superficie consumidas: pastos, cultivos y mar.

Cada una de esas huellas se determinará aplicando las siguientes fórmulas:

$$HE_{cpa} = \frac{C}{Pn} * FE_P \quad (6)$$

Donde:

$HE_{cpa}$ : huella ecológica de pastos (hag/comida)

C: consumo (t)

Pn: productividad natural (t/ha)

$FE_P$ : factor de equivalencia de los pastos

Y al igual que para el caso anterior, los consumos se expresarán de la siguiente forma:

$$HE_{cpa} = \frac{Cs}{1000} \left[ \sum_i \frac{\%alim_i * C_i}{Pn_i} \right] * FE_p \quad (7)$$

Los factores considerados son:

- Coste (Cs): hemos considerado un coste por menú de 10 €.
- % alim<sub>i</sub>: el porcentaje del presupuesto que representa cada uno de los alimentos de la tabla 13 que pertenecen a pastos. En este caso, carnes y lácteos.
- C<sub>i</sub>: los consumos en toneladas por cada 1.000 € recogidos en la tabla 22 de la parte teórica.
- Pn<sub>i</sub>: las productividades naturales recogidas la tabla 21 de la parte teórica.
- FE<sub>p</sub>: consideramos un factor de 0,49. Procede de la tabla 3 de la parte teórica, y viene recogido en dicha tabla como tierras de pastoreo permanentes.

Para el caso de los alimentos procedentes del mar:

$$HE_{cm} = \frac{C}{Pn} * FE_M \quad (8)$$

Donde:

HE<sub>cm</sub>: huella ecológica del mar (hag/comida)  
 C: consumo (t)  
 Pn: productividad natural (t/ha)  
 FE<sub>M</sub>: factor de equivalencia del mar

Siendo la expresión detallada:

$$HE_{cm} = \frac{Cs}{1000} \left[ \sum_i \frac{\%alim_i * C_i}{Pn_i} \right] * FE_M \quad (9)$$

Los factores considerados son:

- % alim<sub>i</sub>: el porcentaje del presupuesto que representa cada uno de los alimentos de la tabla 13 que pertenecen al mar productivo. En este caso, pescado.
- C<sub>i</sub>: los consumos en toneladas por cada 1.000 € recogidos en la tabla 22 de la parte teórica.
- Pn<sub>i</sub>: las productividades naturales recogidas la tabla 21 de la parte teórica.
- FE<sub>M</sub>: consideramos un factor de 0,36. Procede de la tabla 3 de la parte teórica, y viene recogido en dicha tabla como aguas continentales o marinas.

Por último, para el caso de los alimentos cultivados:

$$HE_{cc} = \frac{C}{P_n} * FE_C \quad (10)$$

Donde:

$HE_{cc}$ : huella ecológica de los cultivos (hag/comida)

C: consumo (t)

$P_n$ : productividad natural (t/ha)

$FE_C$ : factor de equivalencia de los cultivos

$$HE_{cc} = \frac{Cs}{1000} \left[ \sum_i \frac{\%alim_i * C_i}{P_{n_i}} \right] * FE_C \quad (11)$$

Los factores considerados son:

- $\%alim_i$ : el porcentaje del presupuesto que representa cada uno de los alimentos de la tabla 13 que pertenecen a cultivos. En este caso, cereales, bebidas, legumbres/patatas, dulces, aceites y café.
- $C_i$ : los consumos en toneladas por cada 1.000 € recogidos en la tabla 22 de la parte teórica.
- $P_{n_i}$ : las productividades naturales recogidas la tabla 21 de la parte teórica.
- $FE_C$ : consideramos un factor de 2,21. Procede de la tabla 3 de la parte teórica, y viene recogido en dicha tabla como principales tierras agrícolas.

Debemos recordar que la mano de obra empleada corresponde a la del Presupuesto Global Pg, por lo que incluye la correspondiente a los costes indirectos.

#### 4. Parámetros para la determinación de la huella de movilidad

Para el estudio de la movilidad de los operarios partiremos del coste total de la mano de obra en horas determinado en el punto anterior.

A continuación, se hará hipótesis de tipo de desplazamiento, suponiendo que la huella de movilidad viene originada por los desplazamientos de vehículos privados desde el punto origen hasta la obra. Al considerarse que la obra está situada en zonas alejadas de núcleos urbanos, planteamos como hipótesis de desplazamiento medio una distancia de 30 km (15 ida y 15 vuelta).

La ocupación media por vehículo será de 4 individuos.

Para los desplazamientos hay que conocer el número de trabajadores de la obra, por lo que habrá que hacer hipótesis de duración de la obra. Tal como se ha afirmado al principio de este apartado, esta obra tendrá una duración estimada de 12 meses.



Para obtener la duración total de la obra en horas tendremos que emplear la siguiente expresión:

$$D = d * h_e \quad (12)$$

Donde:

D: duración obra en horas por trabajador

d: duración de la obra en años. La hipótesis de duración es de 1 año.

$h_e$  : horas efectivas trabajadas al año por cada trabajador.

Según el estudio de costes horarios de mano de obra elaborado según el convenio colectivo de la construcción de 2007 para Andalucía<sup>199</sup>, las horas efectivas trabajadas al año fueron **1.533**.

Es decir, que  $h_e$  será en nuestro caso 1.533 horas/año.

Con la expresión anterior podemos obtener el número de trabajadores de la obra:

$$N_t = \frac{N_h}{D} \quad (13)$$

Donde:

$N_t$ : número de trabajadores

$N_h$ : número total de horas trabajadas

D: duración de la obra en horas

El número de vehículos empleado en la obra sería:

$$N_v = \frac{N_t}{O} \quad (14)$$

Donde:

$N_v$ : número de vehículos empleados en la obra

O: ocupación media por vehículo. Se considera ocupación media de 4 individuos por vehículo.

Y para obtener la distancia total recorrida:

$$D_t = N_v * d_m \quad (15)$$

Donde:

$D_t$ : distancia total recorrida (km)

$d_m$ : distancia media recorrida por cada vehículo (km). Esa distancia será 15+15=30 km

---

<sup>199</sup> Memoria de la Base de Costes de la Construcción de Andalucía 2008. Base de Costes de la Construcción de Andalucía 2008. Consejería de Obras Públicas y Transportes. Junta de Andalucía. Página web: [http://www.juntadeandalucia.es/viviendayordenaciondelterritorio/www/jsp/estatica.jsp?pma=0&pmsa=0&e=planificacion/publicaciones/banco\\_precios\\_construccion/bcca08/bcca08.html](http://www.juntadeandalucia.es/viviendayordenaciondelterritorio/www/jsp/estatica.jsp?pma=0&pmsa=0&e=planificacion/publicaciones/banco_precios_construccion/bcca08/bcca08.html).

Para obtener el consumo de combustible, supondremos vehículo de gasolina, y emplearemos la tabla 24 de la parte teórica. Con ese dato, el procedimiento a seguir será el mismo que para el caso de la huella energética visto en apartados anteriores. Habrá que contabilizar al igual que en aquel caso, un 10% extra para mantenimiento, además de los costes indirectos no considerados aún.

## 5. Parámetros para la determinación de la huella de materiales de construcción

En este caso partiremos de los datos proporcionados por las mediciones del proyecto, ya que aportan información del consumo de materiales en peso, mientras que las fórmulas polinómicas proporcionan información sobre el presupuesto de ejecución, y además, de un número restringido de materiales.

Con esa premisa, emplearemos la fórmula que ya se comentó en la parte teórica:

$$HE = \frac{\sum_i C_{m_i} * E_{im_i}}{P_c} \quad (16)$$

Donde:

HE: huella ecológica (ha)

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

$E_{im_i}$ : energía incorporada del material (MJ/kg)

$P_c$ : productividad energética del petróleo (MJ/ha)

Donde los valores de energía incorporada proceden de la tabla 32 de la parte teórica y la productividad del petróleo es de 71.000 MJ/ha. Los materiales que se considerarán dependerán de cada proyecto. En el siguiente apartado se relacionarán los que empleamos para este caso<sup>200</sup>.

Para obtener la superficie en ha multiplicaremos el valor de arriba por el factor de equivalencia 1,34<sup>201</sup>.

El cálculo de los costes indirectos se integrará en el Presupuesto global Pg.

## 6. Parámetros para la determinación de la huella de los residuos

Como se comentó en el apartado correspondiente, consideraremos cinco flujos de residuos en la obra: residuos orgánicos, residuos de papel, de plástico, de vidrio y RCD. Los 4 primeros pertenecen a los denominados RSU, mientras que el quinto son los residuos de construcción propiamente dichos.

Para conocer el peso de cada una de las corrientes, separaremos por un lado los RSU y por otro los RCD.

Para los RSU, será necesario conocer la generación media por individuo. Ese dato procedía de la figura 30 de la parte teórica, y se cifraba en 0,516 t.

200 Si consideráramos las fórmulas polinómicas para el caso de estudio obtendríamos información de: cemento, acero, madera y cerámica.

201  $FE_g$ , factor de equivalencia para los bosques.

Por tanto: Generación media de RSU (trabajador y año): 0,516 t.

Para obtener el peso total de RSU generado en la obra:

$$P_{RSU} = G_{RSU} * N_t * d \quad (17)$$

Donde:

$P_{RSU}$ : peso total RSU (t)  
 $G_{RSU}$ : generación media RSU (t/trabajador/año)  
 $N_t$ : número de trabajadores  
 $d$ : duración de la obra (años)

Donde los datos de número de trabajadores y duración de la obra se obtienen del apartado de movilidad.

Para obtener el peso de cada una de las corrientes de RSU, nos apoyamos en la tabla 14:

RSU	Porcentaje
Materia orgánica	44
Papel	21
Plásticos	11
Vidrio	7

Tabla 14: Porcentajes en peso de las fracciones representativas de RSU

Por ejemplo, para el caso de la materia orgánica:

$$C_{mo} = mo * P_{RSU} \quad (18)$$

Donde:

$C_{mo}$ : consumo de materia orgánica (t)  
 $mo$ : porcentaje de materia orgánica  
 $P_{RSU}$ : peso total de RSU (t)

Donde el porcentaje de materia orgánica procede de la tabla 14. Idéntico razonamiento para el papel, plástico y vidrio.

Para los RCD, la determinación del peso se hará mediante software<sup>202</sup> (figura 31 parte teórica). Consideraremos un único tipo de RCD, por lo que tendremos que hacer hipótesis de densidad media

202 Ramírez de Arellano Agudo, A., Solís Guzmán J., Pérez Monge J., 2008. Generación de RCD versión 2.0 (Software de Evaluación de RCD para Tramitación de Licencias Municipales). Universidad de Sevilla, España.

de los RCD, para transformar los resultados del software, que están en m<sup>3</sup>, a t.

La expresión a utilizar será:

$$C_{RCD} = V * \rho \quad (19)$$

Donde:

$C_{RCD}$ : consumo de RCD (t)

V: volumen RCD (m<sup>3</sup>)

$\rho$  : densidad media RCD (t/m<sup>3</sup>)

Donde el volumen vendrá calculado mediante el software. Para la densidad media habrá que suponer un valor que suele considerarse en el rango 0,5-1,5 t/m<sup>3</sup>.

Las fórmulas que emplearemos para obtener la huella de cada una de las fracciones nos exigen determinar previamente índices de conversión de cada uno de los residuos comentados. Dichos índices se obtendrán de la expresión recogida del capítulo correspondiente de la parte teórica.

$$IC_{RNP_xp} = \frac{IE_x}{PE} * \left(1 - \frac{\%R_x}{100} * \frac{\%SE_x}{100}\right) * FE_F \quad (20)$$

Donde cada uno de esos términos es:

$IC_{RNP_xp}$ : índice de conversión ponderado del residuo no peligroso X (hag/t)

$IE_x$ : intensidad energética de producción del material del que está fabricado el residuo (tabla 36 parte teórica).

PE: productividad energética del residuo (se asume que es igual a la de los combustibles fósiles). Por tanto, será 71 GJ/ha y año.

$\%R_x$ : porcentaje de reciclaje de x. Nos basaremos en los datos de la tabla 34 de la parte teórica, para el caso de los residuos urbanos, y el dato del 15% para los RCD.

$\%SE_x$ : porcentaje estimado de energía recuperada por el reciclaje. Empleamos la tabla 35 de la parte teórica.

$FE_F$ : factor de equivalencia de la energía fósil.

Por lo tanto, tendremos  $IC_{organico}$ ,  $IC_{papel}$ ,  $IC_{pástico}$ ,  $IC_{vidrio}$  e  $IC_{RCD}$  (todos son índices ponderados).

La expresión indicada arriba servirá para todas las corrientes salvo para el papel, ya que incluye la huella por bosque, por lo que a los términos anteriores habrá que añadir otros, quedando su expresión de la siguiente forma:

$$IC_{papel} = \frac{IE_{papel}}{PE} * \left(1 - \frac{\%R_{papel}}{100} * \frac{\%SE_{papel}}{100}\right) * FE_F + \frac{1}{Pn} * \left(1 - \frac{\%R_{papel}}{100} * 0,8\right) * FE_B \quad (21)$$

Donde cada uno de esos términos es:

$P_n$ : productividad natural del papel. Se considera 1,01 t/ha y año<sup>203</sup>.

0,8 sería el factor de corrección análogo al SE de la fórmula anterior, que de alguna manera mide la productividad que puedo recuperar con el papel reciclado (alrededor del 80%).

$FE_B$ : factor de equivalencia del bosque (idéntico a  $FE_F$ )

Finalmente, la expresión que usaremos para la determinación de la huella será:

$$HE_{pr} = \sum_i IC_{RNP_{ip}} * C_i \quad (22)$$

Donde:

$HE_{pr}$ : huella ecológica ponderada de los residuos (hag)

$IC_{RNP_{ip}}$ : índice de conversión ponderado (hag/t)

$C_i$ : consumo (t)

Donde  $i$  será cada una de las corrientes de residuos.

## 7. Parámetros para la determinación de la huella de superficie construida

En este apartado únicamente tendremos que conocer la superficie consumida de edificación y urbanización de nuestro proyecto de estudio.

$$HE_{ps} = S * FE_{sc} \quad (23)$$

Donde:

$HE_{ps}$ : huella ecológica ponderada de ocupación directa (hag)

$S$ : superficie consumida (ha)

$FE_{sc}$ : factor de equivalencia de la superficie construida

---

203 Domenech Quesada J.L., 2007. Huella Ecológica y Desarrollo Sostenible. AENOR. Madrid, España.

## Cálculo de la huella

### 1. Determinación del presupuesto global

El primer dato que necesitaremos será el PEM. Se tendrá en cuenta tanto el del PE como el del PU. Los resultados se recogen en la tabla siguiente:

PEM edificación	5.676.688,92 €
PEM urbanización	271.966,04 €
<b>PEM total</b>	<b>5.948.654,96 €</b>

Tabla 15: PEM de la obra de edificación y urbanización

Sin embargo, el Presupuesto debe ser ajustado a la BCCA. Según dicha premisa, el presupuesto de Costes Directos sería:

CDE edificación	5.067.139,67 €
CDE urbanización	187.613,37 €

Tabla 16: CDE de la obra de edificación y urbanización según BCCA 2008

El siguiente paso será determinar el Presupuesto real de Costes Indirectos.

Para ello es necesario hacer hipótesis generales del tipo de obra:

- Obra de nueva planta con urbanización
- Acceso a la obra sin dificultades
- Bloques aislados (dos bloques de cuatro plantas)
- Calidad social
- Superficie construida total 16.000 m<sup>2</sup> aprox.

Otras hipótesis consideradas:

- Se emplearán dos grúas durante 8 meses cada una
- Montacargas: dos durante 4 meses
- Caseta de 20 m<sup>2</sup>
- Almacén de 80 m<sup>2</sup>

En la tabla 17 se enumeran el resto de hipótesis de organización y los costes que generan:

CÓDIGO	CONCEPTO	UD.	CANTIDAD	PRECIO	IMPORTE
<b>C12</b>	<b>COSTES INDIRECTOS DE EJECUCIÓN</b>				<b>380.726,02</b>
<b>C121</b>	<b>MANO DE OBRA INDIRECTA</b>				<b>109.716,72</b>
C1211	Encargado	mes	12	2.805,53	33.666,36
C1212	Capataces	mes	12	2.437,50	29.250,00
C1213	Almaceneros	mes	6	2.437,50	14.625,00
C1214	Guardas	mes	6	2.681,28	16.087,68
C1215	Listeros	mes	6	2.681,28	16.087,68
C1216	Otros				0,00
<b>C122</b>	<b>MEDIOS AUXILIARES</b>				<b>193.760,02</b>
<b>C1221</b>	<b>Personal Auxiliar</b>				<b>78.560,00</b>
C12211	Pernal. tpte. interno materiales y residuos	m2	16.000	1,66	26.560,00
C12212	Pernal. limpieza, regado y vertido	m2	16.000	2,56	40.960,00
C12213	Recogida y tpte. útiles y herramtas.	m2	16.000	0,69	11.040,00
C12214	Otros				0,00
<b>C1222</b>	<b>Materiales Auxiliares</b>				<b>2.560,00</b>
C12221	Pasta fijación reglas	m2	16.000	0,04	640,00
C12222	Materiales peldaños provisionales	m2	16.000	0,08	1.280,00
C12223	Materiales para replanteos	m2	16.000	0,04	640,00
<b>C1223</b>	<b>Maquinaria, Útiles y Herramientas</b>				<b>112.640,02</b>
C12231	Medios de elevación				80.151,02
C122311	Grúas con gruista	mes	16	3.977,53	63.640,48

C122312	Montaje y desmontaje grúas	u	2	5.703,63	11.407,26
C122313	Montacargas	mes	8	637,91	5.103,28
C12232	Hormigoneras				0,00
C12233	Cortadoras y dobladoras	mes			0,00
C12234	Andamios	m2	16.000	0,56	8.960,00
C12235	Herramientas	m2	16.000	1,32	21.120,00
C12236	Otras máquinas	mes	12	200,75	2.409,00
<b>C123</b>	<b>INSTALACIONES ACCESORIAS Y COMPLEMENTARIAS</b>				<b>13.653,48</b>
C1231	Casetas de obra				10.665,60
C12311	Oficinas	m2.mes	240	9,64	2.313,60
C12312	Almacenes	m2.mes	960	8,70	8.352,00
C1232	Acometidas y tendidos	u	1	2.188,31	2.188,31
C1233	Viales, Localizaciones y replant.	u	1	799,57	799,57
C1234	Otros				0,00
<b>C124</b>	<b>PERSONAL</b>				<b>63.595,80</b>
C1241	Técnicos adscritos a la obra	mes	12	3.212,05	38.544,60
C1242	Administrativos	mes	12	2.087,60	25.051,20
C1243	Otros				0,00

Tabla 17: Presupuesto real de Costes Indirectos según BCCA<sup>204</sup>

Por tanto,  $P_{\text{indirectos}} = 380.726,02 \text{ €}$ .

Nos faltaría por determinar el Presupuesto de los Estudios de Seguridad y Salud. Se haría siguiendo la estructura del BCCA.

Para nuestro caso:

Presupuesto de Seguridad y Salud para la edificación: 51.867,43 €

Presupuesto de Seguridad y Salud para la urbanización: 938,07 €

Aproximadamente,  $P_{\text{ss}}$  edificación representa el 1% de CDE de la edificación y  $P_{\text{ss}}$  urbanización el 0,5% del CDE de la urbanización.

204 Memoria de la Base de Costes de la Construcción de Andalucía 2008. Base de Costes de la Construcción de Andalucía 2008. Consejería de Obras Públicas y Transportes. Junta de Andalucía. Página web: [http://www.juntadeandalucia.es/viviendayordenaciondelterritorio/www/jsp/estatica.jsp?pma=0&pmsa=0&e=planificacion/publicaciones/banco\\_precios\\_construccion/bcca08/bcca08.html](http://www.juntadeandalucia.es/viviendayordenaciondelterritorio/www/jsp/estatica.jsp?pma=0&pmsa=0&e=planificacion/publicaciones/banco_precios_construccion/bcca08/bcca08.html).



El Presupuesto global que consideraremos será:

$$Pg = CDE_{edif} + CDE_{urbaniz} + P_{indirectos} + P_{ss} \quad (1)$$

Donde:

Pg: Presupuesto global

$CDE_{edif}$ : Coste Directo de Ejecución de la obra de edificación según BCCA.

$CDE_{urbaniz}$ : Coste Directo de Ejecución de la obra de urbanización según BCCA.

$P_{indirectos}$ : Presupuesto real de Costes Indirectos, según BCCA.

$P_{ss}$ : Presupuesto del Estudio de Seguridad y Salud, según BCCA.

CDE edificación	5.067.139,67 €
CDE urbanización	187.613,37 €
P indirectos	380.726,02 €
PSS edificación	51.867,43 €
PSS urbanización	938,07 €
<b>Presupuesto global</b>	<b>5.688.284,55 €</b>

Tabla 18: Resumen del Presupuesto global de la obra

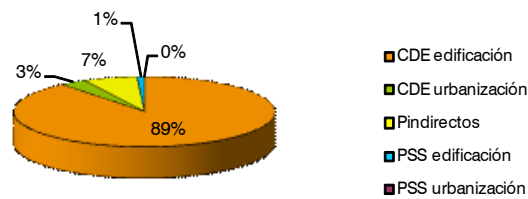


Figura 6: Reparto del Presupuesto Global

El presupuesto desglosado se encuentra en los anexos correspondientes.

## 2. Huella energética

Usamos el Presupuesto Global Pg para aplicarle la fórmula polinómica corregida (tabla 12), obteniéndose los siguientes resultados:

	h	e	c	s	m	Cr
<b>Factor</b>	0,42	0,09	0,14	0,14	0,08	0,12
<b>Consumo (€)</b>	2.409.155,81	535.367,96	803.051,94	803.051,94	468.446,96	669.209,95

Tabla 19: Fórmulas polinómicas para nuestra obra

$Pg = 5.688.284,55 €$ .

Energía = 9% de Pg = 535.367,96 €.

Por tanto, el consumo de energía ascendería a 535.367,96 €

Una vez determinado el consumo energético, calcularemos el consumo de combustible asociado a la maquinaria de la obra.

El primer dato que necesitamos es el coste actualizado del combustible empleado, en esta caso gasóleo A, cuya información procede de los datos suministrados por CORES<sup>205</sup>, que cifró el coste medio del combustible para el año 2008 en **114,14 c€/litro** (ver figura 7).

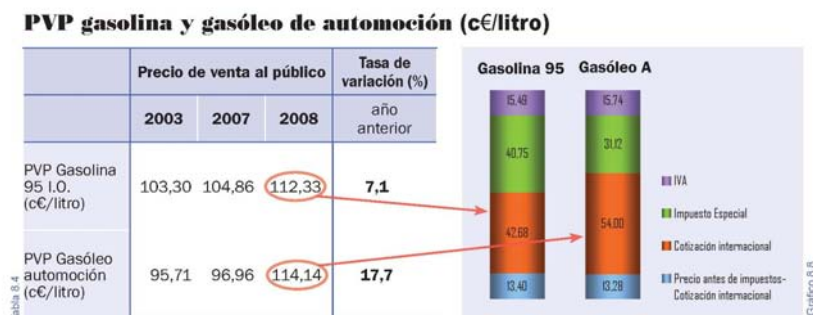


Figura 7: Evolución de los precios de venta del gasóleo en España

Habrá que determinar ahora el consumo de maquinaria y el coste horario de la misma. En primer lugar determinamos, mediante las mediciones y el presupuesto el consumo de maquinaria correspondiente al proyecto. Los resultados fueron los siguientes<sup>206</sup>:

	Horas	Coste euros/h	Coste euros
Pala cargadora	272,29	23,87	6.499,56
Camión basculante	1.298,44	25,60	33.240,06
Retroexcavadora	40,93	34,98	1.431,73
Camión cisterna	0,74	30,30	22,42
Rulo vibratorio	178,00	23,28	4.143,84
Pisón mecánico manual	311,09	3,01	936,38
Vibrador	796,75	1,51	1.203,09
Equipo Pantalla y grúa auxiliar (u)	487,63	184,15	89.797,06
Compresor dos martillos	285,92	6,35	1.815,59
Pantalla P.P. Trans.mont y desm.equipos (m²)	1.956,86	13,55	26.515,45
Compresor proyector	787,80	2,67	2.103,43
<b>Total</b>	<b>6.416,450</b>		<b>167.708,629</b>

Tabla 20: Consumo de maquinaria asociado al CDE edificación

205 Corporación de Reservas Estratégicas de Productos Petrolíferos. Informe resumen anual del Boletín Estadístico de Hidrocarburos. Año 2008. [http://www.cores.es/pdf/libromemoriacores\\_140709.pdf](http://www.cores.es/pdf/libromemoriacores_140709.pdf)

206 El coste de la maquinaria viene en €/h, salvo en aquellas máquinas que especifiquen lo contrario.

	Horas	Coste euros/h	Coste euros
Camión basculante	113,43	25,60	2.903,76
Retroexcavadora	59,74	34,98	2.089,60
Motoniveladora	46,15	45,11	2.081,89
Bituminadora/extendedora	23,08	134,68	3.107,84
Rulo vibratorio	82,51	23,28	1.920,79
Pala cargadora	97,54	23,87	2.328,28
Pisón mecánico manual	489,80	3,01	1.474,28
Camión cisterna	5,53	30,30	167,67
Máquina automóvil marcar viales 3 bandas y 3 CV	30,54	16,84	514,31
<b>Total</b>	<b>948,31</b>		<b>16.588,42</b>

Tabla 21: Consumo de maquinaria asociado al CDE urbanización

	Unidad	Cantidad	Precio	Coste euros
Grúas con gruista	mes	16,00	3.977,53	63.640,48
Montacargas	mes	8,00	637,91	5.103,28
Otras máquinas	mes	12,00	200,75	2.409,00
<b>Total</b>				<b>71.152,76</b>

Tabla 22: Consumo de maquinaria asociado a los costes indirectos

Maquinaria edificación	167.708,63 €
Maquinaria urbanización	16.588,42 €
Maquinaria indirectos	71.152,76 €
<b>Total</b>	<b>255.449,81 €</b>

Tabla 23: Presupuesto global de maquinaria de nuestra obra

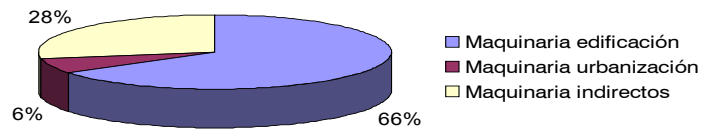


Figura 8: Resumen del coste de la maquinaria

Calcularemos la huella del consumo de combustible de la maquinaria siguiendo el análisis que se hizo en la parte teórica:

1. Cálculo del consumo de combustible (en litros): Generalmente se empleará gasoil A.
2. Aplicar factor de conversión para transformarlo en unidades de energía (julios). Empleamos la siguiente expresión: Intensidad energética combustible=35 MJ/litro combustible.
3. Definido el consumo en GJ, la expresión para el cálculo de la huella será:

$$HE_{pc} = \frac{C}{Pc} * FE_B \quad (24)$$

Donde:

- HE<sub>pc</sub>: huella ecológica ponderada del consumo de combustible (hag)
- C: consumo (GJ)
- Pc: productividad del combustible (GJ/ha)
- FE<sub>B</sub>: factor de equivalencia de los bosques (hag/ha)

Donde emplearemos la productividad del petróleo, que actualmente es de 71 GJ/ha, y el factor de equivalencia es 1,34.

En la siguiente tabla se muestran los resultados:

<b>Maquinaria (€)</b>	<b>255.449,808</b>
Coste gasoil A (€/l)	1,141
Mantenimiento (10%)	1,100
Factor de conversión (MJ/l)	35,000
Productividad energética (MJ/ha)	71.000,000
HE consumo combustible (ha)	158,105
Factor equivalencia (hag/ha)	1,340
<b>HE consumo combustible (fósil) (hag)</b>	<b>211,861</b>

Tabla 24: Huella ecológica de nuestra obra correspondiente a la maquinaria

Una vez definido el consumo de combustible, el consumo de electricidad podría obtenerse (en euros) de la expresión:

$$\boxed{\text{Consumo ener. eléctrica} = \text{Consumo ener. total} - \text{Consumo comb}} \quad (2)$$

Por tanto:

$$\text{Consumo ener. eléctrica} = 535.367,96 - 255.449,81 = \mathbf{279.918,15 \text{ €}}$$



Figura 9: Porcentajes sobre el presupuesto de energía total

El dato del consumo de energía eléctrica en kWh se obtendrá a partir del modelo de facturación de la electricidad en España.

Emplearemos, para nuestro cálculo, la tarifa TUR<sup>207</sup>, instaurada a partir de 2009 en toda España, y seguiremos el modelo de factura de la empresa suministradora<sup>208</sup>.

Para el cálculo del consumo emplearemos la siguiente expresión:

$$\boxed{C_{s_{ee}} = \frac{1}{C_w} \left[ \frac{C_{s_t} + A + P_e(1+I)}{(1+I)} \right]} \quad (25)$$

Donde

$C_{s_{ee}}$ : coste energía eléctrica en kWh

$C_w$ : coste del kWh (€/kWh). Es un valor constante, que en el año 2009 era de 0,11473 €/kWh.

$C_{s_t}$ : coste total de la energía eléctrica en euros (sin IVA<sup>209</sup>). Es el valor que se obtiene a partir del consumo de energía total y del consumo total de combustible.

A: coste alquiler del equipo (€) =  $T \cdot 0,019726$ , donde T es la duración de la obra en días. La constante se mide en €/día.

$P_e$ : potencia (€): es el producto de tres términos: potencia contratada (5,75 kW<sup>210</sup>), T y el coste de la potencia contratada (parámetro fijo, cuyo valor es 0,055075 €/kW).

I: impuesto de electricidad (adimensional). Es un parámetro fijo:  $1,05113 \cdot (4,864/100)$

207 Tarifa de último Recurso

208 ENDESA

209 El IVA de la electricidad para el año 2009 era del 16%

210 Se ha considerado como hipótesis que 5,75 kW es la potencia contratada

En la tabla siguiente tendríamos el resultado del consumo en kWh:

Coste del kWh $C_w$ (€/kWh)	0,11473
<b>Coste total energ. Elec (€)</b>	<b>279.918,15</b>
Duración obra T (días)	365
Coste alquiler (€/día)	0,019726
Alquiler equipo A (coste*numero días)	7,20
Potencia contratada (kW)	5,75
Coste potencia contratada (€/kW)	0,055075
Coste potencia contratada $P_e$ (€)	115,59
Impuesto electricidad I	0,05113
<b>Coste energía eléctrica (kWh)</b>	<b>2.322.194,11</b>

Tabla 25: Datos necesarios para el cálculo del coste de la energía eléctrica en kWh

La obtención de la huella de la energía eléctrica requerirá, en primer lugar, conocer el origen de la energía eléctrica en España (tabla 26<sup>211</sup>), cuya información procede de la base de datos del Ministerio de Industria (tabla 7, parte teórica). Sólo se considerará, tal y como se explicó en el apartado correspondiente de la parte teórica, la huella procedente de combustibles fósiles y de la energía nuclear.

Tipo de generación	Porcentaje
<i>Térmicas fósiles</i>	62,2
Carbón	23,9
Petróleo	6,8
Gas natural	31,5
<i>Nuclear</i>	17,7
Total	79,9

Tabla 26: Origen de la energía eléctrica en España

211 Todas las tablas empleadas para el cálculo de la energía eléctrica proceden del apartado similar de la parte teórica

Después haremos uso de los datos de productividad energética (tabla 16, parte teórica)

Fuentes de energía	Productividad energética (GJ/ha)
<i>Fósiles</i>	
Carbón	55
Petróleo	71
Gas natural	93
<i>Nuclear</i>	71

Tabla 27: Productividad energética

Y por último usaremos los datos de factor de eficiencia (tabla 9, parte teórica)

Tipo de generación	Factor eficiencia
Carbón	0,3
Petróleo	0,3
Gas natural	0,3
Nuclear	0,3

Tabla 28: Factor de eficiencia para producción de electricidad

La fórmula a emplear será:

$$HE_{pee} = \sum_i \frac{C_i}{PE_i \text{ (GJ/ha)}} * FE_B \quad (26)$$

Donde:

$HE_{pee}$ : Huella ecológica ponderada del consumo de energía eléctrica (hag)

$C_i$ : Consumo de energía primaria (GJ)

$PE_i$ : Productividad energética (GJ/ha)

$FE_B$ : factor de equivalencia de los bosques

Los consumos proceden del consumo de energía primaria aplicada a cada una de las fuentes, al igual que la productividad energética. El factor de equivalencia es 1,34.

El procedimiento de cálculo empleado sería:

1. Transformación de los consumos calculados (kWh) a GJ, empleando el factor de conversión de unidades:

$$1\text{kWh}=0,0036 \text{ GJ}$$

2. Aplicar los rendimientos indicados (eficiencia del 30%) para obtener los consumos de energía primaria

$$0,0036/0,3=0,0120 \text{ GJ/kWh}$$

3. Cálculo de la huella para cada una de las fuentes de energía consideradas<sup>212</sup>, mediante la expresión de la fórmula 26:

Veamos uno de los casos, por ejemplo el carbón:

$$C_{\text{carbón}} \text{ (GJ)}=0,0120 \cdot C_{\text{ee}} \cdot 0,239$$

Donde:

0,0120: factor de conversión para transformar el consumo de energía eléctrica (en kWh) en consumo de energía primaria (en GJ).

$C_{\text{ee}}$ : coste energía eléctrica en kWh. Calculado en la tabla 25.

0,239: porcentaje de la energía eléctrica que procede de centrales térmicas de carbón (tabla 26).

Una vez obtenido el consumo procedente del carbón dividimos por su productividad energética. En este caso, 55 GJ/ha (tabla 27).

Idéntico análisis se haría para las otras fuentes que aparecen en la tabla 26.

Los resultados se recogen en la tabla resumen:

<b>Coste energía eléctrica (kWh)</b>	<b>2.322.194,11</b>
Factor conversión	0,0036
<b>Coste energía eléctrica (GJ)</b>	<b>8.359,8988</b>
Rendimiento instalaciones	0,30
<b>Coste energía primaria (GJ)</b>	<b>27.866,3293</b>
Factor equivalencia	1,34
<b>Huella energía eléctrica (fósil) (hag)</b>	<b>417,593</b>

Tabla 29: Huella ecológica correspondiente a la energía eléctrica

<sup>212</sup> Carbón, petróleo, gas natural y energía nuclear.



### 3. Huella vinculada al suministro de agua

La determinación del consumo de agua se hará partiendo de la información del coste de suministro de agua de la empresa suministradora. En el siguiente cuadro están los datos fundamentales de la misma:

<b>Tarifas no domésticas. EMASESA 2009</b>		
Consideramos uso industrial y comercial		
<b>Conceptos variables (en función del consumo)</b>		
Abastecimiento (€/m3)	Vertido (€/m3)	Depuración(€/m3)
0,598	0,233	0,264
<b>Canon (Conceptos variables en función del consumo)</b>		
<i>Canon de mejora</i>		
Abastecimiento (€/m3)		Depuración(€/m3)
0,096		0,084
<i>Canon provincial</i>		
Abastecimiento (€/m3)		
0,100		
<b>Conceptos fijos (por disponibilidad de los servicios)</b>		
Consideramos calibre del contador 25 mm		
Abastecimiento (€/mes)	Vertido (€/mes)	Depuración(€/mes)
12,137	2,455	2,455

Tabla 30: Datos fundamentales de la factura del consumo de agua (EMASESA 2009)

Como se observa en la tabla anterior, para la determinación de los conceptos fijos necesitamos conocer la duración de la obra, que será una hipótesis a plantear. La fórmula que emplearemos para determinar el volumen de agua consumida ( $m^3$ ) será la siguiente:

$$V = \frac{Cs_{ta} - T^*(A_f + V_f + D_f)}{A_{co} + A_{ca} + V_{co} + D_{co} + D_{ca}} \quad (27)$$

Donde:

V: volumen ( $m^3$ )

$Cs_{ta}$ : coste total en euros del consumo de agua (sin IVA<sup>213</sup>), obtenido a partir de la interpolación con obras de similares características.

<sup>213</sup> El IVA del consumo de agua para el año 2009 fue del 7%

- T: duración de la obra (en meses)  
 $A_f$ : concepto fijo de abastecimiento (€/mes)  
 $V_f$ : concepto fijo de vertido  
 $D_f$ : concepto fijo de depuración (€/mes)  
 $A_{co}$ : concepto variable de abastecimiento en función del consumo (€/m<sup>3</sup>)  
 $A_{ca}$ : concepto variable de abastecimiento para canon de mejora y provincial (€/m<sup>3</sup>)  
 $V_{co}$ : concepto variable de vertido en función del consumo (€/m<sup>3</sup>)  
 $D_{co}$ : concepto variable de depuración en función del consumo (€/m<sup>3</sup>)  
 $D_{ca}$ : concepto variable de depuración para canon de mejora (€/m<sup>3</sup>)

El coste total  $Cs_{ta}$  se obtendrá a partir de información disponible de otras obras, tal y como se consideró en las hipótesis del apartado anterior.

En este caso se han empleado obras de similares características a la nuestra construidas por la empresa DRAGADOS S.A. en los últimos años (2004-2008) en Andalucía.

Obra	Presupuesto	Adjudicación	Finalización	Coste agua
1	20.048.770,88 €	2003	2004	3.298,97 €
2	23.237.286,13 €	2003	2008	5.389,43 €
3	5.568.870,29 €	2004	2007	4.209,47 €
4	9.935.016,98 €	2005	2008	7.060,99 €
5	3.900.000,00 €	2006	2007	1.876,23 €
6	11.450.000,00 €	2006	2008	4.533,94 €

Tabla 31: Presupuestos y coste del consumo de agua de obras de similares características a la analizada

Esos costes habrá que referenciarlos al año 2008. Consideraremos como fecha de actualización la de finalización de la obra.

IPC <sup>214</sup>	
2004	3
2005	3,4
2006	3,5
2007	2,8
2008	4,1

Tabla 32: IPC correspondiente al período 2004-2008

214 Situación en España. Marzo 2009. Servicios de Estudios Económicos BBVA. Página web: [http://serviciodeestudios.bbva.com/KETD/ketd/bin/esp/publi/espana/novedades/detalle/Nove346\\_204673.jsp?id=tcm:346-176089-64](http://serviciodeestudios.bbva.com/KETD/ketd/bin/esp/publi/espana/novedades/detalle/Nove346_204673.jsp?id=tcm:346-176089-64)

El consumo actualizado respecto al año 2008 se obtendrá según la siguiente expresión:

$$C_{\text{ref}} = C_{\text{fin}} \prod_{i=\text{fin}}^{i=\text{ref}-1} (1 + \text{IPC}/100)_i \quad (28)$$

Donde:

$C_{\text{ref}}$ : consumo de agua (en euros) referido al año de referencia. En este caso, 2008.

$C_{\text{fin}}$ : consumo de agua (en euros) referido al año de finalización de la obra.

IPC: recogido de la tabla 32.

Mediante esa expresión, la tabla de consumos quedaría de la siguiente forma:

Obra	Presupuesto	Finalización	IPC actualizado	Coste agua actualizado
1	20.048.770,88 €	2004	1,1332	3.738,26 €
2	23.237.286,13 €	2008	1,0000	5.389,43 €
3	5.568.870,29 €	2007	1,0280	4.327,34 €
4	9.935.016,98 €	2008	1,0000	7.060,99 €
5	3.900.000,00 €	2007	1,0280	1.928,76 €
6	11.450.000,00 €	2008	1,0000	4.533,94 €

Tabla 33: Presupuestos y coste actualizado del consumo de agua de obras de similares características a la analizada

El coste monetario del agua será obtenido mediante interpolación, empleando el modelo de regresión lineal que considera el programa SPSS<sup>215</sup>.

215 Pardo A., Ruiz M.A., SPSS 11. Guía para el análisis de datos. Mc-Graw-Hill. Madrid, 2002

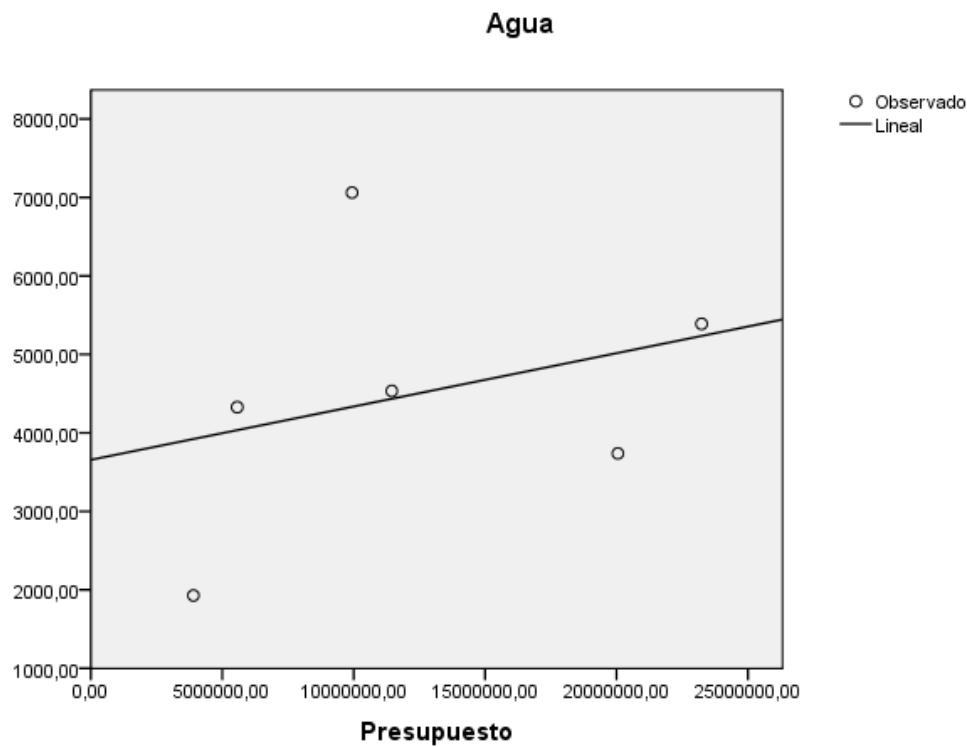


Figura 10: Recta de regresión obtenida mediante SPSS

La recta de regresión de la fig. 10 sigue la ecuación  $Y=aX+b$

Donde:

$$a=6,792 \cdot 10^{-5}$$

$$b=3.657,139$$

Y= Coste agua (€)

X= PEM (€)

Nuestro PEM era 5.688.284,55 €.

$$Y = 6,792 \cdot 10^{-5} (5.688.284,55) + 3.657,139$$

$$Y = \mathbf{4.043,37 \text{ €.}}$$

Como hemos empleado el coste del agua de las obras incluyendo el IVA, la interpolación obtenida también da un resultado de coste de agua incluyendo IVA. Es decir,  $Y=4.043,37 \text{ €}$  es el coste del agua incluyendo IVA. Como en la fórmula 27  $Cs_{ia}$ , coste total en euros del consumo de agua, no incluye IVA, se descuenta<sup>216</sup>.

Aplicando ese resultado a la fórmula 27 obtenemos el volumen en  $m^3$  empleado, que se recoge en la tabla 34:

<sup>216</sup> El procedimiento más correcto habría sido calcular los costes del agua de las distintas obras sin incluir el IVA, aunque en este caso al tener todas las obras el mismo IVA no influye en el resultado.

$$V = \frac{Cs_{ta} - T^*(A_f + V_f + D_f)}{A_{co} + A_{ca} + V_{co} + D_{co} + D_{ca}} \quad (27)$$

Donde:

$$Cs_{ta} = 4.043,37/1,07^{217}$$

T=12 meses

$A_f$ : 12,137 €/mes (tabla 30)

$V_f$ : 2,455 €/mes (tabla 30)

$D_f$ : 2,455 €/mes (tabla 30)

$A_{co}$ : 0,598 €/m<sup>3</sup> (tabla 30)

$A_{ca}$ : (0,096+0,100) €/m<sup>3</sup> (tabla 30)

$V_{co}$ : 0,233 €/m<sup>3</sup> (tabla 30)

$D_{co}$ : 0,264 €/m<sup>3</sup> (tabla 30)

$D_{ca}$ : 0,084 €/m<sup>3</sup> (tabla 30)

<b>Coste total (euros)</b>	<b>4.043,37</b>
Duración obra (meses)	12
<b>Volumen (m<sup>3</sup>)</b>	<b>2.599,48</b>

Tabla 34: Volumen de agua consumido

La expresión que usaremos para el cálculo de la HE vinculada al suministro de agua procede del capítulo correspondiente de la parte teórica:

$$HE_{pa} = \frac{C}{Pb} * FE_B \quad (29)$$

Donde:

$HE_{pa}$ : huella ecológica ponderada del agua (hag)

C: consumo (m<sup>3</sup>). En este caso, dicho consumo es el volumen calculado que aparece en la tabla anterior.

Pb: productividad del agua: 1.500 m<sup>3</sup>/ha.

$FE_B$ : factor de equivalencia para los bosques. Actualmente calculado en 1,34 hag/ha.

Los resultados se recogen en la tabla siguiente:

Consumo (m <sup>3</sup> )	2.599,48
Productividad (m <sup>3</sup> /ha)	1.500
Factor equivalencia	1,34
<b>Huella agua (bosques) (hag)</b>	<b>2,322</b>

Tabla 35: Huella ecológica vinculada al consumo de agua

217 IVA=7%.

#### 4. Huella vinculada al consumo de alimentos

En este apartado necesitamos conocer en primer lugar el número total de horas trabajadas por la mano de obra y el coste de la mano de obra.

Se calculará la mano de obra empleada en:

- La edificación de los bloques
- La urbanización
- La seguridad, tanto de la edificación como de la urbanización
- Los costes indirectos de ejecución

La cantidad de horas totales trabajadas por la mano de obra se obtiene a partir de la medición detallada del proyecto. En primer lugar calculamos la mano de obra vinculada a la edificación (tabla 36), después la vinculada a la urbanización (tabla 37), más tarde la vinculada a la seguridad (tabla 38), y por último la procedente de los coste indirectos (tabla 39). Lógicamente la mano de obra se encuentra desglosada según la Clasificación Sistemática del BCCA<sup>218</sup>.

A continuación se muestran dichas tablas:

Oficial 1ª Carpintería	3.924,305
Oficial 1ª Cerrajero	680,225
Peón especial	25.141,921
Peón ordinario	1.822,210
Oficial 1ª	10.497,400
Oficial 2ª	588,760
Oficial 1ª Ferrallista	4.372,770
Oficial 1ª Encofrador	5.279,760
Oficial 1ª Albañilería	8.580,000
Oficial 2ª Albañilería	58,790
Ayudante especialista	491,040
Oficial 1ª Instalador	1.526,090
Ayudante	708,460
Oficial 1ª Calefactor	1.825,650
Oficial 1ª Fontanero	4.400,470
Oficial 1ª Electricista	3.330,410
Ayudante instalador	822,500

<sup>218</sup> Memoria de la Base de Costes de la Construcción de Andalucía 2008. Base de Costes de la Construcción de Andalucía 2008. Consejería de Obras Públicas y Transportes. Junta de Andalucía. Página web: [http://www.juntadeandalucia.es/viviendayordenaciondelterritorio/www/jsp/estatica.jsp?pma=0&pmsa=0&e=planificacion/publicaciones/banco\\_precios\\_construccion/bcca08/bcca08.html](http://www.juntadeandalucia.es/viviendayordenaciondelterritorio/www/jsp/estatica.jsp?pma=0&pmsa=0&e=planificacion/publicaciones/banco_precios_construccion/bcca08/bcca08.html)

Oficial 1ª Montador	2.931,110
Oficial 1ª Impermeabilizador	353,850
Oficial 1ª Soldador	991,000
Oficial 1ª Pintor	4.903,220
Oficial 1ª Cristalero	490,760
Oficial 1ª Alicatador	2.268,480
Oficial 1ª Solador	5.058,110
Oficial 1ª Escayolista	3.008,890
Oficial 1ª Yesero	4.629,870
<b>Total horas mano obra</b>	<b>98.686,051</b>

Tabla 36: Mano obra vinculada a la edificación

Oficial 1ª Jardinero	3.924,305
Peón Ordinario	680,225
Oficial 1ª Albañilería	25.141,921
Peón Especial	1.822,210
Oficial 1ª	10.497,400
Oficial 1ª Fontanero	588,760
Oficial 1ª Pintor	4.372,770
Oficial 1ª Soldador	5.279,760
Oficial 1ª Electricista	8.580,000
<b>Total horas mano obra</b>	<b>4.280,572</b>

Tabla 37: Mano obra vinculada a la urbanización

Peón Ordinario	282,68
Peón Especial	72,00
Oficial 1ª	44,40
Oficial 2ª	205,38
<b>Total horas mano obra</b>	<b>604,46</b>

Tabla 38: Mano obra vinculada a la seguridad de la edificación

Empleando la misma proporción de horas respecto al presupuesto de seguridad para urbanización, obtenemos:

Total horas mano obra seguridad urbanización= **10,93 horas**

Para los costes indirectos, disponemos de la siguiente información (ver tabla 17):

	Unidad	Cantidad	Precio	Importe
Encargado	mes	12,00	2.805,53	33.666,36
Capataces	mes	12,00	2.437,50	29.250,00
Almaceneros	mes	6,00	2.437,50	14.625,00
Guardas	mes	6,00	2.681,28	16.087,68
Listeros	mes	6,00	2.681,28	16.087,68
Pernal. tpte. interno materiales y residuos	m <sup>2</sup>	16.000,00	1,66	26.560,00
Pernal. limpieza, regado y vertido	m <sup>2</sup>	16.000,00	2,56	40.960,00
Recogida y tpte. útiles y herramtas.	m <sup>2</sup>	16.000,00	0,69	11.040,00
Montaje y desmontaje grúas	u	2,00	5.703,63	11.407,26
Técnicos adscritos a la obra	mes	12,00	3.212,05	38.544,60
Administrativos	mes	12,00	2.087,60	25.051,20
Acometidas y tendidos <sup>219</sup>	u	1,00	2.188,31	875,34
Viales	u	1,00	799,57	319,83
<b>Total euros mano obra</b>				<b>264.474,95</b>

Tabla 39: Mano obra vinculada a los costes indirectos

Como necesitamos las horas de mano de obra asociada a dicho coste, tenemos que plantear hipótesis de coste horario. Se considera como hipótesis que dicho coste se asimila al de una cuadrilla formada por:

- Dos oficiales 1<sup>a</sup>
- Un peón especial

En las siguientes tablas se exponen los cálculos realizados:

<sup>219</sup> Se considera, tanto para las acometidas como para los viales, que el presupuesto se desglosa en 60% para materiales y 40% para mano de obra.



Coste horario medio de Andalucía para 2008 <sup>220</sup>					
	Oficial 1ª	Oficial 2ª	Ayudante	Peón Especial	Peón Ordinario
ANDALUCIA	16,99	16,57	16,28	16,11	15,95

Tabla 40: Coste horario medio mano obra para Andalucía (2008)

Por lo que nuestro coste medio de la mano de obra sería:

		Coste horario (€/h)	Coste horario total (€/h)
Oficial 1ª	2	16,99	33,98
Peón Especial	1	16,11	16,11
<b>Coste medio cuadrilla (€/h)</b>			<b>16,70</b>

Tabla 41: Coste horario medio cuadrilla

Por tanto, el coste medio de la mano de obra será **16,70 €/h**.

Introduciéndolo en el cálculo del coste económico de la mano de obra de costes indirectos:

	Horas	Coste (euros)
Mano obra indirectos	15.836,82	264.474,95

Tabla 42: Coste horario de mano obra vinculada a los costes indirectos

Y el coste total sería:

	Horas	Coste (euros)
Mano obra edificación	98.686,05	1.470.946,35
Mano obra urbanización	4.280,57	62.590,07
Mano obra SS edificación	604,46	8.752,26
Mano obra SS urbanización	10,93	158,29
Mano obra indirectos	15.836,82	264.474,95
<b>Total</b>	<b>119.418,84</b>	<b>1.806.921,92</b>

Tabla 43: Coste total de la mano de obra

220 Memoria de la Base de Costes de la Construcción de Andalucía 2008. Base de Costes de la Construcción de Andalucía 2008. Consejería de Obras Públicas y Transportes. Junta de Andalucía. Página web: [http://www.juntadeandalucia.es/viviendayordenaciondelterritorio/www/jsp/estatica.jsp?pma=0&pmsa=0&e=planificacion/publicaciones/banco\\_precios\\_construccion/bcca08/bcca08.html](http://www.juntadeandalucia.es/viviendayordenaciondelterritorio/www/jsp/estatica.jsp?pma=0&pmsa=0&e=planificacion/publicaciones/banco_precios_construccion/bcca08/bcca08.html)

El coste total en euros se obtiene a partir de los precios básicos de la mano de obra del BCCA correspondientes al año 2008. En los anexos correspondientes se pueden ver los cálculos detallados.

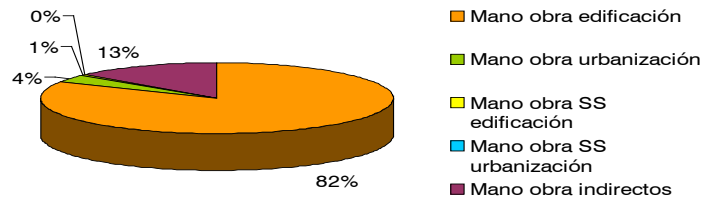


Figura 11: Reparto de la mano de obra

Para el cálculo de la huella empleamos la expresión:

$$HE_{pal} = \frac{HE_c}{h_c} * N_h \quad (3)$$

donde:

$HE_{pal}$ : huella ecológica ponderada de los alimentos (hag)

$HE_c$ : huella ecológica expresada como hag/comida

$h_c$ : 8 horas/comida

$N_h$ : número total de horas trabajadas

$N_h$  es el número total de horas trabajadas:  $N_h = 119.418,84$  horas

Será, por tanto, necesario obtener  $HE_c$  de los distintos alimentos que conforman la comida diaria del trabajador. Considerando todas las hipótesis y la formulación del apartado "parámetros para la determinación de la huella vinculada al consumo de alimentos", los resultados son:

Alimentos	% alim	Consumos (t/1000€)	Intens.energ (GJ/t)	FEbosques	Prod.petróleo (GJ/ha)	Prod.natural (t/ha)	FEpastos	FEmar	FEcultivos
Carnes	25	0,65	80	1,34	71	0,033	0,49		
Pescados	25	0,5	100	1,34	71	0,029		0,36	
Cereales	12	4,69	15	1,34	71	2,264			2,21
Bebidas	10	0,34	7	1,34	71	22,500			2,21
Legumbres	8	1,45	10	1,34	71	6,730			2,21
Dulces	6	0,7	15	1,34	71	4,893			2,21
Aceites	5	0,71	40	1,34	71	1,485			2,21
Lácteos	5	0,93	37	1,34	71	0,276	0,49		
Café	4	0,54	75	1,34	71	0,566			2,21

Tabla 44: Parámetros para el cálculo de HE<sub>c</sub>

Los resultados de las huellas parciales  $HE_c$ :

<b>Coste menú</b>	<b>10 €</b>
HE fósil (hag/comida)	<b>0,007687165</b>
HE pastos (hag/comida)	<b>0,050067968</b>
HE mar (hag/comida)	<b>0,015517241</b>
HE cultivo (hag/comida)	<b>0,007469488</b>

Tabla 45:  $HE_c$  de los distintos alimentos

Y los resultados de las huellas ponderadas:

$N_n$ total (h)	<b>119.418,839</b>
hc (h/comida)	8,000
<b>HE fósil (hag)</b>	<b>114,749</b>
<b>HE pastos (hag)</b>	<b>747,382</b>
<b>HE mar (hag)</b>	<b>231,631</b>
<b>HE cultivo (hag)</b>	<b>111,500</b>

Tabla 45: HE ponderada de los distintos alimentos

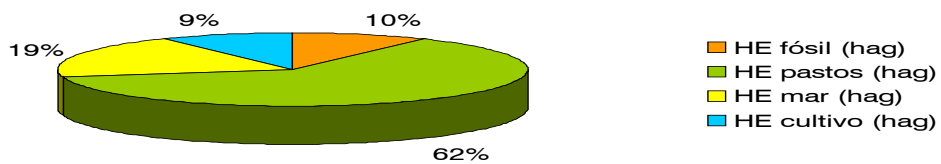


Figura 12: HE ponderada de los distintos alimentos (porcentaje)

## 5. Huella de movilidad

En primer lugar emplearemos el dato de las horas efectivas trabajadas durante 1 año. Según el apartado anterior,  $D=1.533$  horas.

A continuación empleamos la expresión:

$$N_t = \frac{N_h}{D} \quad (13)$$

Donde:

$N_t$ : número de trabajadores

$N_h$ : número total de horas trabajadas

$D$ : duración de la obra en horas

$$N_t = \frac{119.418,84}{1.533} = 77,90 \text{ trabajadores}$$

Por lo tanto,  $N_t = 78$  trabajadores, ya que habría que cubrir todas las horas trabajadas.

El número de vehículos empleado en la obra sería:

$$N_v = \frac{N_t}{O} \quad (14)$$

Donde:

$N_v$ : número de vehículos empleados en la obra

$O$ : ocupación media por vehículo. Se considera ocupación media de 4 individuos por vehículo.

$$N_v = \frac{78}{4} = 20 \text{ vehículos}$$

Y para obtener la distancia total recorrida:

$$D_t = N_v * d_m \quad (15)$$

Donde:

$D_t$ : distancia total recorrida (km)

$d_m$ : distancia media recorrida por cada vehículo (km). Esa distancia será  $15 + 15 = 30$  km

$$D_t = 20 * 30 = 600 \text{ km}$$

Para obtener el consumo de combustible, supondremos vehículo de gasolina y emplearemos la tabla 24 de la parte teórica, aquí reseñada de nuevo:

Combustible	Consumo (litros/100 km)	Emisiones CO <sub>2</sub> (kg/litro)
Gasolina	7,40	2,35
Gasoil/diesel	6,04	2,60

Tabla 46: Coeficientes de consumo de combustible para vehículos en España

Con ese dato, el procedimiento a seguir será el mismo que para el caso de la huella energética visto en apartados anteriores. Habrá que contabilizar al igual que en aquel caso, un 10% extra para mantenimiento.

Por tanto, la fórmula a emplear sería:

$$HE_{pc} = \frac{C}{Pc} * FE_B \quad (24)$$

Donde:

HE<sub>pc</sub>: huella ecológica ponderada del consumo de combustible (hag)

C: consumo (GJ)

Pc: productividad energética del combustible(GJ/ha)

FE<sub>B</sub>: factor de equivalencia de los bosques (hag/ha)

Los resultados serían:

Consumo (litros/100 km)	7,40
Consumo (litros)	44,40
Mantenimiento (10%)	1,10
Factor de conversión (MJ/l)	35
Productividad energética (MJ/ha)	71.000
HE consumo combustible (ha)	0,0241
Factor equivalencia (hag/ha)	1,34
<b>HE movilidad (fósil) (hag)</b>	<b>0,0323</b>

Tabla 47: Huella ecológica ponderada de movilidad

## 6. Huella de materiales de construcción

Para determinar la huella de los materiales de construcción del proceso constructivo debemos seguir la fórmula planteada en el apartado 5 del punto “determinación de los elementos del proyecto”.

$$HE = \frac{\sum_i C_{m_i} * E_{im_i}}{P_c} \quad (16)$$

Donde:

HE: huella ecológica (ha)

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

$E_{im_i}$ : energía incorporada del material (MJ/kg)

$P_c$ : productividad energética del petróleo (MJ/ha), que es de 71.000 MJ/ha.

Para obtener la superficie en ha multiplicaremos el valor de arriba por el factor de equivalencia 1,34.

Los valores de energía incorporada proceden de la tabla 32 de la parte teórica. Se ha tomado como valor de energía la media de los valores disponibles, siempre que no exista gran disparidad entre dichos valores. Dicha energía, tal y como se definió en la parte teórica, incluye la fabricación, transporte y puesta en obra de los materiales de construcción.

Veamos un ejemplo para explicar el procedimiento empleado:

	u	M <sub>m</sub> (u)	P <sub>m</sub> (€/u)	Cs <sub>tm</sub> (€)	Cc (kg/u)	Cm (kg)	E <sub>iem</sub> (MJ/kg)	E <sub>im</sub> (MJ)
BLOQUE HORMIGÓN 40x20x12cm	u	22.803,110	0,56	12.769,742	11,00	250.834,210	2,0000	501.668,4200
CONDUCTO DE VENTILACIÓN DOBLE DE HORMIGÓN	m	834,890	5,96	4.975,944	191,67	160.023,366	2,0000	320.046,7326
HORMIGÓN CELULAR	m3	303,740	37,87	11.502,634	500,00	151.870,000	1,0000	151.870,0000
HORMIGÓN HA- 25/ B/ 40/ Iia	m3	1.271,370	69,32	88.131,368	2.500,00	3.178.425,000	1,0000	3.178.425,0000
HORMIGÓN HA- 25/ P/20/ Iia	m3	2.985,385	69,32	206.946,888	2.500,00	7.463.462,500	1,0000	7.463.462,5000
HORMIGÓN HA- 30/B/ 15/ Iia	m3	1.184,425	102	120.811,350	2.500,00	2.961.062,500	1,0000	2.961.062,5000
HORMIGÓN HM- 20/ P/20/ Iia	m3	156,675	90	14.100,750	2.500,00	391.687,500	1,0000	391.687,5000
HORMIGÓN HM-20/P/20/I, SUMINISTRADO	m3	6,590	62,15	409,569	2.300,00	15.157,000	1,0000	15.157,0000
TAPA DE HORMIGÓN ARMADO CON CERCO	m2	10,070	26,13	263,129	100,91	1.016,164	2,0000	2.032,3274
				<b>459.911,374</b>		<b>14.573.538,240</b>		<b>14.985.411,980</b>

Tabla 48: Ejemplo de cálculo de energía incorporada



El ejemplo mostrado en la tabla 48 corresponde al estudio de la edificación de nuestro proyecto. El caso mostrado corresponde a los productos fabricados con hormigón. La agrupación de los precios básicos se ha hecho en función de los materiales más representativos o de los que se disponía de información de energía incorporada. En los resultados que se mostrarán a continuación aparecerán todos los materiales en los que se han clasificado los precios básicos. Dichos precios corresponden a la revisión de la medición original conforme a la BCCA (año 2008). En la segunda columna de la tabla 48 aparece la unidad en la que se mide el precio básico. El resto de columnas representan:

- $M_m$ : medición del precio básico del proyecto considerado.
- $P_m$ : precio básico (conforme a BCCA de 2008)
- $Cs_{tm}$ : coste total del material (€)

$$\boxed{Cs_{tm} = M_m * P_m} \quad (30)$$

- $C_c$ : coeficiente conversión de la unidad de medida del precio básico en peso (kg). Para ello se han empleado los coeficientes calculados por la profesora Pilar Mercader en su tesis<sup>221</sup>. Aquellos precios para los que no tenemos  $C_c$  haremos hipótesis complementarias.
- $Cm$ : consumo o peso del material (kg)

$$\boxed{Cm = M_m * C_c} \quad (31)$$

- $E_{iem}$ : energía incorporada específica del material  $i$ . En este caso el material considerado es el hormigón. Los valores de  $E_{ie}$  proceden de la tabla 32 de la parte teórica. Se ha tomado como valor de energía la media de los valores disponibles, siempre que no exista gran disparidad entre dichos valores.
- $E_{im}$ : energía incorporada total (MJ)

$$\boxed{E_{im} = Cm * E_{iem}} \quad (32)$$

Visto el procedimiento de trabajo para el cálculo de la energía incorporada, mostraremos los resultados parciales y finales para cada una de las partes del estudio:

<sup>221</sup> Mercader Moyano P., 2009. 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 Kyoto. Tesis doctoral.

	<b>Cs<sub>tm</sub> (€)</b>	<b>Cm (kg)</b>	<b>Eim (MJ)</b>
Acero	320.906,56	274.390,54	11.193.600,94
Arena	24.863,07	2.736.903,03	234.643,58
Hormigón	459.911,37	14.573.538,24	14.985.411,98
Cerámico	140.482,73	1.563.969,18	5.015.019,17
Escayola	377.237,12	781.617,47	4.092.323,83
Cobre	72.140,44	6.289,70	628.969,99
Cal	3.063,07	32.971,60	131.886,40
Cemento	17.332,51	180.179,03	1.261.253,21
Porcelana	43.888,47	15.808,93	434.745,55
PVC	39.990,25	12.886,96	1.030.956,43
Madera	102.687,87	55.896,90	167.690,70
Latón	40.397,63	15.355,65	1.535.564,68
Piedra	113.101,71	1.323.157,87	2.626.173,60
Aluminio	88.032,04	12.384,97	2.466.611,17
Polietileno	12.606,75	2.208,83	187.750,20
Poliestireno	57.531,59	1.341,76	147.593,93
Metacrilato	787,10	66,75	6.007,50
Pintura	111.872,00	154.825,79	11.019.431,86
Vidrio	4.126,62	10.922,83	196.610,85
Varios	107.106,91	256.788,61	15.627.479,29
Sin definir	1.290.418,87		
<b>Total</b>	<b>3.428.484,69</b>	<b>22.011.504,62</b>	<b>72.989.724,86</b>

Tabla 49: Cálculo de la energía incorporada por materiales. Edificación

	<b>Cs<sub>tm</sub> (€)</b>	<b>Cm (kg)</b>	<b>Eim (MJ)</b>
Acero	11.726,67	1.592,13	63.685,12
Arena	1.658,41	250.611,11	20.048,89
Hormigón	20.731,40	840.524,46	910.519,70
Cemento	1.450,71	120,12	109.736,16
Cerámico	7.211,59	87.422,10	369.561,59
Cobre	1.165,87	327,39	32.739,42
PVC	2.695,58	3.630,92	290.473,66
Madera	2.347,92	4.864,98	14.594,94
Aluminio	5.342,13	943,83	42.472,20
Polietileno	3.255,39	581,93	50.649,69
Termoplástico	278,61	4,38	350,08
Pintura	117,86	10,01	200,10
Tierras	174,42		0,00
Varios	33.823,48	2.757.664,16	8.361.760,56
Sin definir	16.454,84		
<b>Total</b>	<b>108.434,88</b>	<b>3.948.297,51</b>	<b>10.266.792,11</b>

Tabla 50: Cálculo de la energía incorporada por materiales. Urbanización

	<b>Cs<sub>tm</sub> (€)</b>
Yeso	1.280,00
Cerámico	1.280,00
Acero	17.556,92
Cobre	437,66
Pétreos	319,83
<b>Total</b>	<b>20.874,41</b>

Tabla 51: Cálculo del coste económico de materiales. Costes indirectos

	$Cs_{tm}$ (€)
Acero	31.369,37
Hormigón	747,00
PVC	33,84
Madera	756,11
Sin definir	10.208,85
<b>Total</b>	<b>43.115,17</b>

Tabla 52: Cálculo del coste económico de materiales. SS edificación

El cálculo del coste económico de materiales para la Seguridad y Salud de la urbanización es de 779,77 €.

A continuación planteamos hipótesis para el cálculo total de la energía incorporada:

1. Agrupamos los materiales de las tablas 49, 51 y 52, ya que proceden de la misma fase constructiva, en este caso de la edificación. Para aquellas partidas cuya energía incorporada no se pueda determinar se establecerá la relación:

$$Ei_{sd} = Ei_{t-sd} \frac{Cs_{tsd}}{Cs_{t-sd}} \quad (33)$$

Donde:

$Ei_{sd}$ : energía incorporada sin definir (MJ)

$Ei_{t-sd}$ : energía incorporada definida (MJ)

$Cs_{tsd}$ : coste del material cuya energía incorporada está sin definir (€)

$Cs_{t-sd}$ : coste de material cuya energía incorporada está definida (€)

Aquellos materiales que proceden de los costes indirectos o del Estudio de Seguridad y Salud se encajan según su origen. Por ejemplo, el acero de los costes indirectos se introduce en el apartado de aceros, con la misma relación MJ/€ que estuviera establecida.

2. A la tabla 50 le añadimos el coste de materiales para la Seguridad y Salud de la urbanización, cuyo origen es desconocido. Para los materiales cuya energía incorporada no se puede determinar (denominados "sin definir") se establece la siguiente relación:

$$Ei_{sd} = Ei_{t-sd-v} \frac{Cs_{tsd}}{Cs_{t-sd-v}} \quad (34)$$

Donde:

$Ei_{sd}$ : energía incorporada sin definir (MJ)

$Ei_{t-sd-v}$ : energía incorporada definida, sin incluir el apartado varios (MJ)

$C_{s_{tsd}}$ : coste del material cuya energía incorporada está sin definir (€)

$C_{s_{tsd-v}}$ : coste de material cuya energía incorporada está definida, sin incluir el apartado varios (€)

Como dentro del apartado “varios” existen materiales que distorsionan el resultado final, caso de los asfálticos, se ha considerado más adecuado que el material de origen desconocido se asemeje al resto de materiales que se encuentran en la urbanización.

Si se desea profundizar en los cálculos, les remitimos a los anexos correspondientes.

	$C_{s_{tm}}$ (€)	Eim (MJ)
Acero	369.832,85	12.900.208,01
Arena	24.863,07	234.643,58
Hormigón	460.658,37	15.009.751,68
Cerámico	141.762,73	5.060.713,22
Escayola	378.517,12	4.106.209,46
Cobre	72.578,11	632.785,83
Cal	3.063,07	131.886,40
Cemento	17.332,51	1.261.253,21
Porcelana	43.888,47	434.745,55
PVC	40.024,10	1.031.828,87
Madera	103.443,97	168.925,43
Latón	40.397,63	1.535.564,68
Piedra	113.421,54	2.633.599,87
Aluminio	88.032,04	2.466.611,17
Polietileno	12.606,75	187.750,20
Poliestireno	57.531,59	147.593,93
Metacrilato	787,10	6.007,50
Pintura	111.872,00	11.019.431,86
Vidrio	4.126,62	196.610,85
Varios	107.106,91	15.627.479,29
Sin definir	1.300.627,72	44.382.043,96
<b>Total</b>	<b>3.492.474,27</b>	<b>119.175.644,54</b>

Tabla 53: Cálculo agrupado de la energía incorporada. Edificación

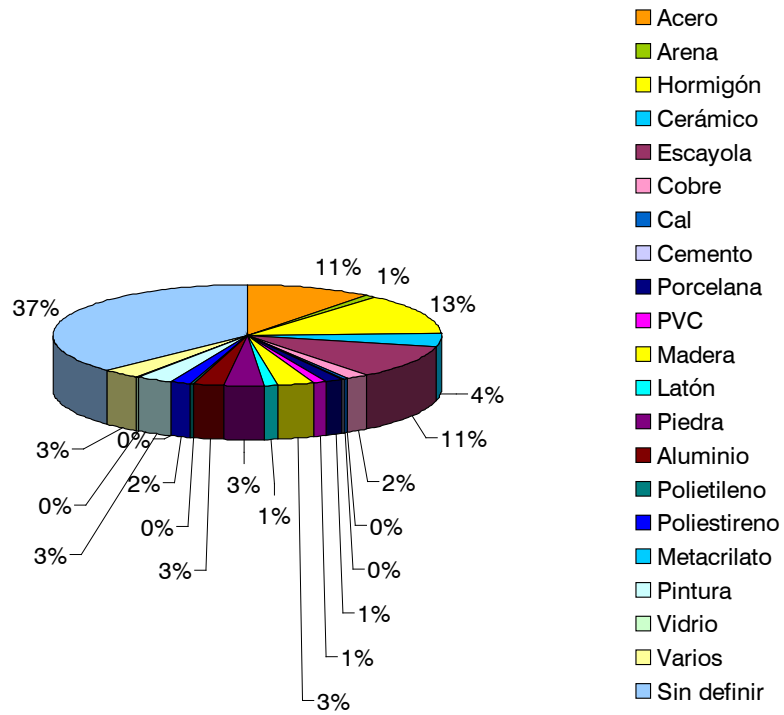


Figura 13: Porcentaje de los materiales sobre el presupuesto total. Edificación

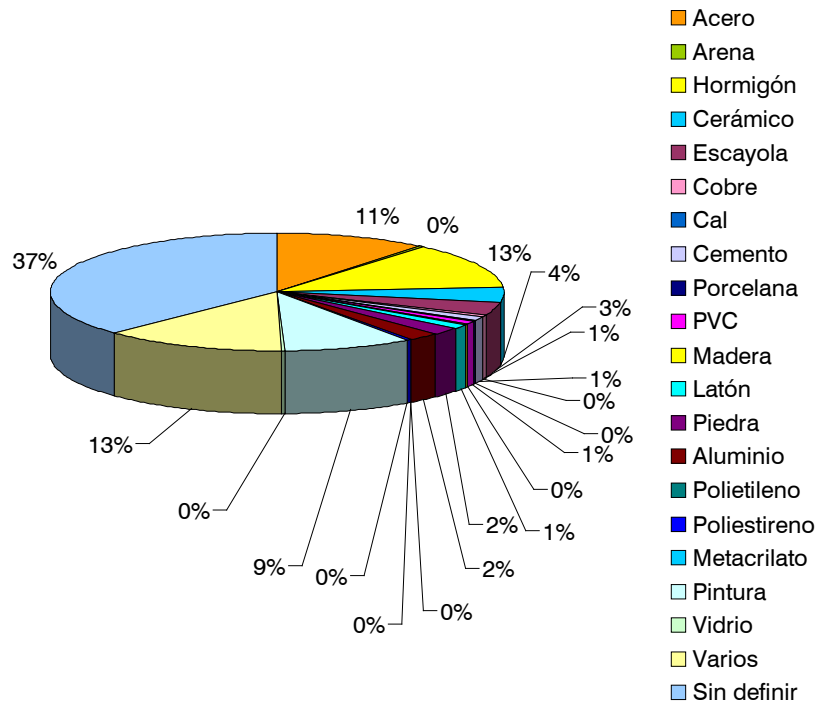


Figura 14: Porcentaje de energía incorporada de los materiales sobre el total. Edificación

	<b>Cs<sub>tm</sub> (€)</b>	<b>Eim (MJ)</b>
Acero	11.726,67	63.685,12
Arena	1.658,41	20.048,89
Hormigón	20.731,40	910.519,70
Cemento	1.450,71	109.736,16
Cerámico	7.211,59	369.561,59
Cobre	1.165,87	32.739,42
PVC	2.695,58	290.473,66
Madera	2.347,92	14.594,94
Aluminio	5.342,13	42.472,20
Polietileno	3.255,39	50.649,69
Termoplástico	278,61	350,08
Pintura	117,86	200,10
Tierras	174,42	0,00
Varios	33.823,48	8.361.760,56
Sin definir	17.234,61	564.553,36
<b>Total</b>	<b>109.214,65</b>	<b>10.831.345,46</b>

Tabla 54: Cálculo agrupado de la energía incorporada. Urbanización

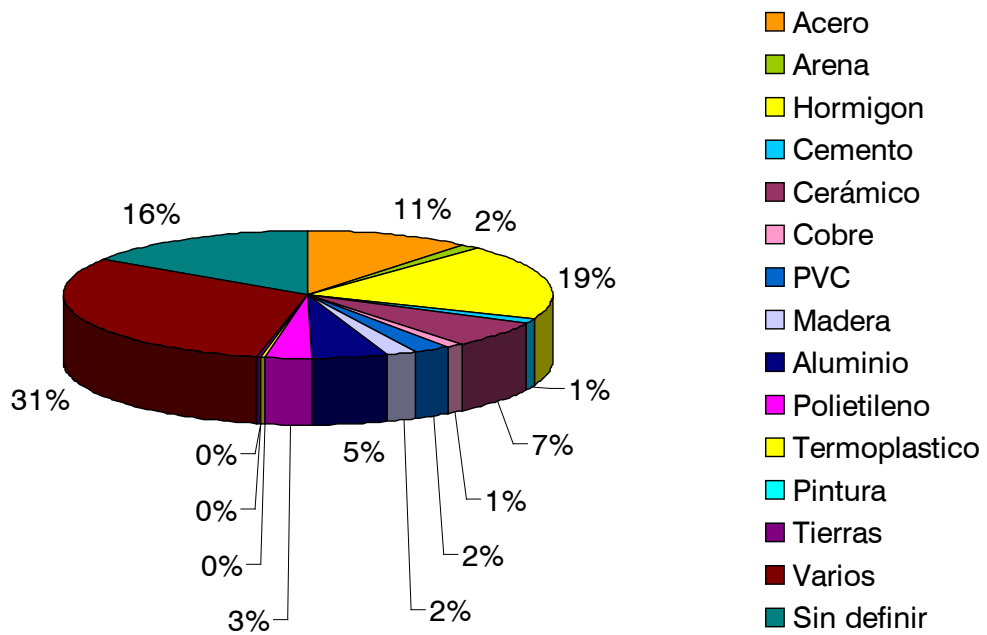


Figura 15: Porcentaje de los materiales sobre el presupuesto total. Urbanización

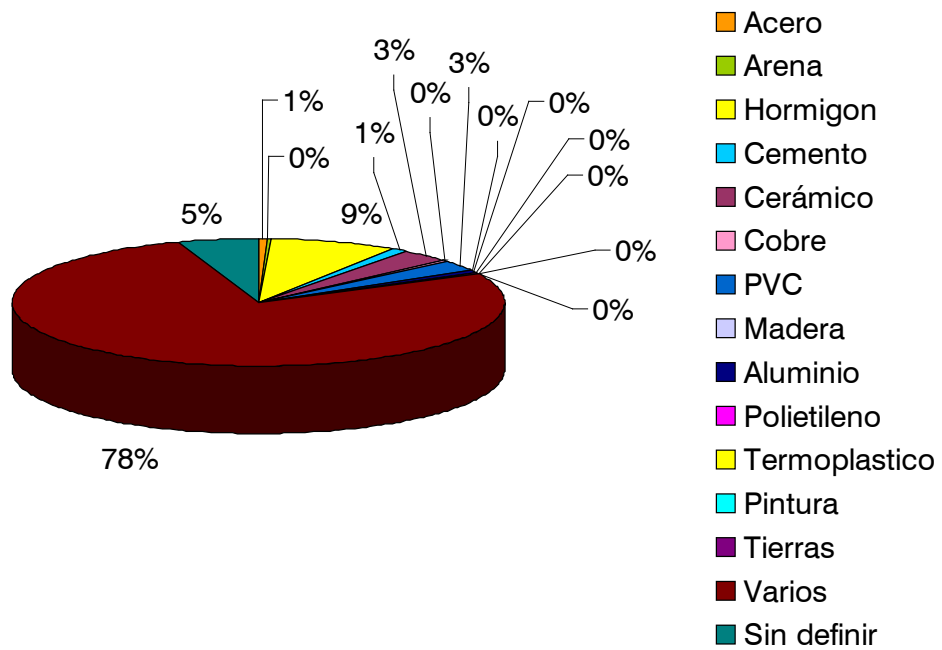


Figura 16: Porcentaje de energía incorporada de los materiales sobre el total. Urbanización



Los resultados finales se presentan en la tabla siguiente:

Et edificación (MJ)	119.175.644,54
Et urbanización (MJ)	10.831.345,46
Et total (MJ)	<b>130.006.990,00</b>
Productividad (MJ/ha)	71.000,00
HE (ha)	1.831,084
FE bosques (hag/ha)	1,34
<b>HE consumo materiales (fósil) (hag)</b>	<b>2.453,653</b>

Tabla 55: Huella ecológica correspondiente al empleo de los materiales de construcción

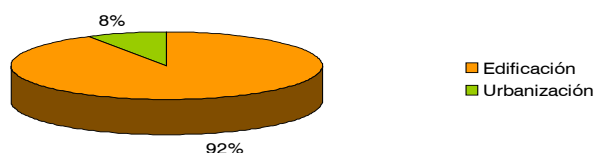


Figura 17: Energía incorporada (porcentajes)

## 7. Huella de los residuos

En este punto necesitamos, tal y como explicábamos en el apartado anterior, el cálculo de los índices de conversión. Según lo expuesto, presentamos los resultados para nuestro caso de evaluación:

	ORGÁNICO	PAPEL	PLÁSTICO	VIDRIO	RCD
Intensidad energética (GJ/t)	20	30	43,75	20	5
Productividad energética (GJ/ha)	71	71	71	71	71
Porcentaje reciclaje (%)	13	50	40	40	15
Porcentaje energía (%)	100	50	70	40	90
Factor equivalencia (hag/ha)	1,34	1,34	1,34	1,34	1,34
Productividad natural (t/ha)		1,01			
<b>Índices conversión (hag/t)</b>	<b>0,2326</b>	<b>0,7404</b>	<b>0,3850</b>	<b>0,2213</b>	<b>0,0577</b>

Tabla 56: Obtención de los índices de conversión

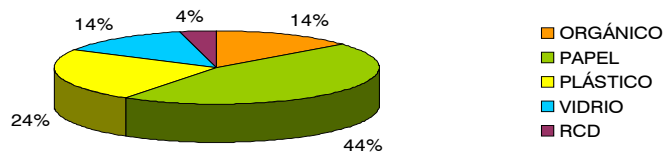


Figura 18: Índices de conversión (porcentajes)

Obtener el peso total de los RSU requiere el cálculo del número de trabajadores y de la duración de la obra, que se obtendrán del apartado de movilidad.

Son los siguientes:

$$N_t = 78$$

$$d = 1 \text{ año}$$

Empleamos la fórmula del apartado “Parámetros para la determinación de la huella de los residuos”:

$$P_{RSU} = G_{RSU} * N_t * d \quad (17)$$

Donde:

$P_{RSU}$ : peso total RSU (t)

$G_{RSU}$ : generación media RSU (t/trabajador y año)

$G_{RSU} = 0,516 \text{ t}$  (dato del apartado “Parámetros para la determinación de la huella de los residuos”).

Los resultados serían:

Generación media (t)	0,516
Número de trabajadores	78
Duración obra	1
Peso total (t)	<b>40,248</b>

Tabla 57: Peso de los RSU

Y para cada una de las corrientes de los RSU, el consumo sería:

	ORGÁNICO	PAPEL	PLÁSTICO	VIDRIO
Porcentaje en peso	44%	21%	11%	7%
Consumo (t)	17,709	8,452	4,427	2,817

Tabla 58: Consumos de las corrientes de RSU

Por otra parte, con el software que se explicó previamente obtenemos el volumen de RCD. Para ello es necesario determinar la superficie construida total aproximada de los dos bloques de viviendas.

Según las tablas 7 y 8 del primer apartado la superficie construida total fue:

	BLOQUE 1	BLOQUE 2
Planta sótano -2	1.476,09	1.312,08
Planta sótano -1	1.476,09	1.312,08
Planta baja	1.359,06	1.197,86
Planta primera	1.359,15	1.197,86
Planta segunda	1.363,35	1.201,53
Planta tercera	1.363,35	1.201,53
Cubierta	113,61	81,28
<b>Total</b>	<b>8.510,70</b>	<b>7.504,22</b>
<b>Superficie total</b>		<b>16.014,92</b>

Tabla 59: Desglose de la superficie construida de los bloques de viviendas

Se obtuvieron, para la tipología de bloque de 4 plantas con dos plantas de sótano, y para una superficie construida total aproximada de 16.000 m<sup>2</sup> (se incluye la superficie de los sótanos), los siguientes resultados:

- 22.400 m<sup>3</sup> de tierras de excavación
- 1.920 m<sup>3</sup> de RCD mixtos
- Volumen total= 24.320 m<sup>3</sup>

En la tabla se recogen los resultados del cálculo:

	VOLUMEN RESIDUOS( m <sup>3</sup> / m <sup>2</sup> )		FIANZA ( euros/m <sup>2</sup> )		SUPERF CONSTRUIDA( m <sup>2</sup> )	VOL. RESIDUOS TOTAL( m <sup>3</sup> )		TOTAL (euros)
	Tierras	RCD mixtos	Tierras	RCD mixtos		Tierras	RCD mixtos	
<b>ZANJAS CORRIDAS</b>								
1 planta con sótano	1,95	0,20	6,00	12,00		0,00	0,00	0,00
2 plantas con sótano	1,30	0,16	6,00	12,00		0,00	0,00	0,00
3 plantas	0,26	0,17	6,00	12,00		0,00	0,00	0,00
<b>ZAPATAS AISLADAS</b>								
1 planta con sótano	1,97	0,17	6,00	12,00		0,00	0,00	0,00
2 plantas con sótano	1,31	0,15	6,00	12,00		0,00	0,00	0,00
3 plantas+ locales en planta baja con 2 plantas de sótano	1,56	0,08	6,00	12,00		0,00	0,00	0,00
3 plantas con 2 plantas de sótano	1,56	0,09	6,00	12,00		0,00	0,00	0,00
			6,00	12,00		0,00	0,00	0,00
			6,00	12,00		0,00	0,00	0,00
			6,00	12,00		0,00	0,00	0,00
			6,00	12,00		0,00	0,00	0,00
<b>PILOTES</b>								
2 plantas	0,32	0,16	6,00	12,00		0,00	0,00	0,00
2 plantas con local en planta baja	0,32	0,14	6,00	12,00		0,00	0,00	0,00
			6,00	12,00		0,00	0,00	0,00
			6,00	12,00		0,00	0,00	0,00
			6,00	12,00		0,00	0,00	0,00
			6,00	12,00		0,00	0,00	0,00
<b>LOSA ARMADA</b>								
1 planta	0,90	0,15	6,00	12,00		0,00	0,00	0,00
2 plantas	0,45	0,13	6,00	12,00		0,00	0,00	0,00
1 planta con sótano	2,30	0,11	6,00	12,00		0,00	0,00	0,00
2 plantas con sótano	1,53	0,11	6,00	12,00		0,00	0,00	0,00
2 plantas con 2 plantas de sótano	2,10	0,10	6,00	12,00		0,00	0,00	0,00
3 plantas con 2 plantas de sótano	1,70	0,10	6,00	12,00		0,00	0,00	0,00
4 plantas con 2 plantas de sótano	1,40	0,10	6,00	12,00	16.000,00	22400,00	1920,00	153.600,00
más de 5 plantas con 2 plantas de sótano	1,08	0,10	6,00	12,00		0,00	0,00	0,00
3 plantas con 3 plantas de sótano	2,50	0,09	6,00	12,00		0,00	0,00	0,00
más de 5 plantas con 3 plantas de sótano	1,11	0,11	6,00	12,00		0,00	0,00	0,00
más de 5 plantas con 4 plantas de sótano	1,35	0,10	6,00	12,00		0,00	0,00	0,00
polideportivo	3,06	0,13	6,00	12,00		0,00	0,00	0,00
<b>TOTAL</b>						<b>22400,00</b>	<b>1920,00</b>	<b>153.600,00</b>

Tabla 60: Cálculo del volumen estimado de generación de RCD

Consideraremos una densidad media para el flujo de RCD de 1 t/m<sup>3</sup>, por lo que el peso de RCD generados será de **24.320 t**.

$$C_{RCD} = 24.320 \text{ t}$$

Por último, para determinar las huellas de las corrientes empleamos la fórmula enunciada en el apartado anterior:

$$HE_{pr} = \sum_i IC_{RNP_p} * C_i \quad (22)$$

En la tabla siguiente se muestra el resultado final:

	ORGÁNICO	PAPEL	PLÁSTICO	VIDRIO	RCD	HE total residuos
Consumo C (t)	17,709	8,452	4,427	2,817	24.320	
Índice conversión IC (hag/t)	0,2326	0,7404	0,3850	0,2213	0,0577	
<b>HE (fósil) (hag)</b>	<b>4,12</b>	<b>6,26</b>	<b>1,70</b>	<b>0,62</b>	<b>1.402,85</b>	<b>1.415,56</b>

Tabla 61: Huella ecológica de los residuos

## 8. Huella de superficie construida

Para este apartado hay que indicar la superficie consumida total en planta. Tal y como se especificaba en el Estudio de Detalle (tabla 4), la superficie total de actuación era de 9.623,71 m<sup>2</sup>. La zona de superficie dedicada a residencial unifamiliar no computa en nuestro estudio (parcela 3), y tampoco la superficie de zona verde (parcela 4). Por tanto, solo computarán las parcelas correspondientes a los bloques de viviendas (parcelas 1 y 2) y la superficie correspondiente a viario (parcela 5). La superficie total construida será:

	Superficie m <sup>2</sup>
Parcela 1	1.484,80
Parcela 2	1.320,08
Parcela 5	4.318,90
<b>Total</b>	<b>7.123,78</b>

Tabla 62: Superficie consumida en planta

La superficie total será de 7.123,78 m<sup>2</sup>. También podríamos tener en cuenta la zona verde como posible sumidero de CO<sub>2</sub>. En este caso dicha superficie es de 246,94 m<sup>2</sup>, demasiado pequeña para que la reducción de las emisiones sea apreciable.

La fórmula que emplearemos para el cálculo de la huella de ocupación directa procede del apartado anterior:

$$HE_{ps} = S * FE_{sc} \quad (23)$$

Donde la superficie está dada en ha y el factor de equivalencia para la superficie construida es 2,21 hag/ha (ver apartado correspondiente de la parte teórica).

Superficie consumida (ha)	FE (hag/ha)	HE ocupación directa
0,7124	2,2100	1,5744

Tabla 63: Huella ecológica de la superficie construida

## 9. Huella total

Agrupamos las huellas en función del tipo de impacto y del tipo de superficie:

Impacto	Tipo huella (hag/año)					
	Fósil	Bosques	Pastos	Mar	Cultivos	Superficie construida
Maquinaria	211,86					
Electricidad	417,59					
Agua		2,32				
Alimentos	114,75		747,38	231,63	111,50	
Movilidad	0,03					
Materiales	2.453,65					
Residuos	1.415,56					
Ocupación directa						1,57
<b>Total</b>	<b>4.613,45</b>	<b>2,32</b>	<b>747,38</b>	<b>231,63</b>	<b>111,50</b>	<b>1,57</b>
<b>TOTAL</b>	<b>5.707,86</b>					

Tabla 64: Huella ecológica total

Podemos hacer el análisis también respecto a la superficie construida de los bloques de viviendas. Vamos a emplear dos cálculos: la superficie construida<sup>222</sup> y la superficie construida sobre y bajo rasante.

Superficie construida	Bloque 1	Bloque 2
Planta baja	1.359,06	1.197,86
Planta primera	1.359,15	1.197,86
Planta segunda	1.363,35	1.201,53
Planta tercera	1.363,35	1.201,53
Total	5.444,91	4.798,78
<b>Superficie total (m<sup>2</sup>)</b>	<b>10.243,69</b>	

Tabla 65: Superficie construida de los bloques de viviendas

<sup>222</sup> Por definición, la superficie construida es sobre rasante

Impacto	Tipo huella (hag/año y m <sup>2</sup> )					
	Fósil	Bosques	Pastos	Mar	Cultivos	Superficie construida
Maquinaria	0,020682					
Electricidad	0,040766					
Agua		0,000227				
Alimentos	0,011202		0,072960	0,022612	0,010885	
Movilidad	0,000003					
Materiales	0,239528					
Residuos	0,138188					
Ocupación directa						0,000154
<b>Total</b>	0,450370	0,000227	0,072960	0,022612	0,010885	0,000154
<b>TOTAL</b>	<b>0,557207</b>					

Tabla 66: Huella ecológica total (respecto a la superficie construida)

Si consideráramos tanto la superficie construida sobre y bajo rasante:

Superficie construida	Bloque 1	Bloque 2
Planta sótano -2	1.476,09	1.312,08
Planta sótano -1	1.476,09	1.312,08
Planta baja	1.359,06	1.197,86
Planta primera	1.359,15	1.197,86
Planta segunda	1.363,35	1.201,53
Planta tercera	1.363,35	1.201,53
Total	8.397,09	7.422,94
<b>Superficie total (m<sup>2</sup>)</b>	<b>15.820,03</b>	

Tabla 67: Superficie construida sobre y bajo rasante de los bloques de viviendas

Impacto	Tipo huella (hag/año y m <sup>2</sup> )					
	Fósil	Bosques	Pastos	Mar	Cultivos	Superficie construida
Maquinaria	0,013392					
Electricidad	0,026396					
Agua		0,000147				
Alimentos	0,007253		0,047243	0,014642	0,007048	
Movilidad	0,000002					
Materiales	0,155098					
Residuos	0,089479					
Ocupación directa						0,000100
<b>Total</b>	0,291621	0,000147	0,047243	0,014642	0,007048	0,000100
<b>TOTAL</b>	<b>0,360799</b>					

Tabla 68: Huella ecológica total (respecto a la superficie construida sobre y bajo rasante)

Conceptualmente el resultado final representa el consumo anual de superficie para la construcción de 1 m<sup>2</sup> de bloque de viviendas. Es decir, que el consumo estimado para la construcción de un bloque de viviendas sería de aproximadamente 3.600 m<sup>2</sup> de superficie por m<sup>2</sup> construido, considerando que la fase de edificación dura un año. Una cifra que será necesario revisar una vez que las hipótesis planteadas se consoliden suficientemente. De todas maneras, debemos señalar que estas cifras muestran claramente lo intensiva que es la actividad edificatoria sobre el territorio y la necesidad de minimizar los impactos que genera.

También debemos aclarar que el territorio del que disponemos es el suelo construido, cuya superficie es prácticamente despreciable respecto al suelo teórico que necesitaríamos para poder absorber los impactos de la edificación. Por tanto, el análisis de déficit ecológico para este tipo de suelo no procede, porque no disponemos de suelos productivos que compensen los impactos.

Además, recalcar que nuestro análisis es anual, y corresponde a la fase de construcción, que es la que genera un mayor impacto en menor período de tiempo.





## Bibliografía por capítulos

### 1. Determinación de los elementos del proyecto

1. Base de Costes de la Construcción de Andalucía 2008. Consejería de Obras Públicas y Transportes. Junta de Andalucía. Página web:  
[http://www.juntadeandalucia.es/viviendayordenaciondelterritorio/www/jsp/estatica.jsp?pma=0&pmsa=0&e=planificacion/publicaciones/banco\\_precios\\_construccion/bcca08/bcca08.html](http://www.juntadeandalucia.es/viviendayordenaciondelterritorio/www/jsp/estatica.jsp?pma=0&pmsa=0&e=planificacion/publicaciones/banco_precios_construccion/bcca08/bcca08.html)
2. Ramírez de Arellano Agudo, A., Solís Guzmán J., Pérez Monge J., 2008. Generación de RCD versión 2.0 (Software de Evaluación de RCD para Tramitación de Licencias Municipales). Universidad de Sevilla, España.
3. Domenech Quesada J.L., 2007. Huella Ecológica y Desarrollo Sostenible. AENOR. Madrid, España.

### 2. Cálculo de la huella

1. Corporación de Reservas Estratégicas de Productos Petrolíferos. Informe resumen anual del Boletín Estadístico de Hidrocarburos. Año 2008. [http://www.cores.es/pdf/libromemoriacores\\_140709.pdf](http://www.cores.es/pdf/libromemoriacores_140709.pdf)
2. Situación en España. Marzo 2009. Servicios de Estudios Económicos BBVA. Página web:  
[http://serviciodeestudios.bbva.com/KETD/ketd/bin/esp/publi/espana/novedades/detalle/Nove346\\_204673.jsp?id=tcm:346-176089-64](http://serviciodeestudios.bbva.com/KETD/ketd/bin/esp/publi/espana/novedades/detalle/Nove346_204673.jsp?id=tcm:346-176089-64).
3. Pardo A., Ruiz M.A., SPSS 11. Guía para el análisis de datos. Mc-Graw-Hill. Madrid, 2002
4. Mercader Moyano P., 2009. 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 Kyoto. Tesis doctoral.

## Bibliografía por autores

1. Base de Costes de la Construcción de Andalucía 2008. Consejería de Obras Públicas y Transportes. Junta de Andalucía. Página web: [http://www.juntadeandalucia.es/viviendayordenacion-delterritorio/www/jsp/estatica.jsp?pma=0&pmsa=0&e=planificacion/publicaciones/banco\\_precios\\_construccion/bcca08/bcca08.html](http://www.juntadeandalucia.es/viviendayordenacion-delterritorio/www/jsp/estatica.jsp?pma=0&pmsa=0&e=planificacion/publicaciones/banco_precios_construccion/bcca08/bcca08.html)
2. Ramírez de Arellano Agudo, A., Solís Guzmán J., Pérez Monge J., 2008. Generación de RCD versión 2.0 (Software de Evaluación de RCD para Tramitación de Licencias Municipales). Universidad de Sevilla, España.
3. Domenech Quesada J.L., 2007. Huella Ecológica y Desarrollo Sostenible. AENOR. Madrid, España.
4. Corporación de Reservas Estratégicas de Productos Petrolíferos. Informe resumen anual del Boletín Estadístico de Hidrocarburos. Año 2008. [http://www.cores.es/pdf/libromemoriacores\\_140709.pdf](http://www.cores.es/pdf/libromemoriacores_140709.pdf)
5. Mercader Moyano P., 2009. 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 Kyoto. Tesis doctoral.
6. Pardo A., Ruiz M.A., SPSS 11. Guía para el análisis de datos. Mc-Graw-Hill. Madrid, 2002
7. Situación en España. Marzo 2009. Servicios de Estudios Económicos BBVA. Página web: [http://serviciodeestudios.bbva.com/KETD/ketd/bin/esp/publi/espana/novedades/detalle/Nove346\\_204673.jsp?id=tcm:346-176089-64](http://serviciodeestudios.bbva.com/KETD/ketd/bin/esp/publi/espana/novedades/detalle/Nove346_204673.jsp?id=tcm:346-176089-64).

## Fuentes bibliográficas de las figuras

Figuras 1, 3, 4, y 5:

Proyecto Dolmen.

Figura 7

Corporación de Reservas Estratégicas de Productos Petrolíferos. Informe resumen anual del Boletín Estadístico de Hidrocarburos. Año 2008.  
[http://www.cores.es/pdf/libromemoriacores\\_140709.pdf](http://www.cores.es/pdf/libromemoriacores_140709.pdf)

## Nomenclatura

### Variables

Variable	Expresión	Significado	Unidad medida
1	$P_g$	Presupuesto global	€
2	$CDE_{Edif.}$	Coste Directo de Ejecución de la obra de edificación según BCCA	€
3	$CDE_{urbaniz}$	Coste Directo de Ejecución de la obra de urbanización según BCCA	€
4	$P_{indirectos}$	Presupuesto de Costes Indirectos, según BCCA	€
5	$P_{ss}$	Presupuesto del Estudio de Seguridad y Salud, según BCCA	€
6	$HE_{pal}$	Huella ecológica ponderada de los alimentos	hag
7	$HE_c$	Huella ecológica	hag/comida
8	$h_c$	8 horas/comida	hora/comida
9	$N_h$	Número total de horas trabajadas	hora
10	$HE_{cf}$	HE fósil	hag/comida
11	$C$	Consumo	kg,GJ,m <sup>3</sup>
12	$IE$	Intensidad energética	GJ/t
13	$P_c$	Productividad combustible	GJ/ha
14	$FE_B$	Factor equivalencia de los bosques	hag/ha
15	$C_s$	Coste económico por menú	€
16	% alim	Porcentaje de cada alimento sobre presupuesto del menú	-
17	$HE_{cpa}$	Huella ecológica de pastos	hag/comida
18	$P_n$	Productividad natural	t/ha
19	$FE_p$	Factor de equivalencia de los pastos	hag/ha
20	$HE_{cm}$	Huella ecológica del mar	hag/comida

21	$FE_M$	Factor de equivalencia del mar	hag/ha
22	$HE_{cc}$	Huella ecológica de los cultivos	hag/comida
23	$FE_C$	Factor de equivalencia de los cultivos	hag/ha
24	D	Duración obra	hora
25	d	Duración de la obra	año
26	$h_e$	Horas efectivas trabajadas al año por trabajador	hora
27	$N_t$	Número de trabajadores	-
28	$N_v$	Número de vehículos empleados en la obra	-
29	O	Ocupación media por vehículo	-
30	$D_t$	Distancia total recorrida	km
31	$d_m$	Distancia media recorrida por cada vehículo	km
32	HE	Huella ecológica	ha/año
33	$C_m$	Consumo del material	kg
34	$E_{iem}$	Energía incorporada específica del material	MJ/kg
35	$P_{RSU}$	Peso total RSU	t
36	$G_{RSU}$	Generación media RSU	t/trabajador y año
37	$C_{mo}$	Consumo de materia orgánica	t
38	mo	Porcentaje de materia orgánica	-
39	$C_{RCD}$	Consumo de RCD	t
40	V	Volumen	$m^3$
41	$\rho$	Densidad media RCD	$t/m^3$
42	$IC_{RNXPp}$	Índice de conversión ponderado	hag/t
43	PE	Productividad energética	GJ/ha

44	$\%R_x$	Porcentaje de reciclaje	-
45	$\%SE_x$	Porcentaje de energía recuperada por reciclaje	-
46	$FE_F$	Factor de equivalencia de energía fósil	hag/ha
47	$IC_{\text{papel}}$	Índice de conversión ponderado del papel	hag/t
48	$HE_{pr}$	Huella ecológica ponderada de los residuos	hag
49	$HE_{ps}$	Huella ecológica ponderada de ocupación directa	hag
50	S	Superficie consumida	ha
51	$FE_{SC}$	Factor de equivalencia de la superficie construida	hag/ha
52	$HE_{pc}$	Huella ecológica ponderada del consumo de combustible	hag
53	$Cs_{ee}$	Coste energía eléctrica	kWh
54	$C_w$	Coste del kWh	€/kWh
55	$Cs_t$	Coste energía eléctrica	€
56	A	Coste alquiler del equipo	€
57	$P_e$	Potencia	€
58	I	Impuesto de electricidad	-
59	$HE_{pee}$	Huella ecológica ponderada del consumo de energía eléctrica	hag
60	$Cs_{ta}$	Coste agua	€
61	T	Duración de la obra	mes
62	$A_f$	Concepto fijo de abastecimiento	€/mes
63	$V_f$	Concepto fijo de vertido	€/mes
64	$D_f$	Concepto fijo de depuración	€/mes
65	$A_{co}$	Concepto variable de abastecimiento en función del consumo	€/m <sup>3</sup>
66	$A_{ca}$	Concepto variable de abastecimiento para canon de mejora y provincial	€/m <sup>3</sup>

67	$V_{co}$	Concepto variable de vertido en función del consumo	€/m <sup>3</sup>
68	$D_{co}$	Concepto variable de depuración en función del consumo	€/m <sup>3</sup>
69	$D_{ca}$	Concepto variable de depuración para canon de mejora	€/m <sup>3</sup>
70	$C_{ref}$	Consumo de agua referido al año de referencia	€
71	$C_{fin}$	Consumo de agua referido al año de finalización de la obra	€
72	IPC	Índice de precios de consumo	-
73	$HE_{pa}$	Huella ecológica ponderada del agua	hag
74	$P_b$	Productividad de los bosques	m <sup>3</sup> /ha
75	$M_m$	Medición de precio básico de material	u
76	$P_m$	Precio básico del material	€/u
77	$Cs_{tm}$	Coste total del material	€
78	$C_c$	Coefficiente conversión	kg/u
79	$E_{im}$	Energía incorporada del material	MJ
80	$E_{i_{sd}}$	Energía incorporada sin definir	MJ
81	$E_{i_{t-sd}}$	Energía incorporada definida	MJ
82	$Cs_{tsd}$	Coste del material cuya energía incorporada está sin definir	€
83	$Cs_{t-sd}$	Coste de material cuya energía incorporada está definida	€
84	$E_{i_{t-sd-v}}$	Energía incorporada definida, sin incluir el apartado varios	MJ
85	$Cs_{t-sd-v}$	Coste de material cuya energía incorporada está definida, sin incluir el apartado varios	€

## Relaciones

$$Pg = CDE_{edif} + CDE_{urbaniz} + P_{indirectos} + P_{ss} \quad (1)$$

$$\text{Consumo ener. electrica} = \text{Consumo ener. total} - \text{Consumo comb} \quad (2)$$



$$HE_{pal} = \frac{HE_c}{h_c} * N_h \quad (3)$$

$$HE_{cf} = \frac{C * IE}{P_c} * FE_B \quad (4)$$

$$HE_{cf} = \frac{C_s}{1000} \left[ \sum_i \frac{\%alim_i}{100} * C_i * IE_i \right] \frac{FE_B}{P_c} \quad (5)$$

$$HE_{cpa} = \frac{C}{P_n} * FE_P \quad (6)$$

$$HE_{cpa} = \frac{C_s}{1000} \left[ \sum_i \frac{\%alim_i * C_i}{100} \right] * FE_P \quad (7)$$

$$HE_{cm} = \frac{C}{P_n} * FE_M \quad (8)$$

$$HE_{cm} = \frac{C_s}{1000} \left[ \sum_i \frac{\%alim_i * C_i}{100} \right] * FE_M \quad (9)$$

$$HE_{cc} = \frac{C}{P_n} * FE_C \quad (10)$$

$$HE_{cc} = \frac{C_s}{1000} \left[ \sum_i \frac{\%alim_i * C_i}{100} \right] * FE_C \quad (11)$$

$$D = d * h_e \quad (12)$$

$$N_t = \frac{N_h}{D} \quad (13)$$

$$N_v = \frac{N_t}{O} \quad (14)$$

$$D_t = N_v * d_m \quad (15)$$

$$HE = \frac{\sum_i C m_i * E i e m_i}{P_c} \quad (16)$$

$$P_{RSU} = G_{RSU} * N_t * d \quad (17)$$

$$C_{mo} = m_o * P_{RSU} \quad (18)$$

$$C_{RCD} = V * \rho \quad (19)$$

$$IC_{RNP_xp} = \frac{IE_x}{PE} * \left(1 - \frac{\%R_x}{100} * \frac{\%SE_x}{100}\right) * FE_F \quad (20)$$

$$IC_{papel} = \frac{IE_{papel}}{PE} * \left(1 - \frac{\%R_{papel}}{100} * \frac{\%SE_{papel}}{100}\right) * FE_F + \frac{1}{P_n} * \left(1 - \frac{\%R_{papel}}{100} * 0,8\right) * FE_B \quad (21)$$

$$HE_{pr} = \sum_i IC_{RNP_p} * C_i \quad (22)$$

$$HE_{ps} = S * FE_{sc} \quad (23)$$

$$HE_{pc} = \frac{C}{P_c} * FE_B \quad (24)$$

$$C_{s_{ee}} = \frac{1}{C_w} \left[ \frac{C_{s_t} + A + P_e(1+l)}{(1+l)} \right] \quad (25)$$

$$HE_{pee} = \sum_i \frac{C_i}{PE_i \text{ (GJ/ha)}} * FE_B \quad (26)$$

$$V = \frac{C_{s_{ta}} - T * (A_f + V_f + D_f)}{A_{co} + A_{ca} + V_{co} + D_{co} + D_{ca}} \quad (27)$$

$$C_{ref} = C_{fin} \prod_{i=fin}^{i=ref-1} (1 + IPC/100)_i \quad (28)$$

$$HE_{pa} = \frac{C}{P_b} * FE_B \quad (29)$$

$$Cs_{tm} = M_m * P_m \quad (30)$$

$$Cm = M_m * C_c \quad (31)$$

$$Eim = Cm * Eiem \quad (32)$$

$$Ei_{sd} = Ei_{t-sd} \frac{Cs_{tsd}}{Cs_{t-sd}} \quad (33)$$

$$Ei_{sd} = Ei_{t-sd-v} \frac{Cs_{tsd}}{Cs_{t-sd-v}} \quad (34)$$

## Abreviaturas

1. ED: Estudio de Detalle
2. LOUA: Ley de Ordenación Urbanística de Andalucía
3. PE: Proyecto de Edificación
4. PEM: Presupuesto de Ejecución Material
5. PGOU: Plan General de Ordenación Urbanística de Andalucía
6. PR: Proyecto de Reparcelación
7. PU: Proyecto de Urbanización
8. SUC: Suelo Urbanizable Consolidado
9. SUNC: Suelo Urbanizable no Consolidado
10. UE: Unidad de Ejecución
11. VPO: Vivienda de Protección Oficial



## Conclusiones

En la primera parte de este trabajo se ha establecido el estado de la cuestión respecto al indicador huella ecológica, definiendo las escalas de aplicación para buscar modelos de aplicación a la edificación. A continuación, se han definido los objetivos de la investigación y se ha establecido una metodología para la determinación de la huella ecológica de la construcción de edificios residenciales.

De la realización de esta primera parte se pueden extraer conclusiones parciales interesantes:

1. Los estudios de huella ecológica están centrados fundamentalmente a escala urbana, lo que dificulta la búsqueda de información extrapolable a escala edificio.
2. Es complicado definir las unidades de medición del indicador para los edificios, debido a las particularidades de la actividad constructiva.
3. La heterogeneidad de los impactos hace que la metodología sea complicada y laboriosa.
4. La dependencia de los análisis respecto a tablas y gráficos hace necesario la revisión periódica de los mismos.
5. La metodología propuesta pretende ser eminentemente práctica, permitiendo al usuario disponer de suficientes elementos para el análisis de los edificios, sin necesidad de emplear complicadas herramientas informáticas.
6. Se considera necesario profundizar en la investigación de los aspectos más novedosos de la investigación, tales como los impactos generados por el consumo de agua y la generación de residuos.
7. Igualmente, el estudio de la energía incorporada de los materiales de construcción debe ser otra línea que exige una mayor profundización.
8. De la misma forma que se ha estudiado la fase de construcción del edificio, debe continuarse el estudio del indicador huella ecológica para las fases de uso y desmontaje del mismo.

Una vez establecida esa metodología, la segunda parte de la investigación consiste en la aplicación práctica del modelo teórico, empleando como tipología representativa edificios de bloques de vi-

viendas. En esta parte se ha puesto en cuestión el modelo para ver si era suficientemente aplicable al sector edificación.

De dicho planteamiento se han establecido también conclusiones interesantes:

1. Se ha constatado la dificultad de establecer un presupuesto global de proyecto ajustado a una base de costes, en este caso la BCCA, ya que la mayoría de las empresas constructoras suelen disponer de bases de costes propias.
2. El cálculo del presupuesto global ha hecho necesario determinar Costes Directos e Indirectos de forma completa, con la dificultad posterior de la integración de dichos costes dentro de la metodología de cálculo del indicador, ya que la bibliografía relativa a huella ecológica siempre ha obviado el cálculo de Costes Indirectos asociados a cualquier actividad empresarial.
3. El cálculo conjunto de los impactos derivados de la edificación y la urbanización ha complejizado los procedimientos.
4. El análisis empírico ha exigido asumir múltiples hipótesis, muchas de ellas fácilmente criticables. No es el objetivo de esta investigación considerar dichas hipótesis como verdades absolutas, sino como un posible camino que debe ser mejorado con futuras aportaciones.
5. La consideración del factor temporal se ha demostrado fundamental, ya que condiciona hipótesis de análisis a lo largo de toda la metodología.
6. Asumir como unidad de cálculo  $\text{hag/año}$  permite mayor generalización de los resultados. No se han mostrado resultados en términos de emisiones de  $\text{CO}_2$  para no desviar la atención sobre los objetivos del estudio.
7. La huella ecológica de combustible y eléctrica implica el cálculo de la maquinaria empleada en la construcción de los bloques de viviendas, por lo que exige la medición y la presupuestación de todo el proyecto. Además, el cálculo de la huella eléctrica es dependiente del tipo de facturación eléctrica existente en el momento en que se realice el análisis, por lo que será imprescindible disponer de esos datos. El ejemplo aportado sirve de guía para dicho análisis.
8. La huella vinculada al consumo de agua obliga a buscar base de datos de obras de características similares a la estudiada, y a conocer los consumos de agua asociados a ellas. Además, el cálculo de esta huella exige disponer de información sobre el tipo de facturación, al igual que para el caso de la electricidad. El ejemplo mostrado puede servir de guía.
9. La huella vinculada al consumo de alimentos y a la movilidad implica el cálculo de la cantidad de horas de mano de obra empleada en la ejecución del proyecto, por lo que de nuevo será necesario disponer de la medición y presupuestación del mismo.
10. La huella de materiales de construcción obliga no sólo a disponer de la medición y presupuestación del proyecto, sino al uso de coeficientes que permitan transformar los recursos materiales empleados en consumo energético. Dichos coeficientes proceden de distintas fuentes bibliográficas, por lo que se considera prudente comentar la cautela respecto a los resultados derivados de su empleo.

11. La huella de los residuos es muy heterogénea, debido al origen de los mismos. Es fácilmente adivinable que la mejora en los procesos de gestión de los flujos de los mismos hará posible disminuir notablemente su huella.
12. La huella de superficie construida es poco representativa respecto al total de los impactos, lo que puede hacer pensar que la tipología edificatoria no es un factor representativo en el análisis de huella ecológica. Sin embargo, el análisis de todos los impactos sí que hace pensar que la tipología condiciona el nivel de agresión sobre el entorno.
13. Atendiendo a los resultados globales, es claramente destacable que el tipo de huella más representativa es la de origen fósil. Dentro de ella, el reparto es muy variable, aunque son muy significativos los efectos del consumo de materiales de construcción y de la generación de residuos. Para este tipo de actividad la movilidad no resulta ser un aspecto muy determinante. Las otras fuentes de la huella fósil son la maquinaria, la electricidad y los alimentos. Respecto a este último, decir que su cálculo implica asumir unas hipótesis que derivan en resultados algo chocantes. Así, el consumo de alimentos origina huella de distintos tipos, conforme al origen de los distintos alimentos, y además todas ellas suficientemente representativas. Por último, la huella del consumo de agua y territorio tienen una incidencia poco apreciable en este estudio. Todos estos resultados exigirán su revisión futura para la mejora del modelo mostrado.





## Anexos

En este apartado presentamos las tablas que han sido empleadas para el cálculo de los resultados mostrados en las páginas anteriores, agrupadas en función de su aplicación.

Así, en las tablas comprendidas entre la 1 y la 19 se muestran los cálculos para obtener la energía incorporada de los distintos materiales empleados en la edificación estudiada. Un resumen de los resultados obtenidos se muestra en la tabla 49 de la parte práctica.

En las tablas comprendidas entre la 20 y la 36 se muestran los cálculos para obtener la energía incorporada de los distintos materiales empleados en la urbanización estudiada. Un resumen de los resultados obtenidos se muestra en la tabla 50 de la parte práctica.

En las tablas 37 a la 41 se muestran los cálculos para obtener la energía incorporada de los distintos materiales empleados en la seguridad de la edificación estudiada. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 52 de la parte práctica.

En la tabla 42 se muestra la asignación de materiales a las partidas de costes indirectos. En la tabla 43, se agrupan dichos materiales para determinar el coste económico de los mismos. Esta última tabla es exactamente igual que la 51 de la parte práctica.

En las tablas comprendidas entre la 44 y la 47 se muestra un resumen del coste económico de la obra: CDE de la edificación (tabla 44), CDE urbanización (45), presupuesto del ESS de edificación (46) y presupuesto de Costes Indirectos (47).

Las tablas 48, 49 y 50 recogen los costes de la mano de obra: edificación (48), urbanización (49) y seguridad (50).

	u	Mm (u)	Cc (kg/u)	Pm (€/u)	Cstm (€)	Cm (kg)	Eiem (MJ/kg)	Eim (MJ)
ABRAZADERA DIÁM. 40 A 50 mm	u	8,000	0,05	0,40	3,200	0,400	40,00	16,00
ACERO B 400 S	kg	10,500	1,00	0,65	6,825	10,500	40,00	420,00
ACERO B- 500- S	kg	234.915,315	1,00	0,77	180.884,793	234.915,315	40,00	9.396.612,60
ACERO ELECTROSOLDADO ME B 500 T EN MALLA	kg	72,930	1,00	0,89	64,908	72,930	40,00	2.917,20
ACERO EN PERFILES TUBULARES, MANUFACTURADO	kg	7.542,410	1,00	1,66	12.520,401	7.542,410	40,00	301.696,40
ACERO PERFILES S 275 JR, SOPORTES SIMPLES	kg	10,500	1,00	0,70	7,350	10,500	40,00	420,00
ALAMBRE DE ATAR	kg	1.078,500	1,00	1,17	1.261,845	1.078,500	40,00	43.140,00
BAÑERA CHAPA ACERO ESMAL. C. BLANCO DE 1,60 m	u	109,140	25,00	66,00	7.203,240	2.728,500	40,00	109.140,00
BRIDA GALV. PARA CONDUCTO CIRCULAR DE 500 mm DIÁM.	u	64,670	22,50	7,16	463,037	1.455,075	40,00	58.203,00
BUZÓN CARTERÍA	u	111,000	1,23	7,59	842,490	136,863	40,00	5.474,52
CELOSÍA FIJA LAMAS FIJAS AC. GALV. CON SOPORTES	m <sup>2</sup>	7,700	30,30	60,15	463,155	233,310	40,00	9.332,40
CONDUCTO HELICOIDAL CHAPA GALV. 500 mm DIÁM.	m	99,490	7,63	44,81	4.458,147	759,109	40,00	30.364,35
DOBLE BARRA ABATIBLE, PARED, ACERO CROMADO	u	3,000	0,73	124,52	373,560	2,175	40,00	87,00
EQUIPO GRIFERIA MONOMANDO BAÑO-DUCHA 1ª CAL.	u	214,000	1,64	54,13	11.583,820	350,960	177,00	62.119,92
EQUIPO GRIFERIA MONOMANDO BIDÉ 1ª CAL.	u	214,000	1,20	44,62	9.548,680	256,800	177,00	45.453,60
EQUIPO GRIFERIA MONOMANDO FREGADERO 1ª CAL.	u	107,000	1,39	46,09	4.931,630	148,730	177,00	26.325,21

continúa

EQUIPO GRIFERIA MONOMANDO LAVABO 1ª CAL.	u	214,000	1,20	45,36	9.707,040	256,800	177,00	45.453,60
FREGADERO UN SENO Y ESCR. AC. INOX. DE 1,00 m	u	109,140	5,00	87,12	9.508,277	545,700	177,00	96.588,90
GUIA ACERO ENROLLABLE PLÁSTICO	m	570,925	0,10	1,07	610,890	57,093	40,00	2.283,70
JUEGO DE RAMALILLOS	u	481,500	0,08	3,86	1.858,590	36,113	40,00	1.444,50
JUEGO ESCUADRAS ACERO INOXIDABLE	u	214,000	0,15	4,07	870,980	32,100	177,00	5.681,70
JUEGO TORNILLOS FIJACIÓN CROMADOS CAL. MEDIA	u	321,000	0,08	2,85	914,850	24,075	40,00	963,00
LLAVE PASO CON GRIFO VACIADO 1 1/2"	u	2,000	0,50	49,79	99,580	1,000	40,00	40,00
LLAVE PASO DIÁM. 1/2" (10/15 mm)	u	214,000	0,50	3,45	738,300	107,000	40,00	4.280,00
LLAVE PASO ESCUADRA DIÁM. 1/2"	u	214,000	0,50	4,31	922,340	107,000	40,00	4.280,00
MARCO DE CHAPA GALV. O MADERA PARA REJILLA DE 250x150 mm	u	856,000	0,16	3,73	3.192,880	136,960	40,00	5.478,40
PANEL METÁLICO 50X50 CM	u	224,680	4,63	12,36	2.777,045	1.040,044	40,00	41.601,75
PICA DE ACERO COBRIZADO (2 m) GRA.	u	16,000	1,88	20,03	320,480	30,048	40,00	1.201,92
PLATO DUCHA CHAPA ESMALTADA C. BLANCO 0,70X0,70 cm	u	109,140	10,57	28,26	3.084,296	1.153,610	40,00	46.144,39
PRECERCO TUBO ACERO GALVANIZADO CORREDERA	m	4.378,600	2,65	3,50	15.325,100	11.616,426	40,00	464.657,03
PUERTA ABATIBLE AC. CONFORMADO, CHAPA GALV. Y REJILLA	m²	210,305	12,26	86,52	18.195,589	2.577,498	40,00	103.099,92
PUERTA CORTAFUEGO ABATIBLE UNA HOJA TIPO RF-60	m²	68,200	37,75	179,82	12.263,724	2.574,277	40,00	102.971,09
PUERTA GARAJE BASCULANTE CH. ACERO PLEGADA	m²	20,500	39,25	100,60	2.062,300	804,625	40,00	32.185,00

PUNTAL METÁLICO DE 3 m	u	85,130	15,70	20,82	1.772,407	1.336,541	40,00	53.461,64
REGULADOR GAS BUTANO	u	107,000	12,30	10,73	1.148,110	1.316,100	40,00	52.644,00
REJILLA DE FUNDICION DE DIÁM. 150 mm	u	30,000	24,00	9,88	296,400	720,000	40,00	28.800,00
TUBO ACERO DIÁM. 40 mm	m	24,000	4,29	6,90	165,600	102,960	40,00	4.118,40
TUBO ACERO GALVANIZADO DIÁM. 1 1/2"	m	12,500	3,71	10,96	137,000	46,375	40,00	1.855,00
TUBO ACERO GALVANIZADO DIÁM. 2"	m	10,000	5,22	15,36	153,600	52,200	40,00	2.088,00
VÁLVULA RETENCIÓN DIÁM. 2" (50/60 mm)	u	10,000	1,39	16,41	164,100	13,920	40,00	556,80
<b>TOTAL</b>					<b>320.906,557</b>	<b>274.390,540</b>		<b>11.193.600,942</b>

Tabla 1: Cálculo energía incorporada. Acero\_ edificación

	u	Mm (u)	Cc (kg/u)	Pm (€/u)	Cstm (€)	Cm (kg)	Eiem (MJ/kg)	Eim (MJ)
ARENA DE CUARZO	kg	4.782,760	1,00	0,19	908,724	4.782,760	0,0800	382,6208
ARENA FINA	m <sup>3</sup>	222,080	1.500,00	9,35	2.076,448	333.120,000	0,0800	26.649,6000
ARENA GRUESA	m <sup>3</sup>	1.021,252	1.500,00	9,94	10.151,243	1.531.877,745	0,0800	122.550,2196
ÁRIDO MÁRMOL SELECCIONADO	kg	82.555,520	1,00	0,09	7.429,997	82.555,520	0,0800	6.604,4416
GRAVA	m <sup>3</sup>	461,510	1.700,00	9,31	4.296,658	784.567,000	0,1000	78.456,7000
<b>TOTAL</b>					<b>24.863,070</b>	<b>2.736.903,025</b>		<b>234.643,582</b>

Tabla 2: Cálculo energía incorporada. Arena\_ edificación

	u	Mm (u)	Cc (kg/u)	Pm (€/u)	Cstm (€)	Cm (kg)	Eiem (MJ/kg)	Eim (MJ)
BLOQUE HORMIGÓN 40x20x12 cm	u	22.803,110	11,00	0,56	12.769,742	250.834,210	2,0000	501.668,4200
CONDUCTO DE VENTILACIÓN DOBLE DE HORMIGÓN	m	834,890	191,67	5,96	4.975,944	160.023,366	2,0000	320.046,7326
HORMIGÓN CELULAR	m <sup>3</sup>	303,740	500,00	37,87	11.502,634	151.870,000	1,0000	151.870,0000
HORMIGÓN HA- 25/ B/ 40/ lia	m <sup>3</sup>	1.271,370	2.500,00	69,32	88.131,368	3.178.425,000	1,0000	3.178.425,0000
HORMIGÓN HA- 25/ P/20/ lia	m <sup>3</sup>	2.985,385	2.500,00	69,32	206.946,888	7.463.462,500	1,0000	7.463.462,5000
HORMIGÓN HA- 30/B/ 15/ lia	m <sup>3</sup>	1.184,425	2.500,00	102	120.811,350	2.961.062,500	1,0000	2.961.062,5000
HORMIGÓN HM- 20/ P/20/ Ila	m <sup>3</sup>	156,675	2.500,00	90	14.100,750	391.687,500	1,0000	391.687,5000
HORMIGÓN HM-20/P/20/I, SUMINISTRADO	m <sup>3</sup>	6,590	2.300,00	62,15	409,569	15.157,000	1,0000	15.157,0000
TAPA DE HORMIGÓN ARMADO CON CERCO	m <sup>2</sup>	10,070	100,91	26,13	263,129	1.016,164	2,0000	2.032,3274
<b>TOTAL</b>					<b>459.911,374</b>	<b>14.573.538,240</b>		<b>14.985.411,980</b>

Tabla 3: Cálculo energía incorporada. Hormigón\_ edificación

	u	Mm (u)	Cc (kg/u)	Pm (€/u)	Cstm (€)	Cm (kg)	Eiem (MJ/kg)	Eim (MJ)
CEMENTO BLANCO BL II/A-L 42,5 R EN SACOS	t	7,110	1.000,000	185,19	1.316,701	7.110,000	7,0000	49.770,0000
CEMENTO CEM II/A-L 32,5 N EN SACOS	t	173,069	1.000,000	92,54	16.015,808	173.069,030	7,0000	1.211.483,2100
<b>TOTAL</b>					<b>17.332,509</b>	<b>180.179,030</b>		<b>1.261.253,210</b>

Tabla 4: Cálculo energía incorporada. Cemento\_ edificación

	u	Mm (u)	Cc (kg/u)	Pm (€/u)	Cstm (€)	Cm (kg)	Eiem (MJ/kg)	Eim (MJ)
AZULEJO COLOR LISO 15x15 cm	u	335.658,510	0,30	0,17	57.061,947	100.697,553	8,0000	805.580,4240
BALDOSA CERÁMICA 14x28 cm	u	145.339,470	0,74	0,17	24.707,710	107.551,208	2,9000	311.898,5026
LADRILLO CERÁMICO GAFA 25 X 11,5 X 7 cm	mu	6,670	2.100,00	87,34	582,558	14.007,000	2,9000	40.620,3000
LADRILLO CERÁMICO HUECO DOBLE 24 X 11,5 X 7 cm	mu	4,350	1.320,00	95,24	414,294	5.742,000	2,9000	16.651,8000
LADRILLO CERÁMICO HUECO DOBLE 24 X 11,5 X 9 cm	mu	239,610	1.550,00	98,28	23.548,871	371.395,500	2,9000	1.077.046,9500
LADRILLO CERÁMICO HUECO SENCILLO 24 X 11,5 X 4 cm	mu	144,400	1.948,00	63,4	9.154,960	281.291,200	2,9000	815.744,4800
LADRILLO CERÁMICO PERFORADO, TALADRO PEQUEÑO, REVESTIR 24 X 11,5X 5 cm	mu	318,580	2.100,00	75,5	24.052,790	669.018,000	2,8500	1.906.701,3000
LADRILLO PERFORADO TALADRO PEQUEÑO PARA REVESTIR	mu	5,696	2.100,00	75,5	430,048	11.961,600	2,8500	34.090,5600
RASILLA CERAMICA	u	254,990	0,74	0,17	43,348	188,693	2,9000	547,2085
RODAPIE BALDOSA CERÁMICA 14X28 cm	u	2.860,040	0,74	0,17	486,207	2.116,430	2,9000	6.137,6458
<b>TOTAL</b>					<b>140.482,732</b>	<b>1.563.969,183</b>		<b>5.015.019,171</b>

Tabla 5: Cálculo energía incorporada. Cerámico\_ edificación

	u	Mm (u)	Cc (kg/u)	Pm (€/u)	Cstm (€)	Cm (kg)	Eiem (MJ/kg)	Eim (MJ)
ENTRAMADO METÁLICO PARA CARTÓN-YESO 46x600 mm	m <sup>2</sup>	3.835,620	2,700	4,48	17.183,578	10.356,174	7,0000	72.493,2180
ENTRAMADO METÁLICO PARA TABIQUE CARTÓN-YESO 46x400 mm	m <sup>2</sup>	9.162,400	2,700	5,59	51.217,816	24.738,480	7,0000	173.169,3600
PANEL DE CARTÓN-YESO DE 13 mm DE ESPESOR	m <sup>2</sup>	21.253,450	10,000	4,55	96.703,198	212.534,500	7,0000	1.487.741,5000
PANEL DE CARTÓN-YESO DE 15 mm DE ESPESOR	m <sup>2</sup>	11.216,690	12,000	5,21	58.438,955	134.600,280	7,0000	942.201,9600
ESCAYOLA E-30 ENVASADA	t	2,287	1.000,000	64,70	147,991	2.287,340	2,5000	5.718,3500
YESO BLANCO YF	t	62,599	1.000,000	60,35	3.777,847	62.598,960	2,5000	156.497,4000
YESO NEGRO YG	t	187,587	1.000,000	56,05	10.514,231	187.586,640	2,5000	468.966,6000
PASTA PARA JUNTAS DE T. CARTÓN- YESO	kg	10.973,600	1,000	0,98	10.754,128	10.973,600	2,5000	27.434,0000
PLACA DE YESO LAMINADO Y FIBRA DE VIDRIO ADHERIDA 13+25 mm	m <sup>2</sup>	6.454,440	14,400	17,89	115.469,932	92.943,936	7,0000	650.607,5520
PLACA ESCAYOLA LISA	m <sup>2</sup>	3.006,580	14,273	3,85	11.575,333	42.912,916	2,5000	107.282,2909
TABICA DE ESCAYOLA	m <sup>2</sup>	84,640	1,000	17,18	1.454,115	84,640	2,5000	211,6000
<b>TOTAL</b>					<b>377.237,123</b>	<b>781.617,466</b>		<b>4.092.323,831</b>

Tabla 6: Cálculo energía incorporada. Yeso\_ edificación



	u	Mm (u)	Cc (kg/u)	Pm (€/u)	Cstm (€)	Cm (kg)	Eiem (MJ/kg)	Eim (MJ)
CABLE COAXIAL EXPANSIÓN F-SICA, 30 dB/100 M. EN FI	m	32,000	0,01	0,55	17,600	0,320	100,0000	32,0000
CABLE COBRE 1x1 mm <sup>2</sup> /750 V	m	1.070,000	0,01	1,31	1.401,700	14,980	100,0000	1.498,0000
CABLE COBRE 1x1,5 mm <sup>2</sup> /750 V	m	25.698,740	0,02	0,15	3.854,811	488,276	100,0000	48.827,6060
CABLE COBRE 1x16 mm <sup>2</sup> /750 V	m	10,100	0,18	1,60	16,160	1,768	100,0000	176,7500
CABLE COBRE 1x2,5 mm <sup>2</sup> /750 V	m	43.950,000	0,02	0,22	9.669,000	966,900	100,0000	96.690,0000
CABLE COBRE 1x35 mm <sup>2</sup> /1000 V	m	45,760	0,43	4,16	190,362	19,768	100,0000	1.976,8320
CABLE COBRE 1x4 mm <sup>2</sup> /750 V	m	606,000	0,05	0,45	272,700	27,270	100,0000	2.727,0000
CABLE COBRE 1x6 mm <sup>2</sup> /750 V	m	10.606,270	0,06	0,60	6.363,762	668,195	100,0000	66.819,5010
CABLE DE COBRE DESNUDO	kg	50,590	1,00	4,66	235,749	50,590	100,0000	5.059,0000
CARTUCHO FUSIBLE 80 A INTENSIDAD	u	342,000	0,42	3,94	1.347,480	143,640	100,0000	14.364,0000
CONDUCTOR COBRE TELEMANDO 3 CONDUCTORES	m	3.474,600	0,02	1,19	4.134,774	55,594	100,0000	5.559,3600
FUSIBLE CARTUCHO 50 AMP. S/ CARTUCHO	u	115,000	0,06	51,48	5.920,200	6,325	100,0000	632,5000
PUNTO DE PUESTA A TIERRA	u	116,000	0,10	11,67	1.353,720	12,064	100,0000	1.206,4000
TUBO COBRE DESHIDRATADO 15,87x0,81 mm DIÁM. EXT. x ESP. (5/8")	m	532,340	0,33	3,41	1.815,279	175,672	100,0000	17.567,2200
TUBO COBRE DESHIDRATADO 28,57x0,98 mm DIÁM. EXT. x ESP. (11/8")	m	562,100	0,60	10,75	6.042,575	337,260	100,0000	33.726,0000
TUBO COBRE DIÁM. 13/15 mm	m	1.920,770	0,39	3,37	6.472,995	749,100	100,0000	74.910,0300

continúa

TUBO COBRE DIÁM. 16/18 mm	m	1.639,090	0,48	4,69	7.687,332	786,763	100,0000	78.676,3200
TUBO COBRE DIÁM. 20/22 mm	m	2.937,830	0,59	5,06	14.865,420	1.733,320	100,0000	173.331,9700
TUBO DE COBRE CROMADO VISTO DIÁM. 8 mm	m	267,500	0,19	1,79	478,825	51,895	100,0000	5.189,5000
<b>TOTAL</b>					<b>72.140,444</b>	<b>6.289,700</b>		<b>628.969,989</b>

Tabla 7: Cálculo energía incorporada. Cobre\_ edificación

	u	Mm (u)	Cc (kg/u)	Pm (€/u)	Cstm (€)	Cm (kg)	Eiem (MJ/kg)	Eim (MJ)
CAL AÉREA APAGADA EN POLVO EN SACOS	t	17,842	1.000,00	85,09	1.518,142	17.841,600	4,0000	71.366,4000
CAL VIVA	t	15,130	1.000,00	102,11	1.544,924	15.130,000	4,0000	60.520,0000
<b>TOTAL</b>					<b>3.063,066</b>	<b>32.971,600</b>		<b>131.886,400</b>

Tabla 8: Cálculo energía incorporada. Cal\_ edificación

	u	Mm (u)	Cc (kg/u)	Pm (€/u)	Cstm (€)	Cm (kg)	Eiem (MJ/kg)	Eim (MJ)
BIDÉ DE PORCELANA C. BLANCO CALIDAD MEDIA	u	109,140	18,30	35,70	3.896,298	1.997,262	27,5000	54.924,7050
INODORO CON TANQUE BAJO C. BLANCO CAL. MEDIA	u	218,280	29,80	102,35	22.340,958	6.504,744	27,5000	178.880,4600
LAVABO PORCELANA C. BLANCO DE 0,50 m CAL. MEDIA	u	109,140	12,00	19,30	2.106,402	1.309,680	27,5000	36.016,2000
LAVABO PORCELANA C. BLANCO DE 0,60 m CAL. MEDIA	u	109,140	12,20	27,23	2.971,882	1.331,508	27,5000	36.616,4700
PEDESTAL PORCELANA C. BLANCO CALIDAD MEDIA	u	218,280	12,00	22,40	4.889,472	2.619,360	27,5000	72.032,4000
PILETA LAVADERO PORC. C. BLANCO DE 0,60 m	u	109,140	18,75	70,40	7.683,456	2.046,375	27,5000	56.275,3125
<b>TOTAL</b>					<b>43.888,468</b>	<b>15.808,929</b>		<b>434.745,548</b>

Tabla 9: Cálculo energía incorporada. Porcelana\_ edificación

	u	Mm (u)	Cc (kg/u)	Pm (€/u)	Cstm (€)	Cm (kg)	Eiem (MJ/kg)	Eim (MJ)
ASIENTO Y TAPA PVC	u	214,000	0,50	8,63	1.846,820	107,000	80,0000	8.560,0000
BAJANTE PVC DIÁM. 110 mm	m	799,740	1,39	4,56	3.646,814	1.111,639	80,0000	88.931,0880
BOTE SIFÓNICO PVC DIÁM. 125 mm	u	214,000	0,20	6,73	1.440,220	42,800	80,0000	3.424,0000
CAZOLETA SIFÓNICA PVC DIÁM. 160 mm	u	34,000	1,98	27,12	922,080	67,388	80,0000	5.391,0400
CONDUCTO DE EVACUACIÓN SPIROFLEX	u	107,000	0,50	6,97	745,790	53,500	80,0000	4.280,0000
DEFLECTOR	u	107,000	3,50	3,07	328,490	374,500	80,0000	29.960,0000
DESAGUE BAÑERA 1 1/4" C/ REBOSADERO	u	214,000	0,31	9,20	1.968,800	66,340	80,0000	5.307,2000
MANGUETÓN PVC DIÁM. 110 mm	m	214,000	1,49	13,49	2.886,860	318,860	80,0000	25.508,8000
MANGUITO 3/4"	u	117,000	0,35	1,18	138,060	40,950	80,0000	3.276,0000
MANGUITO 7/8"	u	117,000	0,54	1,15	134,550	63,180	80,0000	5.054,4000
PERSIANA ENROLLABLE PVC DE 1 mm	m <sup>2</sup>	490,870	6,07	15,90	7.804,833	2.979,581	80,0000	238.366,4720
RULO Y MECANISMO DE PERSIANA	u	236,825	7,00	8,87	2.100,638	1.657,775	80,0000	132.622,0000
TUBO FLEXIBLE DE 3/4"X 50 cm	m	117,000	0,05	5,55	649,350	5,850	80,0000	468,0000
TUBO PVC DIÁM. 125 mm 4 kg/cm <sup>2</sup>	m	664,850	3,41	6,11	4.062,234	2.263,814	80,0000	181.105,1400
TUBO PVC DIÁM. 160 mm 4 kg/cm <sup>2</sup>	m	109,280	4,36	9,86	1.077,501	476,242	80,0000	38.099,3792
TUBO PVC DIÁM. 200 mm 4 kg/cm <sup>2</sup>	m	46,020	5,45	15,46	711,469	250,717	80,0000	20.057,3568
TUBO PVC DIÁM. 250 mm 4 kg/cm <sup>2</sup>	m	21,350	6,81	23,84	508,984	145,394	80,0000	11.631,4800

TUBO PVC DIÁM. 32 mm	m	664,630	0,87	1,10	731,093	579,557	80,0000	46.364,5888
TUBO PVC DIÁM. 40 mm	m	1.053,680	1,09	1,40	1.475,152	1.148,511	80,0000	91.880,8960
TUBO PVC DIÁM. 50 mm	m	375,000	1,36	1,80	675,000	510,750	80,0000	40.860,0000
TUBO PVC FLEXIBLE CORRUGADO DIÁM. 13 mm	m	28.805,000	0,02	0,16	4.608,800	547,295	80,0000	43.783,6000
TUBO PVC FLEXIBLE CORRUGADO DIÁM. 16 mm	m	202,000	0,02	0,21	42,420	3,838	80,0000	307,0400
TUBO PVC FLEXIBLE CORRUGADO DIÁM. 23 mm	m	1.314,610	0,02	0,31	407,529	24,978	80,0000	1.998,2072
TUBO PVC FLEXIBLE CORRUGADO DIAM. 29 mm	m	2.447,200	0,02	0,44	1.076,768	46,497	80,0000	3.719,7440
<b>TOTAL</b>					<b>39.990,255</b>	<b>12.886,955</b>		<b>1.030.956,432</b>

Tabla 10: Cálculo energía incorporada. PVC\_ edificación

	u	Mm (u)	Cc (kg/u)	Pm (€/u)	Cstm (€)	Cm (kg)	Eiem (MJ/kg)	Eim (MJ)
CERCO SAPELLY 185X30 mm	m	6,410	2,72	14,3	91,663	17,435	3,0000	52,3056
CERCO SAPELLY 70X40 mm	m	4.457,075	1,90	6,5	28.970,988	8.486,271	3,0000	25.458,8124
CERCO SAPELLY 90X50 mm	m	527,110	3,06	10,85	5.719,144	1.612,957	3,0000	4.838,8698
HOJA NORMALIZADA SAPELLY DE 35 mm	u	680,305	11,20	21,3	14.490,497	7.619,416	3,0000	22.858,2480
HOJA NORMALIZADA SAPELLY DE 45 mm	u	108,325	11,20	33,7	3.650,553	1.213,240	3,0000	3.639,7200
HOJA VIDRIERA SAPELLY 35 mm	u	223,420	3,44	31,47	7.031,027	768,565	3,0000	2.305,6944
LISTÓN DE PINO FLANDES 185X30 mm	m	6,580	1,93	6,93	45,599	12,699	3,0000	38,0982
LISTÓN DE PINO FLANDES 70X30 mm	m	4.488,560	0,74	2,91	13.061,710	3.299,092	3,0000	9.897,2748
LISTÓN DE PINO FLANDES 90X3 mm	m	542,170	0,94	3,46	1.875,908	509,640	3,0000	1.528,9194
MADERA DE PINO EN TABLA	m <sup>3</sup>	34,060	425,00	195,18	6.647,831	14.475,500	3,0000	43.426,5000
MADERA DE PINO EN TABLÓN	m <sup>3</sup>	25,530	425,00	225,64	5.760,589	10.850,250	3,0000	32.550,7500
MADERA SAPELLY	m <sup>3</sup>	2,030	650,00	746,85	1.516,106	1.319,500	3,0000	3.958,5000
TAPAJUNTAS SAPELLY 60X15 mm	m	8.932,425	0,61	1,36	12.148,098	5.448,779	3,0000	16.346,3378
TAPAJUNTAS SAPELLY 70X20 mm	m	1.075,740	0,25	1,56	1.678,154	263,556	3,0000	790,6689
<b>TOTAL</b>					<b>102.687,866</b>	<b>55.896,900</b>		<b>167.690,699</b>

Tabla 11: Cálculo energía incorporada. Madera \_ edificación

	u	Mm (u)	Cc (kg/u)	Pm (€/u)	Cstm (€)	Cm (kg)	Eiem (MJ/kg)	Eim (MJ)
AGARRADORES DE LATÓN PRIMERA CALIDAD	u	38,575	0,01	3,21	123,826	0,463	100,0000	46,2900
CERRADURA DE LLAVE PLANA	u	16,200	0,22	7,36	119,232	3,564	100,0000	356,4000
CERRADURA LLAVE PLANA 1ª CALIDAD	u	84,125	0,22	20,50	1.724,563	18,508	100,0000	1.850,7500
CERRADURA PUERTA DE ENTRADA	u	107,575	0,22	18,10	1.947,108	23,667	100,0000	2.366,6500
JUEGO DE POMOS LATÓN MÓVILES	u	107,560	0,31	11,52	1.239,091	33,344	100,0000	3.334,3600
JUEGO DE POMOS O MANIVELAS DE LATÓN	u	864,625	0,35	7,66	6.623,028	302,619	100,0000	30.261,8750
LLAVE DE PASO DIÁM. 8 mm	u	214,000	0,48	5,02	1.074,280	102,720	100,0000	10.272,0000
LLAVE PASO CON GRIFO VACIADO 1 1/4"	u	4,000	0,50	43,14	172,560	2,000	100,0000	200,0000
LLAVE PASO DIÁM. 1" (22/25 mm)	u	163,500	0,75	11,94	1.952,190	122,625	100,0000	12.262,5000
LLAVE PASO DIÁM. 3/4" (15/20 mm)	u	968,000	0,65	5,97	5.778,960	629,200	100,0000	62.920,0000
LLAVE PASO ESCUADRA DIÁM. 1/2"	u	1.070,000	0,50	4,31	4.611,700	535,000	100,0000	53.500,0000
MIRILLA OPTICA	u	108,325	0,05	1,63	176,570	5,308	100,0000	530,7925
PASADOR EMBUTIDO	u	38,575	0,29	2,10	81,008	11,341	100,0000	1.134,1050
PERNOS DE LATÓN DE 11 cm	u	3.009,690	0,11	2,52	7.584,419	331,066	100,0000	33.106,5900
PICAPORTE DE RESBALÓN	u	967,730	0,26	2,75	2.661,258	247,739	100,0000	24.773,8880
PICAPORTE PARA PUERTA CORREDERA	u	4,415	0,32	4,12	18,190	1,413	100,0000	141,2800

continúa

PLACA IDENTIFICACION	u	11,500	0,05	11,25	129,375	0,575	100,0000	57,5000
SISTEMA DE DESLIZAMIENTO DE PUERTAS	u	4,415	1,00	23,08	101,898	4,415	100,0000	441,5000
TAPA SUMIDERO SIFONICO LATON	u	214,000	52,54	4,79	1.025,060	11.243,560	100,0000	1.124.356,0000
VÁLVULA COMPUERTA DIÁM. 1 1/2" (36/40 mm)	u	15,000	19,00	19,60	294,000	285,000	100,0000	28.500,0000
VÁLVULA DE ESFERA DIÁM. 2 1/2" (65/70 mm)	u	4,000	3,24	78,29	313,160	12,960	100,0000	1.296,0000
VÁLVULA DESAGUE FREGADERO C/ TAPÓN Y CADENILLA	u	107,000	0,31	5,07	542,490	33,170	100,0000	3.317,0000
VÁLVULA ENTRADA BATERIA CONTADORES 13/15 mm ORIENTABLE	u	117,000	6,00	10,45	1.222,650	702,000	100,0000	70.200,0000
VÁLVULA RETENCIÓN DIÁM. 1 1/2" (36/40 mm)	u	4,000	0,35	12,58	50,320	1,392	100,0000	139,2000
VÁLVULA SALIDA BATERIA CONTADORES 13/15 mm	u	117,000	6,00	7,10	830,700	702,000	100,0000	70.200,0000
<b>TOTAL</b>					<b>40.397,633</b>	<b>15.355,647</b>		<b>1.535.564,681</b>

Tabla 12: Cálculo energía incorporada. Latón \_edificación



	u	Mm (u)	Cc (kg/u)	Pm (€/u)	Cstm (€)	Cm (kg)	Eiem (MJ/kg)	Eim (MJ)
ALFÉIZAR PIEDRA ARTIFICIAL 30x5 cm	m	522,260	21,60	11,3	5.901,538	11.280,816	0,3000	3.384,2448
BALDOSA DE PUNTA DE DIAMANTE 33 X 33 cm	m <sup>2</sup>	7.990,840	60,00	0,25	1.997,710	479.450,400	2,0000	958.900,8000
BALDOSA TERRAZO 40x40 cm GRANO MEDIO	m <sup>2</sup>	8.719,400	89,00	6,98	60.861,412	776.026,600	2,0000	1.552.053,2000
ENCIMERA DE PIEDRA NATURAL	m	22,700	25,00	11,2	254,240	567,500	0,3000	170,2500
HUELLA PIEDRA CALIZA CREMA SEVILLA	m	586,440	20,16	21,1	12.373,884	11.822,630	2,0000	23.645,2608
RODAPIÉ PIEDRA CALIZA CREMA SEVILLA 40x10 cm	u	1.786,890	2,20	2,1	3.752,469	3.931,158	2,0000	7.862,3160
RODAPIÉ REBAJADO TERRAZO 40x7 cm GRANO MEDIO	u	27.883,230	1,21	0,81	22.585,416	33.822,358	2,0000	67.644,7160
TABICA PIEDRA CALIZA CREMA SEVILLA	m	686,440	8,13	7,15	4.908,046	5.580,757	2,0000	11.161,5144
UMBRAL DE PIEDRA CALIZA CREMA SEVILLA 30x3 cm	m	27,600	24,48	16,92	466,992	675,648	2,0000	1.351,2960
<b>TOTAL</b>					<b>113.101,707</b>	<b>1.323.157,868</b>		<b>2.626.173,598</b>

Tabla 13: Cálculo energía incorporada. Piedra \_ edificación

	u	Mm (u)	Cc (kg/u)	Pm (€/u)	Cstm (€)	Cm (kg)	Eiem (MJ/kg)	Eim (MJ)
PUERTA ABATIBLE ALUM. LACADO (T-III)	m²	14,445	9,36	98,75	1.426,444	135,220	200,0000	27.043,9290
PUERTA CORREDERA ALUM. LACADO (T-III)	m²	327,600	20,00	69,6	22.800,960	6.552,000	200,0000	1.310.400,0000
REJILLA DE ALUMINIO	u	428,000	0,00	1,92	821,760	1,712	160,0000	273,9200
REJILLA DE VENTILACIÓN DE ALUMINIO	u	667,920	0,33	4,42	2.952,206	220,414	160,0000	35.266,1760
REJILLA LAMAS HOR. ORIENT. UNA A UNA AL. ANOD. 250x150 mm	u	856,000	0,04	19,6	16.777,600	36,808	160,0000	5.889,2800
VENTANA CORREDERA ALUM. LACADO (T-II)	m²	470,180	9,36	79,5	37.379,310	4.401,355	200,0000	880.270,9960
PULSADOR ALARMA PARA EMPOTRAR	u	12,500	0,05	20,57	257,125	0,638	160,0000	102,0000
VENTANA CORREDERA ALUM. LACADO (T-III)	m²	110,760	9,36	50,71	5.616,640	1.036,824	200,0000	207.364,8720
<b>TOTAL</b>					<b>88.032,045</b>	<b>12.384,970</b>		<b>2.466.611,173</b>

Tabla 14: Cálculo energía incorporada. Aluminio \_edificación

	u	Mm (u)	Cc (kg/u)	Pm (€/u)	Cstm (€)	Cm (kg)	Eiem (MJ/kg)	Eim (MJ)
COQUILLA ESP. ELAST. POLIET. 0,040 W/ m°C 28x10 mm DIÁM. x ESP.	m	1.685,610	0,05	0,80	1.348,488	84,281	85,0000	7.163,8425
CORDÓN RIZADO	m	535,000	0,03	13,31	7.120,850	17,655	85,0000	1.500,6750
LÁMINA POLIETILENO 0,2 mm	m <sup>2</sup>	1.635,280	0,19	0,60	981,168	302,527	85,0000	25.714,7780
TUBO CORRUGADO P/POLIETILENO DIÁM. 125 mm	m	14,700	1,56	3,20	47,040	22,969	85,0000	1.952,3438
TUBO CORRUGADO P/POLIETILENO DIÁM. 25 mm	m	1.103,300	0,27	0,20	220,660	300,098	85,0000	25.508,2960
TUBO CORRUGADO P/POLIETILENO DIÁM. 32 mm	m	2.670,750	0,40	0,41	1.095,008	1.068,300	85,0000	90.805,5000
TUBO CORRUGADO P/POLIETILENO DIÁM. 40 mm	m	63,700	0,50	0,54	34,398	31,850	85,0000	2.707,2500
TUBO CORRUGADO P/POLIETILENO DIÁM. 80 mm	m	177,140	1,00	1,46	258,624	177,140	85,0000	15.056,9000
TUBO POLIETILENO PE DIÁM. 75 mm	m	177,140	0,94	6,73	1.192,152	166,069	85,0000	14.115,8438
TUBO POLIETILENO PE DIÁM. 90 mm	m	14,850	1,13	9,76	144,936	16,706	85,0000	1.420,0313
TUBO POLIETILENO RETICULADO PE-X DIÁM. 25 mm	m	64,340	0,33	2,54	163,424	21,232	85,0000	1.804,7370
<b>TOTAL</b>					<b>12.606,748</b>	<b>2.208,826</b>		<b>187.750,197</b>

Tabla 15: Cálculo energía incorporada. Polietileno \_ edificación

	u	Mm (u)	Cc (kg/u)	Pm (€/u)	Cstm (€)	Cm (kg)	Eiem (MJ/kg)	Eim (MJ)
ARMARIO PLAST. PARA MANDOS Y DISTR. 9 ELEM. EMPOTRAR	u	115,500	0,68	11,86	1.369,830	78,309	110,0000	8.613,9900
ARMARIO TELEFONÍA 110X70 cm	u	4,000	0,50	360,51	1.442,040	2,000	110,0000	220,0000
BASE DE ENCHUFE II+T 16 A C/PLACA T. T. LATERAL	u	2678	0,06	2,53	6.775,340	166,036	110,0000	18.263,9600
BASE DE ENCHUFE II+T 25 A C/PLACA	u	107	0,11	8,88	950,160	11,342	110,0000	1.247,6200
CAJA DE CUADRO PROTEC. PARA 1DIF. Y 6 MAGNT.	u	116,000	0,40	5,78	670,480	46,400	110,0000	5.104,0000
CAJA GENERAL PROTECCIÓN 80 A INTEN. NOM. C/BASES FUSIBLES	u	116,000	0,40	46,86	5.435,760	46,400	110,0000	5.104,0000
CAJILLO UNIVERSAL ENLAZABLE	u	4.921,500	0,03	0,32	1.574,880	127,959	110,0000	14.075,4900
COFRE PARA AMPLIFICADORES	u	36,000	0,50	58,56	2.108,160	18,000	110,0000	1.980,0000
INTERRUPTO MAGNETOTERMICO II, DE 10-32 A.	u	787	0,18	19,39	15.259,930	144,808	110,0000	15.928,8800
INTERRUPTOR CONMUTADO DOBLE	u	642	0,07	0,91	584,220	47,508	110,0000	5.225,8800
INTERRUPTOR DIFERENCIAL II 25 A/30 mA.	u	118	0,23	72,83	8.593,940	26,668	110,0000	2.933,4800
INTERRUPTOR DIFERENCIAL II 40 A/30 mA	u	8	0,23	75,71	605,680	1,808	110,0000	198,8800
INTERRUPTOR SENCILLO	u	840	0,07	1,45	1.218,000	60,480	110,0000	6.652,8000
MODULO HOMOLOGADO PARA ALOJAMIENTO DE CONTADOR	u	115,000	3,78	51,48	5.920,200	434,930	110,0000	47.842,3000
PLACA CIEGA	u	107,000	0,10	0,97	103,790	10,700	110,0000	1.177,0000
PLACA PORTERO ELECTRONICO 16 TOMAS	u	8	0,65	118,32	946,560	5,200	110,0000	572,0000

POLIESTIRENO PLANCHAS RIGIDAS, DENS. 12 kg/m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	4,690	12,00	178,6	837,634	56,280	110,0000	6.190,8000
PULSADOR	u	235	0,05	1,23	289,050	11,985	110,0000	1.318,3500
SOPORTE PARA AMPLIFICADORES	u	4,000	1,00	6,56	26,240	4,000	110,0000	440,0000
TELEFONO INTERIOR	u	117	0,35	24,1	2.819,700	40,950	110,0000	4.504,5000
<b>TOTAL</b>					<b>57.531,594</b>	<b>1.341,763</b>		<b>147.593,930</b>

Tabla 16: Cálculo energía incorporada. Poliestireno \_ edificación

	u	Mm (u)	Cc (kg/u)	Pm (€/u)	Cstm (€)	Cm (kg)	Eiem (MJ/kg)	Eim (MJ)
ROTULO DENOMINADOR BLOQUE METACRILATO	u	4,000	0,27	14,09	56,360	1,068	90,0000	96,1200
ROTULO DENOMINADOR DE PISO METACRILATO	u	218,000	0,27	2,11	459,980	58,206	90,0000	5.238,5400
ROTULO DENOMINADOR DE PLANTA METACRILATO	u	28,000	0,27	9,67	270,760	7,476	90,0000	672,8400
<b>TOTAL</b>					<b>787,100</b>	<b>66,750</b>		<b>6.007,500</b>

Tabla 17: Cálculo energía incorporada. Metacrilato \_ edificación

	u	Mm (u)	Cc (kg/u)	Pm (€/u)	Cstm (€)	Cm (kg)	Eiem (MJ/kg)	Eim (MJ)
BARNIZ SINTÉTICO	kg	1.503,280	1,00	5,88	8.839,286	1.503,280	100,0000	150.328,0000
BARNIZ TAPAPOROS	kg	751,600	1,00	5,27	3.960,932	751,600	100,0000	75.160,0000
DESENCOFRANTE	l	3.653,650	0,90	1,72	6.284,278	3.288,285	100,0000	328.828,5000
DISOLVENTE	l	517,810	0,86	1,49	771,537	445,317	100,0000	44.531,6600
ESMALTE SINTÉTICO	kg	527,090	1,00	6,16	3.246,874	527,090	100,0000	52.709,0000
IMPRIMACIÓN ANTIOXIDANTE	kg	290,150	1,00	4,29	1.244,744	290,150	100,0000	29.015,0000
JUNTA DE SELLADO	m	3.875,640	0,12	1,3	5.038,332	465,077	100,0000	46.507,6800
MASILLA PLÁSTICA	kg	896,740	1,00	0,56	502,174	896,740	100,0000	89.674,0000
PASTA ADHESIVA	m <sup>2</sup>	7.163,580	10,50	0,22	1.575,988	75.217,590	100,0000	7.521.759,0000
PASTA NIVELADORA	m <sup>2</sup>	20,650	10,50	1,55	32,008	216,825	100,0000	21.682,5000
PINTURA OXIASFÁLTICA	kg	4.147,070	1,00	1,64	6.801,195	4.147,070	20,0000	82.941,4000
PINTURA PLÁSTICA	kg	733,800	1,00	1,7	1.247,460	733,800	20,0000	14.676,0000
PLASTIFICANTE	l	324,640	1,23	1,26	409,046	399,307	100,0000	39.930,7200
SELLADORA	kg	686,910	1,00	4,2	2.885,022	686,910	100,0000	68.691,0000
TEMPLE	kg	50.908,470	1,00	0,13	6.618,101	50.908,470	20,0000	1.018.169,4000

TRATAMIENTO BREA-EPOXI	m <sup>2</sup>	4.782,760	3,00	13,05	62.415,018	14.348,280	100,0000	1.434.828,0000
<b>TOTAL</b>					<b>111.871,995</b>	<b>154.825,791</b>		<b>11.019.431,860</b>

Tabla 18: Cálculo energía incorporada. Pinturas \_edificación

	u	Mm (u)	Cc (kg/u)	Pm (€/u)	Cstm (€)	Cm (kg)	Eiem (MJ/kg)	Eim (MJ)
LUNA PULIDA FLOTADA INCOLORA 4 mm	m <sup>2</sup>	778,250	12,50	3,6	2.801,700	9.728,125	18,0000	175.106,2500
VIDRIO IMPRESO INCOLORO 3 A 4 mm	m <sup>2</sup>	119,470	10,00	11,09	1.324,922	1.194,700	18,0000	21.504,6000
<b>TOTAL</b>					<b>4.126,622</b>	<b>10.922,825</b>		<b>196.610,850</b>

Tabla 19: Cálculo energía incorporada. Vidrio \_edificación

	u	Mm (u)	Cc (kg/u)	Pm (€/u)	Cstm (€)	Cm (kg)	Eiem (MJ/kg)	Eim (MJ)
BENTONITA (arcilla)	kg	88.625,750	1,00	0,21	18.611,408	88.625,750	2,3000	203.839,2250
LIGANTE MORTERO MODIF. PLASTIF. Y RESINAS	kg	150.100,960	1,00	0,41	61.541,394	150.100,960	100,0000	15.010.096,0000
MALLA TEXTIL DE 12 cm ANCHURA (fibra vidrio)	m	564,650	1,75	0,38	214,567	988,138	25,0000	24.703,4375
MEMBRANA BETÚN MODIF. ARM. DOBLE POLIETILENO 4 mm	m <sup>2</sup>	3.565,700	4,00	6,65	23.711,905	14.262,800	10,0000	142.628,0000
PANEL RÍGIDO FIBRA VIDRIO 25 mm ESP. 70 kg/m <sup>3</sup> CARA PROT.	m <sup>2</sup>	213,690	1,75	8,15	1.741,574	373,958	25,0000	9.348,9375
PAVIMENTO TIPO PODO TÁCTILES ANTIDESLIZANTES 20 X 20 cm (caucho)	m <sup>2</sup>	547,460	4,00	0,2	109,492	2.189,840	100,0000	218.984,0000
SIFÓN BOTELLA INDIVIDUAL DIÁM. 40 mm (polipropileno)	u	428,000	0,45	2,66	1.138,480	192,600	90,0000	17.334,0000
TUBO FIBROCEMENTO LIGERO DIAMETRO 80 mm	m	11,440	4,77	3,33	38,095	54,569	10,0000	545,6880
<b>TOTAL</b>					<b>107.106,914</b>	<b>256.788,614</b>		<b>15.627.479,288</b>

Tabla 20: Cálculo energía incorporada. Varios \_edificación



	<b>Mm (u)</b>	<b>Pm (€/u)</b>	<b>Cstm (€)</b>
ACOMETIDA AGUA DE 63 A 90 mm	5,00	1.580,96	7.904,80
ACOMETIDA ALCANTARILLADO S/NORMA	4,00	1.502,86	6.011,44
ACOMETIDA ELECTRICA UN BLOQUE S/NORMA	4,00	1.428,94	5.715,76
AGUA POTABLE	559,58	0,55	307,77
ALIMENTADOR/AMPLIFICADOR 16 TOMAS	8,00	55,95	447,60
AMPLIFICADOR MONOCANAL FM 50 DB	4,00	42,31	169,24
AMPLIFICADOR MONOCANAL UHF, 50 DB	36,00	51,36	1.848,96
AMPLIFICADOR SECUNDARIO TV/FM	11,00	122,88	1.351,68
B.I.E. MANGUERA 25 m. 25 mm. SEMIRRIGIDA, COMPLETA	9,00	454,32	4.088,88
BATERIA PARA 30 CONTADORES DIVISORIOS DE AGUA	3,50	367,84	1.287,44
CALENTADOR A GAS PRESION NORMAL	107,00	94,96	10.160,72
CENTRAL DETECCION AUTOMATICO INCENDIOS, MODULAR 2 ZONAS	2,00	338,10	676,20
CENTRAL DETECCION CO, 1 ZONA, 6 DETECTORES POR ZONA 1 EXTRAC.	2,00	263,94	527,88
CIERRE HIDRAULICO DE PUERTA	4,00	36,20	144,80
CONDENSADORA BOMBA CALOR PART. V. 17500-19500 FRG-KCAL/H AIRE-AIRE	107,00	4.384,01	469.089,07
CONMUTADOR ROTATIVO (TELERRUPTOR)	4,00	17,85	71,40

continúa

CUADRO CONTROL REMOTO CON TERMOSTATO, VENTILOCONVECTOR	107,00	47,20	5.050,40
DERIVADOR F.I. 2 DERIVACIONES	107,00	12,50	1.337,50
DETECTOR MONOXIDO CARBONO, CON PILOTO FUNCIONAMIENTO	30,00	90,37	2.711,10
ELEC. BOMBA AG. SUCIA SUMERGIBLE 0,75 HP. 1500-15000 L/H, 14-0,5 m	2,00	584,09	1.168,18
EQUIPO ASCENSOR HIDRAULICO 6 PERSONAS 3 PARES 0,60 M/SEG	7,00	20.126,21	140.883,47
EQUIPO AUTONOMO ALUMBRADO EMERG/SEÑALIZ. 60 LUM. INDICAND 1 HORA	266,00	55,00	14.630,00
EQUIPO TRES PUERTA PISO AUTOMATICO 0,80 m	7,00	1.576,00	11.032,00
EVAPORADORA BOMBA CALOR PART. V. 17500-19500 FRG-KCAL/H AIRE -AIRE	107,00	4.100,94	438.800,58
EXTINTOR MOVIL, CO <sub>2</sub> DE 0,5 KG EFICACIA 34- 20	14,00	92,02	1.288,28
EXTINTOR MOVIL, POLVO ABC, 12 KG EFICACIA 34-A, 144-B	48,00	60,54	2.905,92
EXTRACTOR AIRE T/CUBIERTA, CENTRIF. 1CV 700 m <sup>3</sup> /H 12 mm.C.A.	7,00	1.431,68	10.021,76
FUENTE DE ALIMENTACION CONMUTADA	4,00	59,21	236,84
GAS FRIGORIFICO	1.070,00	9,33	9.983,10
GRUPO DE PRES. 8000 L/H 40 M.C.A. 1 BOMBA, TANQUE 600 L ASP. DEP.	6,00	2.030,49	12.182,94
GRUPO PRES. 26000 L/H 65 M.C.A. 2 BOMBAS, TANQUE 2000 L ASP. DEP.	2,00	7.531,46	15.062,92
INTERRUPTOR AUTOMATICO DE NIVEL	2,00	115,36	230,72

INTERRUPTOR HORARIO AUTOMATICO	4,00	60,56	242,24
MATERIAL COMPLEMENTARIO	94.952,30	0,55	52.223,77
MECANISMO DE TOMA TV/FM/FI, SEP. FINAL	107,00	4,75	508,25
MODULO CONEXIÓN 5 PAR., CORTE Y PRUEBA	107,00	4,34	464,38
PARRILLA ANTENA VHF-UHF Y FM	4,00	53,73	214,92
PEQUEÑO MATERIAL	89.762,19	0,30	26.928,66
PULIDO ABRILLANTADO DE SOLERÍA	8.384,04	2,92	24.481,40
TABLERO AISLANTE	8,00	7,47	59,76
TERMOSTATO AUTOMATICO 1 ETAPA FRIO, CALOR, VENT.	107,00	63,87	6.834,09
TOMA TELEFONICA, 2 CONTACTOS, 6 VIAS	107,00	4,37	467,59
ZUMBADOR ANTIPARASITARIO	107,00	6,21	664,47
<b>TOTAL</b>			<b>1.290.418,87</b>

Tabla 21: Cálculo energía incorporada. Sin definir \_edificación

	u	Mm (u)	Cc (kg/u)	Pm (€/u)	Cstm (€)	Cm (kg)	Eiem (MJ/kg)	Eim (MJ)
ACERO B 400 S	kg	110,500	1,00	0,65	71,825	110,500	40,00	4.420,00
ACERO PERFILES S 275 JR	kg	232,500	1,00	0,79	183,675	232,500	40,00	9.300,00
ARMARIO METÁLICO PARA ALUMBRADO PÚBLICO	u	1,000	5,00	131,22	131,220	5,000	40,00	200,00
BÁCULO RECTO ACERO GALVANIZADO 3,70 m	u	17,000	20,00	69,49	1.181,330	340,000	40,00	13.600,00
BÁCULO RECTO FUNDICIÓN 3,70 m	u	8,000	22,00	149,94	1.199,520	176,000	40,00	7.040,00
BOCA RIEGO ARQ. INCORP. DIÁM. 40 mm	u	2,000	1,20	143,64	287,280	2,400	40,00	96,00
CAJA PAVIM. CILIND. FUND., VAL.	u	6,000	10,00	18,69	112,140	60,000	40,00	2.400,00
CARRETE BB F.D. 100x500, PN-16	u	1,000	6,00	59,31	59,310	6,000	40,00	240,00
CARRETE BB F.D. 80x500, PN-16	u	2,000	4,50	50,96	101,920	9,000	40,00	360,00
CERCO ARQUETA PNL-50,5	m	51,250	4,00	4,89	250,613	205,000	40,00	8.200,00
CODO BB F.D. DIÁM. 100 mm, PN-16	u	1,000	8,00	51,02	51,020	8,000	40,00	320,00
DERIV. "T" EEB 150x80/150, J/MEC.	u	1,000	9,00	77,96	77,960	9,000	40,00	360,00
FAROL CHAPA ACERO CON VIDRIO IMPRESO	u	17,000	1,50	102,08	1.735,360	25,500	40,00	1.020,00
FAROL FUNDICIÓN CON VIDRIO IMPRESO	u	8,000	4,50	278,41	2.227,280	36,000	40,00	1.440,00
PATE DE HIERRO DIÁM. 30 mm	u	42,000	1,00	3,75	157,500	42,000	40,00	1.680,00
PICA DE ACERO COBRIZADO (2 m) GRA.	u	26,000	1,88	20,03	520,780	48,828	40,00	1.953,12

REJILLA FUNDICIÓN IMBORNAL CON CERCO	u	13,000	5,00	52,10	677,300	65,000	40,00	2.600,00
TAPA DE ACERO H. FUNDIDO DIÁM. 60 cm ROD. MEDIA	u	7,000	15,00	54,47	381,290	105,000	40,00	4.200,00
TAPA DE FUNDICIÓN 60X60 cm	u	4,000	8,00	74,56	298,240	32,000	40,00	1.280,00
TAPA METÁLICA ARQUETA REGISTRO CTNT H	u	4,000	8,00	190,10	760,400	32,000	40,00	1.280,00
TORNILLO BICROMAT. C/T M-16x70	u	188,000	0,05	0,50	94,000	9,400	40,00	376,00
VAL. A/E ENT. PN16 DIÁM. 100 mm I/C. MAN.	u	2,000	7,00	167,45	334,900	14,000	40,00	560,00
VAL. A/E ENT. PN16 DIÁM. 80 mm, I/C. MAN.	u	4,000	3,00	149,94	599,760	12,000	40,00	480,00
VÁLV. COMP. M/M N.O.D. DIÁM. 100 mm, F.D.	u	1,000	7,00	232,05	232,050	7,000	40,00	280,00
<b>TOTAL</b>					<b>11.726,673</b>	<b>1.592,128</b>		<b>63.685,120</b>

Tabla 22: Cálculo energía incorporada. Acero \_urbanización

	u	Mm (u)	Cc (kg/u)	Pm (€/u)	Cstm (€)	Cm (kg)	Eiem (MJ/kg)	Eim (MJ)
ARENA FINA	m <sup>3</sup>	3,916	1.500,000	9,35	36,613	5.873,700	0,0800	469,8960
ARENA GRUESA	m <sup>3</sup>	163,158	1.500,000	9,94	1.621,793	244.737,405	0,0800	19.578,9924
<b>TOTAL</b>					<b>1.658,406</b>	<b>250.611,105</b>		<b>20.048,888</b>

Tabla 23: Cálculo energía incorporada. Arena \_urbanización

	u	Mm (u)	Cc (kg/u)	Pm (€/u)	Cstm (€)	Cm (kg)	Eiem (MJ/kg)	Eim (MJ)
BORDILLO DE HORMIGÓN 17x28 cm	m	558,280	83,30	3,94	2.199,623	46.504,724	2,0000	93.009,4480
HORMIGÓN HA-25/P/20/IIa, SUMINISTRADO	m³	4,104	2.500,00	69,32	284,489	10.260,000	1,0000	10.260,0000
HORMIGÓN HM-20/P/40/I, SUMINISTRADO	m³	304,108	2.500,00	52,49	15.962,613	760.269,225	1,0000	760.269,2250
POZO DE REGISTRO CIRCULAR DE 1.20 DE DIÁM.	u	1,000	3.100,00	479,82	479,820	3.100,000	2,0000	6.200,0000
TAPA DE HORMIGÓN ARMADO CON CERCO	m²	29,100	100,91	26,13	760,383	2.936,481	2,0000	5.872,9620
TUBO HORMIGÓN VIBRADO DIÁM. 200 mm	m	6,262	46,00	3,74	23,420	288,052	2,0000	576,1040
TUBO HORMIGÓN VIBRADO DIÁM. 250 mm	m	8,141	67,00	4,55	37,040	545,420	2,0000	1.090,8404
TUBO HORMIGÓN VIBRADO DIÁM. 300 mm	m	188,870	88,00	5,21	984,013	16.620,560	2,0000	33.241,1200
<b>TOTAL</b>					<b>20.731,400</b>	<b>840.524,462</b>		<b>910.519,699</b>

Tabla 24: Cálculo energía incorporada. Hormigón \_ urbanización

	u	Mm (u)	Cc (kg/u)	Pm (€/u)	Cstm (€)	Cm (kg)	Eiem (MJ/kg)	Eim (MJ)
CEMENTO CEM II/A-L 32,5 N EN SACOS	t	15,677	1.000,00	92,54	1450,712	15676,594	7,0000	109.736,1580
<b>TOTAL</b>					<b>1.450,712</b>	<b>120,119</b>		<b>109.736,158</b>

Tabla 25: Cálculo energía incorporada. Cemento \_ urbanización

	u	Mm (u)	Cc (kg/u)	Pm (€/u)	Cstm (€)	Cm (kg)	Eiem (MJ/kg)	Eim (MJ)
LADRILLO PERFORADO TALADRO PEQUEÑO PARA REVESTIR	mu	14,961	2.100,00	75,50	1.129,556	31.418,100	2,8500	89.541,5850
BALDOSA HIDRÁULICA 20 X 20 cm	m²	1.120,080	50,00	5,43	6.082,034	56.004,000	5,0000	280.020,0000
<b>TOTAL</b>					<b>7.211,590</b>	<b>87.422,100</b>		<b>369.561,585</b>

Tabla 26: Cálculo energía incorporada. Cerámico \_urbanización

	u	Mm (u)	Cc (kg/u)	Pm (€/u)	Cstm (€)	Cm (kg)	Eiem (MJ/kg)	Eim (MJ)
CABLE COBRE 1x6 mm²/750 V	m	1.833,110	0,18	0,60	1.099,866	320,794	100,0000	32.079,4180
CABLE COBRE 1x2,5 mm²/750 V	m	300,000	0,02	0,22	66,000	6,600	100,0000	660,0000
<b>TOTAL</b>					<b>1.165,866</b>	<b>327,394</b>		<b>32.739,418</b>

Tabla 27: Cálculo energía incorporada. Cobre \_urbanización

	u	Mm (u)	Cc (kg/u)	Pm (€/u)	Cstm (€)	Cm (kg)	Eiem (MJ/kg)	Eim (MJ)
TUBERÍA PVC LIGERA DIÁM. 110 mm PARA COND. CABLES	m	402,616	3,00	1,82	732,762	1.206,399	80,0000	96.511,9585
TUBERÍA PVC LIGERA DIÁM. 125 mm PARA COND. CABLES	m	423,816	3,41	2,28	966,301	1.443,094	80,0000	115.447,5329
TUBERÍA PVC LIGERA DIÁM. 63 mm PARA COND. CABLES	m	566,820	1,72	0,99	561,152	972,720	80,0000	77.817,5842
TUBO PVC FLEXIBLE CORRUGADO DIÁM. 48 mm	m	458,277	0,02	0,95	435,364	8,707	80,0000	696,5816
<b>TOTAL</b>					<b>2.695,578</b>	<b>3.630,921</b>		<b>290.473,657</b>

Tabla 28: Cálculo energía incorporada. PVC \_urbanización

	u	Mm (u)	Cc (kg/u)	Pm (€/u)	Cstm (€)	Cm (kg)	Eiem (MJ/kg)	Eim (MJ)
MADERA DE PINO EN TABLA	m³	2,105	425,00	195,18	410,819	894,549	3,0000	2.683,6455
MADERA DE PINO EN TABLON	m³	7,555	425,00	225,64	1.704,773	3.210,994	3,0000	9.632,9820
PUNTAL DE MADERA	m	188,882	4,02	1,23	232,325	759,438	3,0000	2.278,3136
<b>TOTAL</b>					<b>2.347,917</b>	<b>4.864,980</b>		<b>14.594,941</b>

Tabla 29: Cálculo energía incorporada. Madera \_urbanización

	u	Mm (u)	Cc (kg/u)	Pm (€/u)	Cstm (€)	Cm (kg)	Eiem (MJ/kg)	Eim (MJ)
CABLE ALUMINIO 1X120 mm²/1000 V	m	1.065,106	0,53	3,01	3.205,968	564,506	45,0000	25.402,7686
CABLE ALUMINIO 1x35 mm²/1000 V	m	85,476	0,22	1,35	115,393	18,805	45,0000	846,2154
CABLE ALUMINIO 1x50 mm²/1000 V	m	206,343	0,27	1,65	340,466	54,681	45,0000	2.460,6403
CABLE ALUMINIO 1x70 mm²/1000 V	m	611,464	0,35	1,82	1.112,865	214,012	45,0000	9.630,5596
CABLE ALUMINIO 1x95 mm²/1000 V	m	206,343	0,45	2,75	567,443	91,823	45,0000	4.132,0186
<b>TOTAL</b>					<b>5.342,135</b>	<b>943,827</b>		<b>42.472,202</b>

Tabla 30: Cálculo energía incorporada. Aluminio \_urbanización



	u	Mm (u)	Cc (kg/u)	Pm (€/u)	Cstm (€)	Cm (kg)	Eiem (MJ/kg)	Eim (MJ)
PORTABR. PE, BRI. L. PN-16 DIÁM. 110 mm	u	2,000	0,20	47,48	94,960	0,400	85,0000	34,0000
PORTABR. PE, BRI. L. PN-16 DIÁM. 75 mm	u	4,000	0,35	34,09	136,360	1,400	85,0000	119,0000
PORTABR. PE, BRI. L. PN-16 DIÁM. 90 mm	u	2,000	0,55	40,69	81,380	1,100	85,0000	93,5000
T POLIETILENO PE50A PN-10 90x75/90 mm	u	2,000	0,80	28,67	57,340	1,600	85,0000	136,0000
TUBO POLIETILENO DIÁM. 110 mm PE50A PN-10	m	175,740	1,38	7,61	1.337,381	241,643	86,0000	20.781,2550
TUBO POLIETILENO DIÁM. 75 mm PE50A PN-10	m	67,670	0,94	3,70	250,379	63,441	87,0000	5.519,3344
TUBO POLIETILENO DIÁM. 90 mm PE50A PN-10	m	242,087	1,13	5,36	1.297,586	272,348	88,0000	23.966,6031
<b>TOTAL</b>					<b>3.255,386</b>	<b>581,931</b>		<b>50.649,692</b>

Tabla 31: Cálculo energía incorporada. Polietileno \_urbanización

	u	Mm (u)	Cc (kg/u)	Pm (€/u)	Cstm (€)	Cm (kg)	Eiem (MJ/kg)	Eim (MJ)
INTERRUPTOR DIFERENCIAL II 40 A/30 Ma	u	1,000	0,23	75,71	75,710	0,226	80,0000	18,0800
INTERRUPTOR MAGNETOTÉRMICO II, DE 10-32 A	u	2,000	0,18	75,71	151,420	0,368	80,0000	29,4400
MODULO HOMOLOGADO PARA ALOJAMIENTO DE CONTADOR	u	1,000	3,78	51,48	51,480	3,782	80,0000	302,5600
<b>TOTAL</b>					<b>278,610</b>	<b>4,376</b>		<b>350,080</b>

Tabla 32: Cálculo energía incorporada. Termoplástico \_urbanización

	u	Mm (u)	Cc (kg/u)	Pm (€/u)	Cstm (€)	Cm (kg)	Eiem (MJ/kg)	Eim (MJ)
PINTURA REFLEXIVA CON ESFERAS DE VIDRIO	kg	10,005	1,000	11,78	117,861	10,005	20,0000	200,1040
<b>TOTAL</b>					<b>117,861</b>	<b>10,005</b>		<b>200,104</b>

Tabla 33: Cálculo energía incorporada. Pintura \_urbanización

	u	Mm (u)	Cc (kg/u)	Pm (€/u)	Cstm (€)	Cm (kg)	Eiem (MJ/kg)	Eim (MJ)
CABEZA HIDRANTE DIÁM. 100 mm BRONCE	u	1,000	80,00	82,43	82,430	80,000	90,0000	7.200,0000
JUEGO DE SOPORTES PARA RÓTULO	u	8,000	0,27	6,68	53,440	2,136	30,0000	64,0800
JUEGO DE SOPORTES PARA SEÑAL DE TRÁFICO	u	13,000	0,50	22,86	297,180	6,500	30,0000	195,0000
JUNTA DE GOMA DIÁM. 100 mm	u	8,000	0,01	1,26	10,080	0,108	100,0000	10,8000
JUNTA DE GOMA DIÁM. 80 mm	u	12,000	0,01	1,09	13,080	0,132	100,0000	13,2000
MEZCLA ASFÁLTICA TIPO G 25	t	796,112	1.000,00	24,21	19.273,863	796.111,650	10,0000	7.961.116,5000
PIEDRA MACHAQUEO DIÁM. 40/60 mm CALIZA	m³	1.153,785	1.700,00	11,12	12.830,089	1.961.434,500	0,2000	392.286,9000
PLACA CIRCULAR DE PROHIBICIÓN CHAPA CINCADA DIÁM. 60 cm	u	3,000	2,00	44,56	133,680	6,000	30,0000	180,0000
PLACA OCTOGONAL DE STOP CHAPA CINCADA DOBLE APOTEMA 60 cm	u	2,000	2,50	50,82	101,640	5,000	30,0000	150,0000
PLACA TRIANGULAR DE PELIGRO CHAPA CINTADA 70 X 70 cm	u	8,000	2,00	39,41	315,280	16,000	30,0000	480,0000
ROTULO DE GRUPO O CALLE CHAPA CINCADA	u	8,000	0,27	89,09	712,720	2,136	30,0000	64,0800
<b>TOTAL</b>					<b>33.823,482</b>	<b>2.757.664,162</b>		<b>8.361.760,560</b>

Tabla 34: Cálculo energía incorporada. Varios \_urbanización

	u	Mm (u)	Pm (€/u)	Cstm (€)
ABONOS	t	0,155	204,95	31,677
MANTILLO	m <sup>3</sup>	1,156	16,93	19,566
PLANTA VIVACEA DECORATIVA Y DE FLOR	u	70,000	0,95	66,500
STENOTAPHINM Y MEZCLA DE SEMILLAS ESPECIALES	m <sup>2</sup>	21,040	1,02	21,461
TIERRA VEGETAL	m <sup>3</sup>	4,208	8,37	35,221
<b>TOTAL</b>				<b>174,425</b>

Tabla 35: Cálculo energía incorporada. Tierras \_urbanización

	Mm (u)	Pm (€/u)	Cstm (€)
ACOMETIDA DE AGUA RED GENERAL	1,00	256,27	256,27
AGUA POTABLE	205,98	0,55	113,29
ALUMBRADO INTERIOR C.T. PUNTO LUZ BLINDADO	1,00	204,82	204,82
CANON ADQUISICIÓN DE TIERRAS DE PRESTAMO	576,89	0,66	380,75
CELDA DE PROTECCIÓN, RUPTOR AUTOM. SECC. P.A.T. Y FUSIB.	1,00	2.635,44	2.635,44
CELDA ENTRADA O SALIDA, RUPTOR AUTOM. SECCIÓN P.A.T	2,00	2.258,94	4.517,88
CONJUNTO CABLE A. T. ALUMINIO 1 X 40 mm <sup>2</sup> , 06/1 Kv	1,00	554,04	554,04
CONJUNTO CABLE A. T. COBRE 1 X 25 mm <sup>2</sup> , 12/20 Kv	1,00	655,69	655,69
EQUIPO DE SEGURIDAD DE C.T.	1,00	235,69	235,69
INTERRUPTOR HORARIO AUTOMÁTICO	1,00	60,56	60,56
LÁMPARA VAPOR MERCURIO C.C. 125 W	25,00	9,53	238,25
MALLA PROTECCIÓN TRANSFORMADOR	1,00	258,36	258,36
MATERIAL COMPLEMENTARIO	3.087,14	0,55	1.697,93
PEQUEÑO MATERIAL	14.557,89	0,30	4.367,37
RED TIERRA CABLE COBRE 50 mm <sup>2</sup> , ELECTROLITICO 2 TOMAS	1,00	278,51	278,51
<b>TOTAL</b>			<b>16.454,84</b>

Tabla 36: Cálculo energía incorporada. Sin definir \_urbanización

	u	Mm (u)	Pm (€/u)	Cstm (€)
ACERO PERFILES S 275 JR	kg	3,40	0,79	2,69
ANCLAJE DE RED	u	1.700,00	0,65	1.105,00
BARANDILLA METÁLICA, PASAMANOS, T. INTERMEDIO Y RODAPIÉ	m	48,00	10,60	508,80
CASETA PREF. MOD. 20,50 m <sup>2</sup> ASEOS DURACIÓN DE 6 A 12 MESES	u	3,00	1.847,46	5.542,38
CASETA PREF. MOD. 20,50 m <sup>2</sup> COMEDOR DURACIÓN DE 6 A 12 MESES	u	2,00	2.569,00	5.138,00
CASETA PREF. MOD. 20.50 m <sup>2</sup> VEST. DURACIÓN DE 6 A 12 MESES	u	3,00	4.566,57	13.699,71
CHAPA NERVADA DE ACERO GALVANIZADO	m <sup>2</sup>	2,40	3,26	7,82
CHAPA NERVADA TROQUELADA DE ACERO GALVANIZADO	m <sup>2</sup>	720,00	3,97	2.858,40
MORDAZA METÁLICA DE SOPORTE	u	1,40	2,85	3,99
PUNTAL METÁLICO DE 3 m	u	1,50	20,82	31,23
SEÑAL ADVERTENCIA 42 cm	u	3,30	58,60	193,38
SEÑAL OBLIGACIÓN O PROHIBICIÓN 42 cm	u	4,95	35,60	176,22
SOPORTE METÁLICO BARANDILLA SISTEMA BALAUSTRE	u	0,20	12,60	2,52
SOPORTE METÁLICO BARANDILLA SISTEMA MORDAZA	u	11,60	1,85	21,46
SOPORTE METALICO DIÁM. 50 mm	u	115,56	17,98	2.077,77
<b>TOTAL</b>				<b>31.369,369</b>

Tabla 37: Cálculo energía incorporada. Acero \_ ESS\_ edificación

	u	Mm (u)	Pm (€/u)	Cstm (€)
HORMIGÓN EN MASA HM-20/P/40/IIa EN CIMENTOS	m³	7,200	103,75	747,000
<b>TOTAL</b>				<b>747,000</b>

Tabla 38: Cálculo energía incorporada. Hormigón \_ ESS\_ edificación

	u	Mm (u)	Pm (€/u)	Cstm (€)
SEÑAL PVC 30 cm	u	11,550	2,93	33,842
<b>TOTAL</b>				<b>33,842</b>

Tabla 39: Cálculo energía incorporada. PVC \_ ESS\_ edificación

	u	Mm (u)	Pm (€/u)	Cstm (€)
MADERA DE PINO EN TABLONCILLO	m³	2,630	213,28	560,926
MADERA DE PINO EN TABLA	m³	1,000	195,18	195,180
<b>TOTAL</b>				<b>756,106</b>

Tabla 40: Cálculo energía incorporada. Madera \_ ESS\_ edificación

	u	Mm (u)	Pm (€/u)	Cstm (€)
AMORTIGUADOR DE RUIDO CON CASQUETES ALMOHADILLAS	u	10,00	19,02	190,20
AMORTIGUADOR DE RUIDO CON CASQUETES PVC	u	10,00	13,67	136,70
ARNES DE SEGURIDAD DE SUJECIÓN POLIESTER	u	20,00	20,83	416,60
BOTIQUÍN REGLAMENTARIO DE OBRA, INSTALADO	u	10,00	137,51	1.375,10
CASCO DE SEGURIDAD ESTANDAR	u	40,00	1,53	61,20
CHALECO REFLECTANTE	u	8,00	2,50	20,00
CINTURÓN ANTILUMBAGO	u	10,00	10,84	108,40
CINTURÓN DE SEGURIDAD DE SUJECIÓN DOBLE ANILLAJE	u	20,00	42,90	858,00
CUERDA GUIA ANTICAIDA DIAM. 16 mm	m	200,00	1,65	330,00
CUERDA SEGURIDAD DIAM. 14 mm	m	250,00	1,50	375,00
EXC. POZOS TIERRA C. MEDIA, M. MANUALES, PROF. MAX. 1,50 m	m <sup>3</sup>	7,20	38,10	274,32
FILTRO CONTRA PINTURA, HUMOS, SOLDADURA	u	15,00	1,97	29,55
GAFAS ANTI-IMPACTO DE MONTURA ACETATO	u	10,00	12,68	126,80
GAFAS ANTI-IMPACTO DE POLICARBONATO	u	10,00	14,73	147,30
GAFAS ANTI-POLVO DE VINILO CON VENTILACION	u	10,00	2,77	27,70
MALLA TIPO RAFIA 1 m	m	50,00	0,30	15,00

continúa

MANDIL PARA TRABAJOS DE SOLDADURA	u	8,00	3,23	25,84
MASCARILLA DE CELULOSA POLVO Y HUMOS	u	20,00	0,65	13,00
MATERIAL COMPLEMENTARIO	u	300,00	0,55	165,00
PANTALLA SOLDADURA ELECTRICA PARA CABEZA	u	10,00	21,65	216,50
PANTALLA SOLDADURA OXIACETILENICA ADAPTABLE	u	10,00	6,32	63,20
PAR DE BOTAS SEGURIDAD AF. PIEL	u	20,00	19,20	384,00
PAR DE BOTAS SEGURIDAD SERRAJE PUNT. Y METAL	u	20,00	25,12	502,40
PAR DE BOTAS SEGURIDAD SERRAJE PUNT. Y PLANT. NO METAL	u	20,00	26,35	527,00
PAR DE GUANTES AISLANTES BT. 5000 V	u	20,00	32,75	655,00
PAR DE GUANTES RIESGOS MECÁNICOS MINIMOS PIEL CERDO	u	40,00	2,02	80,80
PAR DE GUANTES RIESGOS QUÍMICOS LATEX Y NEOPRENO	u	20,00	6,15	123,00
PAR DE GUANTES RIESGOS QUÍMICOS NITRILO	u	20,00	3,15	63,00
PAR DE GUANTES SOLDADURA SERRAJE MANGA	u	20,00	3,00	60,00
PAR DE MANGUITOS PARA SOLDADURA	u	8,00	5,63	45,04
PAR DE POLAINAS DE CUERO	u	8,00	11,15	89,20
PAR DE TAPONES ANTIRRUIDO GOMAESPUMA	u	20,00	0,13	2,60
PEQUEÑO MATERIAL	u	2.485,00	0,30	745,50

continúa



RED DE SEGURIDAD DE POLIAMIDA	m <sup>2</sup>	330,00	1,20	396,00
RED DE SEGURIDAD DE POLIAMIDA 4 mm Y MALLA 10x10 cm	m	280,00	4,13	1.156,40
SEMIMÁSCARA RESPIRATORIA PINTURA, 1 VÁLVULA	u	15,00	13,25	198,75
SEMIMÁSCARA RESPIRATORIA POLVO, 1 VÁLVULA	u	15,00	13,25	198,75
SOPORTE CUERDA	u	10,00	0,60	6,00
<b>TOTAL</b>				<b>10.208,85</b>

Tabla 41: Cálculo energía incorporada. Sin definir \_ ESS\_ edificación

	u	Cantidad (u)	Pm (€/u)	Cstm (€)	Material	Mano obra (€)	Material (€)
PASTA FIJACIÓN REGLAS	m <sup>2</sup>	16.000,00	0,04	640,00	yeso		640,00
MATERIALES PELDAÑOS PROVISIONALES	m <sup>2</sup>	16.000,00	0,08	1.280,00	cerámico		1.280,00
MATERIALES PARA REPLANTEOS	m <sup>2</sup>	16.000,00	0,04	640,00	yeso		640,00
ANDAMIOS	m <sup>2</sup>	16.000,00	0,56	8.960,00	acero		1.792,00
HERRAMIENTAS	m <sup>2</sup>	16.000,00	1,32	21.120,00	acero		4.224,00
OFICINAS	m <sup>2</sup> .mes	240,00	9,64	2.313,60	acero		2.313,60
ALMACENES	m <sup>2</sup> .mes	960,00	8,70	8.352,00	acero		8.352,00

continúa

ACOMETIDAS Y TENDIDOS	u	1,00	2.188,31	2.188,31	acero-cobre	875,32	1.312,99
VIALES, LOCALIZACIONES Y REPLANT.	u	1,00	799,57	799,57	pétreos	319,83	479,74
<b>TOTAL</b>				<b>46.293,48</b>			

Tabla 42: Asignación de materiales a las partidas de costes indirectos

Según la tabla 42, cada una de las partidas tiene asignado un tipo de material, salvo el caso de las acometidas y tendidos, donde se han considerado como hipótesis dos tipos de materiales. Se han realizado las siguientes hipótesis para el cálculo del presupuesto real para los costes indirectos de materiales:

- Pasta fijación reglas: yeso (100%)
- Materiales peldaños provisionales: cerámico (100%)
- Materiales para replanteos: yeso (100%)
- Andamios: acero (100%). Se considera amortización de 5 años, por lo que sólo se repercute el 20% del coste.
- Herramientas: acero (100%). Se considera la misma hipótesis que para los andamios.
- Oficinas: acero (100%)
- Almacenes: acero (100%)
- Acometidas y tendidos: se considera la siguiente proporción: 40% del coste es de mano de obra y 60% de material. Del coste de material, 2/3 son de acero y 1/3 de cobre
- Viales: 40% mano obra y 60% material. 100% pétreos.

	<b>Material (€)</b>
YESO	1.280,00
CERÁMICO	1.280,00
ACERO	17.556,92
COBRE	437,66
PÉTREOS	319,83
<b>MATERIALES</b>	<b>20.874,41</b>

Tabla 43: Coste económico real de los materiales que forman parte de los costes indirectos

	Presupuesto (€)
ACERO	320.906,56
ARENA	24.863,07
HORMIGON	459.911,37
CERÁMICO	140.482,73
ESCAYOLA	377.237,12
COBRE	72.140,44
CAL	3.063,07
CEMENTO	17.332,51
PORCELANA	43.888,47
PVC	39.990,25
MADERA	102.687,87
LATÓN	40.397,63
PIEDRA	113.101,71
ALUMINIO	88.032,04
POLIETILENO	12.606,75
POLIESTILENO	57.531,59
METACRILATO	787,10
PINTURA	111.872,00
VIDRIO	4.126,62
VARIOS	107.106,91
SIN DEFINIR	1.290.418,87
MAQUINARIA	167.708,63
MANO OBRA	1.470.948,35
<b>TOTAL</b>	<b>5.067.139,67</b>
<b>TOTAL MATERIALES</b>	<b>3.428.484,69</b>

Tabla 44: CDE edificación

	<b>Presupuesto (€)</b>
ACERO	11.726,67
ARENA	1.658,41
HORMIGON	20.731,40
CEMENTO	1.450,71
CERÁMICO	7.211,59
COBRE	1.165,87
PVC	2.695,58
MADERA	2.347,92
ALUMINIO	5.342,13
POLIETILENO	3.255,39
TERMOPLASTICO	278,61
PINTURA	117,86
TIERRAS	174,42
VARIOS	33.823,48
SIN DEFINIR	16.454,84
MAQUINARIA	16.588,42
MANO DE OBRA	62.590,07
<b>TOTAL</b>	<b>187.613,37</b>
<b>TOTAL MATERIALES</b>	<b>108.434,88</b>

Tabla 45: CDE urbanización

	<b>Presupuesto (€)</b>
ACERO	31.369,37
HORMIGÓN	747,00
PVC	33,84
MADERA	756,11
SIN DEFINIR	10.208,85
MANO DE OBRA	8.752,26
<b>TOTAL</b>	<b>51.867,43</b>
<b>TOTAL MATERIALES</b>	<b>43.115,17</b>

Tabla 46: Presupuesto ESS edificación

<b>COSTES INDIRECTOS DE EJECUCIÓN</b>				<b>380.726,02</b>
<b>MANO DE OBRA INDIRECTA</b>				<b>109.716,72</b>
Encargado	mes	12	2.805,53	33.666,36
Capataces	mes	12	2.437,50	29.250,00
Almaceneros	mes	6	2.437,50	14.625,00
Guardas	mes	6	2.681,28	16.087,68
Listeros	mes	6	2.681,28	16.087,68
Otros				0,00
<b>MEDIOS AUXILIARES</b>				<b>193.760,02</b>
<b>Personal Auxiliar</b>				<b>78.560,00</b>
Pernal. tpte. interno materiales y residuos	m <sup>2</sup>	16.000	1,66	26.560,00
Pernal. limpieza, regado y vertido	m <sup>2</sup>	16.000	2,56	40.960,00
Recogida y tpte. útiles y herramientas.	m <sup>2</sup>	16.000	0,69	11.040,00
Otros				0,00
<b>Materiales Auxiliares</b>				<b>2.560,00</b>
Pasta fijación reglas	m <sup>2</sup>	16.000	0,04	640,00
Materiales peldaños provisionales	m <sup>2</sup>	16.000	0,08	1.280,00
Materiales para replanteos	m <sup>2</sup>	16.000	0,04	640,00
<b>Maquinaria, Útiles y Herramientas</b>				<b>112.640,02</b>
Medios de elevación				80.151,02
Grúas con gruista	mes	16	3.977,53	63.640,48
Montaje y desmontaje gruas	u	2	5.703,63	11.407,26
Montacargas	mes	8	637,91	5.103,28
Hormigoneras				0,00
Cortadoras y dobladoras	mes			0,00

continúa

Andamios	m <sup>2</sup>	16.000	0,56	8.960,00
Herramientas	m <sup>2</sup>	16.000	1,32	21.120,00
Otras máquinas	mes	12	200,75	2.409,00
<b>INSTALACIONES ACCESORIAS Y COMPLEMENTARIAS</b>				<b>13.653,48</b>
<b>Casetas de obra</b>				<b>10.665,60</b>
Oficinas	m <sup>2</sup> .mes	240	9,64	2.313,60
Almacenes	m <sup>2</sup> .mes	960	8,70	8.352,00
<b>Acometidas y tendidos</b>	<b>u</b>	<b>1</b>	<b>2.188,31</b>	<b>2.188,31</b>
<b>Viales, Localizaciones y replant.</b>	<b>u</b>	<b>1</b>	<b>799,57</b>	<b>799,57</b>
<b>Otros</b>				<b>0,00</b>
<b>PERSONAL</b>				<b>63.595,80</b>
Técnicos adscritos a la obra	mes	12	3.212,05	38.544,60
Administrativos	mes	12	2.087,60	25.051,20
Otros				0,00

Tabla 47: Presupuesto Costes Indirectos



	Horas	Coste horario (€/h)	Total (€)
OFICIAL 1º DE CARPINTERIA	3.924,31	15,12	59.335,49
OFICIAL 1ª CERRAJERO-CHAPISTA	680,23	15,12	10.285,00
PEÓN ESPECIAL	25.141,92	14,26	358.523,80
PEÓN ORDINARIO	1.822,21	14,26	25.984,71
OFICIAL 1ª	10.497,40	15,12	158.720,69
OFICIAL 2ª	588,76	14,72	8.666,55
OFICIAL 1ª FERRALLISTA	4.372,77	15,12	66.116,28
OFICIAL 1ª ENCOFRADOR	5.279,76	15,12	79.829,97
OFICIAL 1ª ALBAÑILERIA	8.580,00	15,12	129.729,60
OFICIAL 2ª ALBAÑILERÍA	58,79	14,72	865,39
AYUDANTE ESPECIALISTA	491,04	14,55	7.144,63
OFICIAL 1ª INSTALADOR	1.526,09	15,12	23.074,48
AYUDANTE	708,46	14,55	10.308,09
OFICIAL 1ª CALEFACTOR O MECANICO	1.825,65	16,99	31.017,79
OFICIAL 1ª FONTANERO	4.400,47	15,12	66.535,11
OFICIAL 1ª ELECTRICISTA	3.330,41	15,12	50.355,80
AYUDANTE INSTALADOR	822,50	14,55	11.967,38
OFICIAL 1ª MONTADOR	2.931,11	15,12	44.318,38
OFICIAL 1ª IMPERMEABILIZADOR	353,85	15,12	5.350,21
OFICIAL 1ª SOLDADOR	991,00	15,12	14.983,92
OFICIAL 1ª PINTOR	4.903,22	15,12	74.136,69
OFICIAL 1ª CRISTALERO	490,76	15,12	7.420,29
OFICIAL 1ª ALICATADOR	2.268,48	15,12	34.299,42

continúa

OFICIAL 1ª SOLADOR	5.058,11	15,12	76.478,62
OFICIAL 1ª ESCAYOLISTA	3.008,89	15,12	45.494,42
OFICIAL 1ª YESERO	4.629,87	15,12	70.003,63
	<b>98.686,05</b>		
<b>TOTAL MANO DE OBRA</b>			<b>1.470.946,35</b>

Tabla 48: Coste de la mano de obra vinculada a la edificación

	Horas	Coste horario (€/h)	Total (€)
OFICIAL 1ª JARDINERO	5,604	15,12	84,732
PEÓN ORDINARIO	935,984	14,11	13.206,738
OFICIAL 1ª ALBAÑILERIA	764,622	15,12	11.561,085
PEÓN ESPECIAL	1.380,035	14,26	19.679,303
OFICIAL 1ª	472,205	15,12	7.139,740
OFICIAL 1ª FONTANERO	45,991	15,12	695,390
OFICIAL 1ª PINTOR	4,244	15,12	64,172
OFICIAL 1ª SOLDADOR	224,016	15,12	3.387,122
OFICIAL 1ª ELECTRICISTA	447,870	15,12	6.771,791
<b>TOTAL</b>	<b>4.280,57</b>		
<b>TOTAL MANO OBRA</b>			<b>62.590,07</b>

Tabla 49: Coste de la mano de obra vinculada a la urbanización

	<b>Horas</b>	<b>Coste horario (€/h)</b>	<b>Total (€)</b>
PEÓN ORDINARIO	282,68	14,26	4.031,02
PEÓN ESPECIAL	72,00	14,26	1.026,72
OFICIAL 1 <sup>a</sup>	44,40	15,12	671,33
OFICIAL 2 <sup>a</sup>	205,38	14,72	3.023,19
<b>TOTAL</b>	<b>604,5</b>		
<b>TOTAL MANO DE OBRA</b>			<b>8.752,26</b>

Tabla 50: Coste de la mano de obra vinculada a la seguridad de la edificación