

Artículo
Recibido 22-01-2015
Aceptado 09-06-2015

Evaluación a través del presupuesto de la energía incorporada al proyecto de edificación

Evaluation of the embodied energy of a construction project using the budget

ANTONIO FREIRE GUERRERO, Departamento Construcciones II,
Universidad de Sevilla, Sevilla, España \\
antoniowebmix@hotmail.com

MADELYN MARRERO MELÉNDEZ, Departamento Construcciones
II, Universidad de Sevilla, Sevilla, España \\
madelyn@us.es

Palabras clave:

Base de costes de la construcción, clasificación sistemática, presupuesto, energía embebida

Keywords:

Construction cost database, systematic classification, budget, embodied energy

RESUMEN

Conocido es el alto impacto ambiental que tiene la construcción de edificios. Para poder tomar decisiones que lo disminuyan este debe ser cuantificado desde la etapa de diseño por lo que es necesario contar con herramientas sencillas de implementar. En el sector son empleadas de forma generalizada las bases de costes, las que se presentan como vehículo de incorporación del impacto ambiental. Se utiliza el caso particular de la Base de Costes de la Construcción de Andalucía (BCCA) para demostrar, de forma estructurada, la incorporación de los costes energéticos (energía incorporada) en los presupuestos de los proyectos. De forma novedosa se propone también incluir los costes energéticos del alimento de los trabajadores durante su jornada laboral y su movilidad, los que pueden llegar a representar desde un 5% a un 20% del total. Por último, se evalúa la energía incorporada en los costes indirectos de la obra que pueden ser significativos y que suelen ser obviados en los análisis.

ABSTRACT

The high impact of building construction on the environment is well known and should be assessed beginning in the design phase in order to be able to make decisions to reduce it. Therefore, simple and easily-implemented tools are necessary that evaluate the environmental impact of construction projects. Construction cost databases are widely used in the sector and can be utilized to incorporate environmental impact assessment. In particular, the case of the Andalusia Construction Costs Database is used to demonstrate a structured methodology in which energy costs (embodied energy) are included in project budgets. For the first time, it is also proposed that the energy costs associated with workers' food consumption and transportation during working hours be included, since these can represent from 5 to 20% of the total. Lastly, the embodied energy of indirect project costs is evaluated, which can be significant and are generally excluded from analyses.

1 INTRODUCCION

Es indudable la necesidad de mejora continua de los procedimientos y procesos constructivos en un panorama cada vez más global y competitivo. En esta tarea, los profesionales relacionados con el sector de la edificación se enfrentan a diario con una multitud de cuestiones durante la toma de decisiones, lo que plantea la necesidad de contar con instrumentos adecuados para llevar a cabo esta labor de manera eficaz, ordenada y con garantías.

Es en este marco donde encontramos los sistemas de clasificación de la información de construcción (SCIC) entre los que destacamos: MasterFormat (Construction Specifications Institute, 1983), Unifomat II (CSI, 1998), CESMM (Telford, 1991), CI / SFB (Jones, 1987) incorporado al estándar ISO (International Organization for Standardization, 1994), Uniclass (U.K. National Building specification Service Ltd, 1996) y OmniClass (OmniClass Construction Classification System, 2013).

El concepto básico en todos ellos es dividir un problema complejo en partes más simples que luego pueden ser agregadas, sin solapes ni repeticiones, para definir el desarrollo completo de los proyectos. En España las bases de costes de la construcción (BCC) poseen sus propios SCIC y su ámbito de implantación suele ser el entorno geográfico: PREOC y BPCM, en Madrid; ITEC, en Cataluña; CYPE, en Alicante; BDC-IVE, en Valencia; BDEU, en el País Vasco; PRECIOCENTRO, en Guadalajara y el BCCA, en Andalucía (Marrero y Ramírez, 2010).

Vinculando al concepto de coste, las bases se plantean como el vehículo ideal para cuantificar no sólo el valor económico sino ambiental y además como un elemento integrador, debido a su descomposición y jerarquía de precios, lo que posibilita introducir un proceso estandarizado.

Un indicador importante del impacto ambiental es el consumo de energía en la fabricación de productos y materiales para la construcción por lo que se promueve el empleo de materiales renovables, reciclables o reciclados, con reducciones en la energía incorporada en procesos que van desde la extracción de la naturaleza, fabricación y puesta a disposición en obra e incorporación final al edificio (Marrero et al, 2013). Por ello, la valoración y limitación del consumo energético en los proyectos de edificación se perfila como un elemento indispensable para alcanzar objetivos diferenciadores y cuantificables.

En este ámbito de actuación es donde se introduce la presente línea de trabajo, la inclusión de la cantidad de energía necesaria en cualquier componente de las unidades de obra: materiales, mano de obra y maquinaria, pues controlan significativamente la huella ecológica (Solis-Guzman, Marrero, Ramírez de Arellano, 2013, y González-Vallejo, et al. 2015) y las emisiones de CO₂ (Solis-Guzman, Martinez-Rocamora, Marrero, 2014).

Se propone incluir de forma novedosa la energía consumida tanto por los trabajadores, a través de su alimento y movilidad, como por las máquinas, a través del consumo de combustibles fósiles y electricidad (Freire y Marrero, 2014) para así determinar el coste de energía total, considerado como la suma del uso de sus unidades de obra. Los anteriores son generalmente llamados costes directos de ejecución.

Del mismo modo, existen los costes indirectos, no incluidos en las unidades de obra, como la electricidad y el agua consumida durante la ejecución de la obra, o los residuos generados (Figura 1).

En el método propuesto se emplea la BCCA donde participan –entre otros- los autores de esta investigación (Memoria BCCA, 2013) y que está en continuo desarrollo (Marrero y Ramírez de Arellano, 2010 y Marrero et al., 2014).

Se concretará la obtención de resultados mediante el análisis de varios precios, la determinación de la cantidad de energía incorporada y cómo puede trasladarse a niveles superiores como resultado del sumatorio de los niveles inferiores.

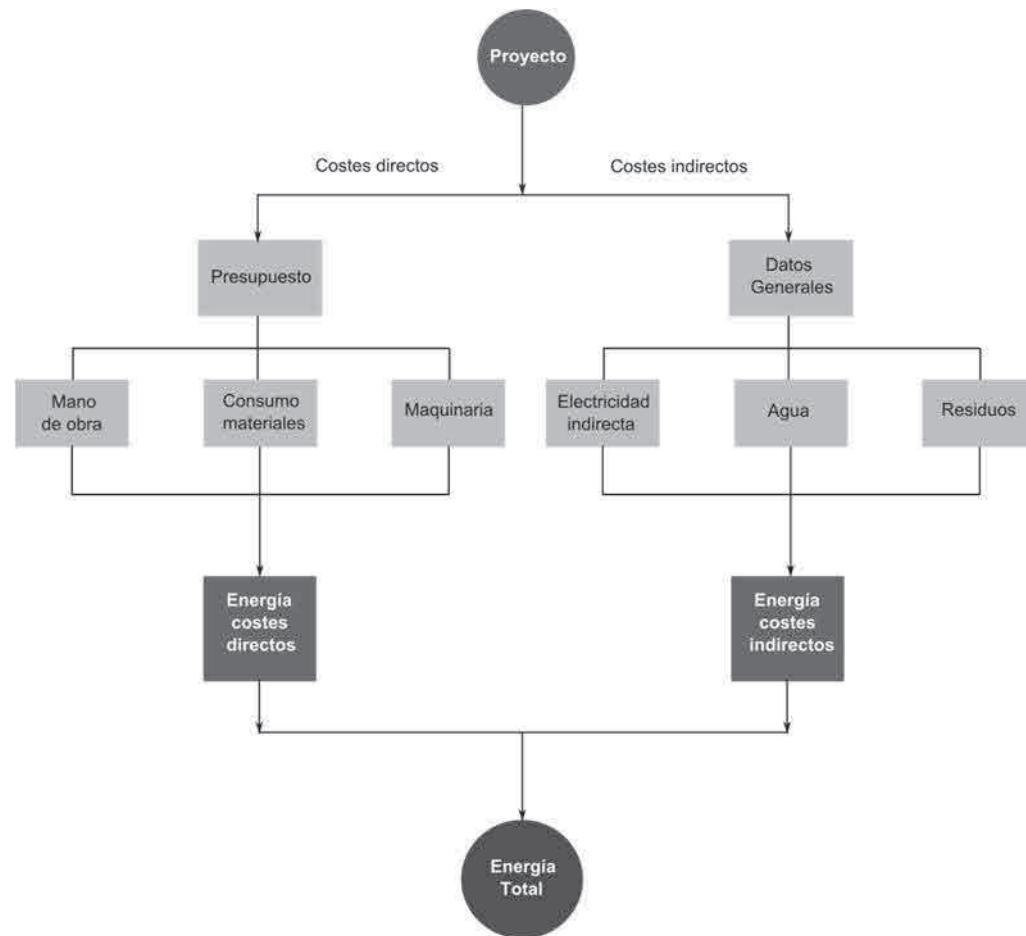


Figura 1. Diagrama de flujo para el cálculo de la energía consumida.

2 BASE DE COSTES DE LA CONSTRUCCIÓN DE ANDALUCÍA

El modelo de edificación en que se basa la estructura de costes de la BCCA es una obra de nueva planta, ubicada en una zona abierta, sin problemas de accesos, ni comunicaciones ni suministros en el solar, con una superficie construida cercana a los 5.000 m² y cuyo plazo de ejecución es de doce meses (Memoria BCCA, 2013).

En la figura 2 se muestra un edificio de características similares, una vivienda plurifamiliar.

La estructura de costes, que se muestra en la figura 3, está creada en virtud de una jerarquía de precios que, partiendo desde el nivel inferior con los precios de suministro (PSU), conectan directamente al mercado. Va creciendo mediante unión de los precios inferiores para conformar otros más complejos. Existen tres grandes grupos que, ordenados de menor a mayor, son:

Precios básicos (PB) distribuidos principalmente según tres naturalezas: maquinaria, mano de obra y materiales.

Precios auxiliares (PA) formados por la unión de PB con las cantidades adecuadas.

Precios unitarios simples (PUS) formados por la unión de PB exclusivamente o en combinación con PA.

En el vértice de la estructura se sitúan los importes de contrata (IC), que enlazan la información de carácter económico con los mercados de productos: edificios residenciales, oficinas, centros docentes, etc. Éste incluye el importe de ejecución material (IEM) y los costes exógenos (CE) que ocurren fuera de la obra pero que repercuten en el proyecto.

Todos los precios están expresados en una unidad de medida determinada que se acoge a los criterios establecidos en las bases españolas (FIEBDC, 2008). Además se han de definir criterios que puedan cuantificar la cantidad de unidades sujetas a dicho precio. Para ello, se establecen parámetros que faciliten dicha medición.



Figura 2. Imagen de viviendas dentro de la tipología modelo en el BCCA



Figura 3. Pirámide de precios (Marrero y Ramírez de Arellano 2010)

Código	UD	Descripción	x (m)	y (m)	z (m)	Densidad (kg/m ³)	kg/UD
RS06000	u	rodapié mármol blanco Macael 40x10 cm	0,4	0,1	0,015	2.800,00	1,68
RS06640	m	rodapié corcho barnizado 7 cm	1	0,07	0,01	500,00	0,35
RS07200	m2	solería linóleo 40x40 cm	1	1	0,01	1.200,00	12,00

Tabla 1. Ejemplo de homogeneización unidades de medición de precios básicos.

Los conceptos anteriormente descritos constituyen conjuntamente lo que se denomina epígrafe de un precio donde cada precio está formado por un código de números y letras, una unidad de medida particular y descripción breve de la partida o concepto, junto a su criterio de medición.

Todas estas características facilitan la incorporación del coste energético por familias de precios dentro de la clasificación sistemática y alfanumérica, y permite emplear las mismas ponderaciones de medición de las unidades de obra. Siguiendo la estructura jerarquizada, los PB y/o PA se unen para formar PU sumando sus costes económicos o energéticos, de acuerdo a su cuantía.

3 MÉTODO

Determinación del consumo energético de los materiales de construcción

El consumo energético en los procesos de los productos de consumo o, en términos medioambientales, su energía incorporada, se enfoca a través del análisis del ciclo de vida (ACV). Existe una definición generalmente aceptada, que se considera en el presente trabajo, y que es la energía que se necesitó en los distintos procesos necesarios. Desde la extracción de las materias primas, manufactura,

transporte y considerando la parte proporcional de la infraestructura necesaria para que lo anterior sea posible así como la parte proporcional de los equipos y maquinaria necesarios para todos esos procesos (Woolley, Kimmins y Harrison, 2005). Esto coincide con la definición de los materiales de construcción en el presupuesto de obra de la BCCA, cuyos materiales y productos están en disposición de ser incorporados al edificio.

Para la obtención de la energía incorporada por los productos de construcción de la cuna al sitio existen varias bases de datos de ACV y softwares (Mercader, 2010). Asimismo encontramos estudios, pequeñas bases de datos y publicaciones nacionales e internacionales que emplearemos en nuestro análisis (Mercader, 2010; Solís-Guzmán, 2011; Solís-Guzmán et al. 2013 y González-Vallejo, et al. 2015).

En la tabla 1 se muestran, a modo de ejemplo, PB de revestimientos junto a su descripción, unidad de medida (UD), código que pertenece a la familia revestimientos (R) y subfamilia suelos (S). El código facilita la identificación de las diversas materias primas y permite tanto su localización como el establecimiento de su grado de "parentesco" con el resto. La unidad de medida común de la cuantificación energética es el MJ/kg de producto. Por ello, se convierten todas las UD a kg. En la tabla 1, las columnas x, y, z facilitan

Familia energética asimilada	(MJ/kg)
Acero comercial (20% reciclado)	35,73
Acero inoxidable	177,00
Aditivo	93,00
Aluminio primario	192,14
Aluminio comercial (30 % reciclado)	188,92
Arcilla cocida, ladrillo y tejas	2,90
Arena - áridos	0,15
Asfalto en tela (oxiasfalto)	10,00
Barniz	100,00
Betún Asfáltico	44,12
Cal	3,87
Cartón-yeso	6,23
Cemento	5,56
Cerámica	2,36
Cobre primario	109,17
Corcho	3,94

Tabla 2. Energía incorporada en los materiales de construcción.

la obtención del volumen de material en cada PB y, junto a la densidad, permite obtener los kilogramos.

Para la aplicación de los consumos energéticos a los PB, se ha considerado lo que se denomina "Familias energéticas asimiladas". Es decir, la composición mayoritaria del material de construcción. La energía incorporada se establece partiendo de los datos usados en la tesis de Solís (2011) y Mercader (2010) (tabla 2).

Determinación del consumo energético de la mano de obra y maquinaria

Siguiendo la metodología de la huella ecológica (Solís-Guzmán, Marrero y Ramírez de Arellano, 2013 y González-Vallejo, et al. 2015) y de la huella de carbono (Solís-Guzmán, Martínez-Rocamora y Marrero, 2014) se propone incluir en el presupuesto energético no sólo los materiales de construcción sino también el consumo de energía de las máquinas en la obra y de la mano de obra a través de los alimentos y movilidad que en el caso de la huella puede llegar a representar desde un 5% hasta un 25%. Se toma la alimentación y su intensidad energética que se describe en Solís et al. (2013) y donde se obtiene que la energía de los alimentos por cada hora trabajada es de 50,91 MJ/h.

Para analizar la movilidad de los operarios, se establece que la obra está situada a una distancia de 30 km desde donde residen los operarios y que cuatro trabajadores compartirán un vehículo (Solís-Guzmán, Marrero y Ramírez de Arellano, 2013 y González-Vallejo, et al. 2015. Solís-Guzmán, Martínez-Rocamora y Marrero, 2014). La energía por hora de trabajador es 2,23 MJ/h, lo que sumado a los alimentos genera 53,14 MJ/h.

La unificación de todos los impactos relacionados con el trabajador se debe al objetivo final de este trabajo que es generar un presupuesto energético, considerando que es de relativa facilidad calcular las horas totales de trabajador y adaptar su consumo a las condiciones de alimentación y movilidad de la región donde se lleva a cabo la obra.

En el cálculo del consumo energético de la maquinaria, la tabla 3 muestra algunos ejemplos. Se emplean manuales de los equipos y bases de costes de la construcción (Freire y Marrero, 2014). En la maquinaria con motor de combustible, los litros de combustible consumidos dependen de la potencia del motor y de la intensidad energética del combustible empleado:

$$C = (\text{Pot} \times \text{TU} \times \text{Rend}) \times \text{IE} \quad (1)$$

Donde:

C: consumo (MJ).

Pot: potencia del motor de la maquinaria (kW).

TU: tiempo de uso de la maquinaria en los trabajos de obra (horas)

Rend: combustible consumido por el motor según sea gasoil o gasolina (l/kWh).

IE: intensidad energética (MJ/litros)

Para obtener el consumo de la maquinaria eléctrica se ha analizado la potencia de motor y los kWh totales consumidos:

$$C = (\text{Pot} \times \text{TU} \times \text{FC}) \quad (2)$$

Donde:

C: consumo (MJ).

Pot: potencia de la maquinaria empleada (kW).

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

FC: Factor de conversión para cambio de unidades (MJ/kWh)

Maquinaria	Consumo Energía	
	l/h	MJ/h
Camión bituminador	16,00	560,0
Compresor portátil diésel 12 bar	6,50	227,5
Excavadora hidráulica con cadenas 310 CV	16,00	560,0
Camión 10 T basculante	12,00	420,0
Motoniveladora 135 CV	17,00	595,0
Pisón vibrante 70kg	1,03	36,1
Vibrador	7,50	1,80
Hormigonera 250 l	1,00	35,0

Tabla 3. Ejemplo del consumo energético de algunas máquinas

Costes indirectos

De forma innovadora se incorporan al análisis los costes indirectos, tomando como referencia la BCCA y sus códigos (tabla 4). Cada concepto se transforma en datos útiles para calcular la energía (horas anuales efectivas de trabajadores, consumo de combustible de la maquinaria, agua y electricidad en las casetas de obra, etc.).

Una vez transformados los datos iniciales de los costes indirectos en conceptos válidos para el cálculo de la energía consumida, el cómputo de la mano de obra y la maquinaria siguen el proceso comentado en los apartados anteriores, quedando por definir el consumo de energía eléctrica y agua en las casetas, la iluminación de la obra y las pruebas iniciales de servicio de las instalaciones. Para el consumo energético de las casetas, se ha tenido en cuenta lo recogido en la ITC-BT-10 (RD 842/2002, España, 2002) que establece un consumo de 0,10 kW/m² para usos de edificios comerciales y oficinas. Teniendo este dato y las horas totales de uso de las oficinas (se ha establecido la hipótesis de tomar 8 horas al día durante

5 días semanales y 52 semanas al año) se obtienen los kWh. Para la iluminación de la parcela se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo (RD 486/1997, España, 1997) con un nivel mínimo de iluminación de 100 lumen/m² o 0,0143 W/m² (lumen = 70 W).

Para determinar el consumo eléctrico de las pruebas de servicio de las instalaciones ejecutadas, han sido analizadas las facturas eléctricas de 30 proyectos facilitados por la compañía ENDESA, obteniendo los kWh totales consumidos por tipo de obra y superficie de parcela.

Comparando estos resultados empíricos con los obtenidos de los costes indirectos en una obra estudiada previamente (Solís-Guzmán, et al. 2013), aparece una descompensación de un 15%, la que se asigna a las pruebas de las instalaciones a la finalización del proyecto, 1,11 kWh por m² de parcela construida.

Código	Concepto	UD	Coeficientes		
C12	Costes indirectos de ejecución (CIE)		Personal		
C121	Mano de obra indirecta		h/mes		
C1211	Encargado	mes	127,08		
C1212	Capataces	mes	127,08		
C1213	Almaceneros	mes	127,08		
C1214	Guardería	mes	127,08		
C122	Medios auxiliares		Personal		
C1221	Mano de Obra Auxiliar		h/m²		
C12211	Personal transporte interior	m ²	0,02		
C12212	Personal de limpieza general y regado	m ²	0,05		
C12213	Recogida y transporte de útiles y herramientas	m ²	0,04		
C1223	Maquinaria, Útiles y Herramientas		Personal	Eléctrico	Combustible
C12231	Medios de Elevación		h/mes	kWh/mes	l/mes
C122311	Grúa	mes	127,08	1.525,00	
C122313	Manipulador telescópico	mes	101,67		1.830,00
C122314	Plataformas elevadoras	mes	101,67	305,00	
C122315	Montacargas	mes	101,67	305,00	
C12232	Hormigoneras	mes	101,67	149,450	
C12233	Cortadoras	mes	101,67	162,667	
C123	Instalaciones, accesorias y complementarias		Personal	Eléctrico	Agua
C1231	Casetas de obra		h/u	kWh/m²	m³ agua/m² caseta
C12311	Oficinas	m ²		208,00	0,16
C12312	Sala de Reuniones	m ²		208,00	
C12313	Almacenes	m ²		208,00	0,16
C12321	Acometida de Electricidad	u	32,82		
C12322	Acometida de Agua y Saneamiento	u	6,56		
C12323	Tendido Eléctrico	u	21,88		
C124	Personal		Personal		
C1241	Técnicos Adscritos a la Obra		h/mes		
C12411	Jefe de Obra	mes	127,08		
C12412	Jefe de Producción	mes	127,08		
C12413	Técnicos Auxiliares	mes	127,08		
C1242	Administrativos adscritos permanentemente a la obra	mes	127,08		
C125	VARIOS		Eléctrico		
C1251	Gastos de Oficinas y Almacenes de Obra		kWh/m²		
C12511	Gastos de Oficinas	mes			
C1253	Otros				
C12531	Iluminación	m ²	1,49		
C12532	Pruebas de Servicio de Instalaciones	m ²	1,11		
C1234	Consumos	u			

Tabla 4. Costes indirectos en términos necesarios para calcular la energía

De forma también novedosa, se predice el consumo de agua basado en el consumo de las casetas de obra, con una energía incorporada de 0,006 MJ/m³. Para obtener el agua de los aseos y vestuarios instalados en obra se ha analizado el Código Técnico (RD 314/2006, España, 2006) que establece un consumo de agua caliente sanitaria por persona y día, y que se ha incrementado un 25% para incluir los inodoros. Considerando el número de empleados y días trabajados se obtienen además los litros totales. Aquí no se incluye la energía del agua como material de construcción, ya que forma parte de los costes directos.

4 PRESENTACIÓN DE LOS CASOS

A continuación se muestra un breve proyecto para reforma de una zona de cubierta. Las características de las obras son las siguientes:

Duración estimada: 3 meses.

Superficies de obra:

Muro construido: 525 m².

Cubierta demolida: 180 m².

Forjado y cubierta construida: 180 m².

Costes Indirectos Estimados:

Jefe de Obra durante todo el proyecto.

Mano de obra auxiliar.

Manipulador Telescópico durante un mes de obra.

Casetas de obra: 15 m² de almacén.

Iluminación de la zona de trabajo.

El presupuesto está formado por cinco PU, listados en la tabla 8. El primero, pertenece al capítulo de Demoliciones y el segundo, al de Estructuras (se muestra su descomposición en la tabla 5 y la construcción de este tipo de forjado, en la figura 4). El tercero pertenece a Albañilería, en cuya descomposición aparece un PA, AGM00800, que ha de calcularse separadamente (tabla 6). El cuarto capítulo que se incluye es Cubiertas, que tiene en su descomposición varios PA y algunos PB, para lo que se repite el procedimiento anterior. Y finalmente el quinto, donde aparece un precio del capítulo de Gestión de Residuos.

Código	Ud	Concepto	Q (Ud)	(MJ/Ud)	(MJ)
05FBB00027	m²	Forjado reticular con bloques de poliéster y hormigón. (HA-30)			
TO02100	h	oficial 1 ^a	0,44	53,140	23,38
TO00600	h	oficial 1 ^a ferrallista	0,24	53,140	12,75
TP00100	h	peón especial	0,55	53,140	29,23
CM00600	U	panel metálico 50x50 cm	0,07	260,83	18,26
CM00200	m ³	madera de pino en tabla	0,003	1.346,00	4,04
CM00300	m ³	madera de pino en tablón	0,003	1.346,00	4,04
CH80020	m ³	hormigón ha-30/p/20/IIa, suministrado	0,19	6.209,97	1.148,85
CE00200	U	puntal metálico de 3 m	0,01	34,06	0,34
CB00400	U	bloque reticular de poliestireno 0,60x0,60 m	2,00	255,19	510,39
CA00620	kg	acero electrosoldado MES00T en malla	1,32	35,73	47,16
CA00320	kg	acero B500S	9,36	35,73	334,43
MV00100	h	vibrador	0,15	1,80	0,27
WW00300	U	material complementario o piezas especiales	1,00	10,00	10,00
WW00400	U	pequeño material	1,00	10,00	10,00
Total					2.153,14

Tabla 5. Cuantificación de consumo energético en precios unitarios descompuestos.

Tabla 5. Cuantificación de consumo energético en precios unitarios descompuestos.



Figura 4. Ejemplo de estructura de forjado reticular

Código	Ud	Concepto	Q	(MJ/Ud)	(MJ)
AGM00800	m3	Mortero de cemento m5 (1:6) cem II/a-l 32,5 n + plastificante			
TP00100	h	peón especial	1,03	53,140	54,73
GC00200	t	cemento II/a-l 32,5 n en sacos	0,258	5.560,00	1.434,48
AA00300	m3	arena gruesa	1,102	247,50	272,75
GW00100	m3	agua potable	0,263	50,00	13,15
GA00200	l	plastificante	1,288	100,44	129,37
Total					1.904,48

Tabla 6. Cuantificación de consumo energético en precios unitarios descompuestos. Precios Auxiliares.

CÓDIGO	CONCEPTO	UD	MJ		
			Personal	Electric.	Combust.
C122	MEDIOS AUXILIARES				
C1221	Mano de Obra Auxiliar				
C12211	Personal transporte interior	180 m ²	235,17		
C12212	Personal de limpieza general y regado	180 m ²	435,23		
C12213	Recogida y transporte de útiles y herramientas	180 m ²	390,83		
C1223	Maquinaria, Útiles y Herramientas				
C122313	Manipulador telescópico	1 mes	5.402,56		64.050,00
C123	INSTALACIONES, ACCESORIAS Y COMPLEMENTARIAS				
C12313	Almacenes	15 m ²		8.370,88	
C124	PERSONAL				
C12411	Jefe de Obra	3 mes	6.753,21		
C125	VARIOS				
C12531	Iluminación	180 m ²		2.941,12	
	TOTAL		13.216,98	11.312,00	64.050,00

Tabla 7. Cuantificación de consumo energético de los costes indirectos

5 RESULTADOS

Los costes indirectos se recogen en la tabla 7, donde serán convertidos en unidades de personal, consumo de electricidad y combustible.

El coste energético del proyecto corresponde al sumatorio de las cantidades de energía de cada uno de sus PU multiplicados por su correspondiente medición (Q) en las unidades correspondientes (UD) (tabla 8). La mano de obra representa el 8,05% del consumo y los costes indirectos un 12,38%.

El procedimiento establecido y la metodología propuesta se adaptan a cualquier de precio de la BCCA. Permite el cálculo de la energía consumida de cada una de las partidas y de la energía total de cualquier proyecto de edificación con la simple repetición del método en cada uno de sus precios unitarios.

Código	UD	Concepto	(MJ/UD)	Q	Energía (MJ)
01QTH0003	m ²	Demolición azotea transitable sobre hormigón aligerado, carga mecánica	45,94	180,00	8.269,20
05FBB 00027	m ²	Forjado reticular con bloque de poliéster	2.153,14	180,00	387.565,20
06BHH 00020	m ²	Fábrica 15 cm de bloque de hormigón	244,85	525,00	128.546,25
07HTF 00021	m ²	Faldón azotea transitable invertida	568,172	180,00	102.270,96
17RRR00220	m ³	Retirada residuos mixtos a planta valorización 15 km	2,42	91,70	221,91
				C.D.	626.873,52
				C.I.	88.578,98
					715.452,50

Tabla 8. Cuantificación de consumo energético de los precios unitarios del proyecto

6 CONCLUSIONES

Se ha comprobado que es posible la evaluación del impacto ambiental de los proyectos de edificación a través de su presupuesto. La novedad de este trabajo radica en cómo traducir al técnico a pie de obra los conceptos ambientales, más concretamente, la energía incorporada.

La presente propuesta comienza en la filosofía del presupuesto del proyecto, ampliamente estudiado y evaluado por los técnicos, y se aplica la energía incorporada siguiendo las estructuras jerarquizadas normalmente empleadas en los bancos de costes de la construcción en todo el mundo. Finalmente, se demuestra que es posible incorporar de manera sencilla este indicador ambiental, de la misma manera en que se evalúa el coste en un presupuesto.

La introducción de la metodología propuesta en los bancos de costes de la construcción puede integrar en un mismo instrumento dos procesos de contabilización diferentes, el económico y el ambiental (a través de la evaluación de la energía incorporada) posibilitando así a los agentes intervinientes, la toma de decisiones tanto a nivel económico, principal argumento de la utilización de las bases de costes de construcción, hasta el momento, y a nivel medioambiental.

Al comienzo de este trabajo se planteó el desafío de encontrar un procedimiento adecuado para calcular los consumos energéticos de los materiales de construcción y poder incluirlos en los presupuestos. Esto se realiza con una propuesta flexible, orientada a cambios futuros en la elección de las hipótesis de partida, de los datos de las fuentes utilizadas o de los criterios y especificaciones técnicas de los materiales escogidos. Es posible la clasificación de los precios básicos y de los materiales en función de la asignación de familias energéticas.

Se ha abordado la energía incorporada en los proyectos desde una perspectiva presupuestaria, en la que se evalúan por separado los costes directos (mano de obra, maquinaria y materiales) y por otro, los consumos indirectos, como son las casetas de obra, el agua y la electricidad, no dejando fuera de la evaluación ningún elemento necesario en la ejecución de la obra.

Las limitaciones principales del método propuesto son dos. En primer lugar, que no sustituye un análisis del ciclo de vida del edificio, ya que no sigue las mismas hipótesis de partida sino que transforma el presupuesto económico en uno que incorpora aspectos ecológicos y, en segundo lugar, que no incluye otros aspectos también importantes como la huella hídrica, de carbono o ecológica.

En trabajos futuros, con el mismo procedimiento planteado, se calcularán las emisiones de CO₂ aplicando a los MJ calculados sus correspondientes factores de emisiones, los que dependen de la fuente energética y finalmente, obtener la huella de los proyectos. Los resultados son aplicables en un futuro próximo, cuando sean incorporados a la base de costes regional, en la que trabajan los autores.

7 AGRADECIMIENTOS

Ministerio de Innovación y Ciencia de España, por la concesión del proyecto I+D+i: Evaluación de la huella ecológica de la edificación del sector residencial en España (EVALHED). 2012-2014.

Fundación Mapfre. Ayudas a la Investigación Ignacio H. Ilarramendi. "Estudio de la Huella ecológica de la transformación del uso del suelo". 2014.

BIBLIOGRAFÍA

- CONSTRUCTION SPECIFICATIONS INSTITUTE., & CONSTRUCTION SPECIFICATIONS CANADA. Masterformat: Master list of section titles and numbers. Alexandria, VA: Construction Specifications Institute (1983).
- CONSTRUCTION PROJECT INFORMATION COMMITTEE (CPIC). UNICLASS: *Unified Classification for the Construction Industry*. London. U.K. (1997).
- CONSTRUCTION SPECIFICATIONS INSTITUTE, AND CONSTRUCTION SPECIFICATIONS CANADA UNIFORMATTM: *A Uniform Classification of Construction Systems and Assemblies*. Alexandria, Virginia: Construction Specifications Institute and Construction Specifications Canada (1998).
- DOMENECH, J.L. *Huella Ecológica y Desarrollo Sostenible*. Madrid, Spain. AENOR, 2007. 400p.
- FORMATO DE INTERCAMBIO ESTÁNDAR DE BASES DE DATOS PARA LA CONSTRUCCIÓN - FIEBDC. *Definición del Formato de Intercambio Estándar de Bases de Datos de la Construcción* [en línea]. Madrid. <<http://www.fiebdc.org/index2.html>> [consulta: 21 enero 2015]
- FREIRE-GUERRERO, A. y MARRERO-MELÉNDEZ, M. 2014. *Analysis of the ecological footprint produced by machinery in construction*. En: World Sustainable Building 14 (Barcelona, 28 y 30 de octubre 2014). Barcelona, España.
- GONZÁLEZ-VALLEJO, P., MARRERO, M., SOLÍS-GUZMÁN, J. *The ecological footprint of dwelling construction in Spain*. Ecological Indicators 52: 75-84, 2014.
- INSTITUTION OF CIVIL ENGINEERS. CESMM4: *Civil Engineering Standard Method of Measurement*. 3ª Ed. Reino Unido, Thomas Telford LTD, 1991. 136p.
- INSTITUT TECNOLÒGIC DE EDIFICACIÓ DE CATALUNYA - ITEC. *Programa para los proyectos y obras de construcción – TCQ*. [en línea] <<http://www.itec.es/programas/tcq/>> [consulta: 21 enero 2015]
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION – ISO. *Classification of information in the construction industry*. ISO/TR 14177. Oslo, Norway. 1994.
- JONES, A. R.. *CI/SfB Construction indexing manual*. 3ª Ed. London, Royal Institute of British Architects (RIBA) Publications Ltd., 1976. London, U.K. 216p.
- JUNTA DE ANDALUCÍA. *MEMORIA BASE DE COSTES DE LA CONSTRUCCIÓN DE ANDALUCÍA* [en línea]. Sevilla. <<http://www.juntadeandalucia.es/fomentoyvivienda/portal-web/web/areas/vivienda/texto/b28c72fc-4818-11e2-804b-e3c3905d6ca6>> [consulta: 21 enero 2015].
- MARRERO M. *Minimización del Impacto Ambiental en la Ejecución de Fachadas Mediante el Empleo de Materiales Reciclados*. Informes de la Construcción 65 (529): 89-97. 2013.
- MARRERO, M. y RAMÍREZ DE ARELLANO, A. The building cost system in Andalusia: application to construction and demolition waste management. *Construction Management and Economics* 28: 495–507, 1998.
- McDONOUGH, W. y BRAUNGART, M. *Cradle to Cradle: Remaking the Way We Make Things*. Estados Unidos, North Point Press, 2002. 193p.
- MERCADER, M. *Cuantificación de los Recursos Consumidos y Emisiones de CO2 Producidas en las Construcciones de Andalucía y sus Implicaciones en el Protocolo de Kioto*. Tesis (Doctoral). Sevilla, España. Universidad de Sevilla, Departamento de Construcciones Arquitectónicas, 2010.
- MERCADER P. *Cuantificación de los recursos materiales consumidos en la ejecución de la Cimentación*. Informes de la Construcción 62 (517): 125-132. Enero-marzo, 2010.
- MINISTERIO DE VIVIENDA DE ESPAÑA. Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. [en línea]. Madrid. <http://www.csd.gob.es/csd/estaticos/inst-dep/armonizacion-juridica/013.pdf> [consulta: 21 enero 2015].
- MINISTERIO DE EMPLEO Y SEGURIDAD SOCIAL DE ESPAÑA. Real Decreto 486/1997, de 14 de abril, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo. BOE nº 97 23-04-1997. [en línea].Madrid. <http://www.insht.es/portal/site/Insht/menuitem.1f1a3bc79ab34c578c2e8884060961ca/?vgnextoid=e0b917815b2d5110VgnVCM100000dc0ca8c0RCRD&vgnnextchannel=ff3cc6b33a9f1110VgnVCM100000dc0ca8c0RCRD&tab=tab> ConsultaCompleta [consulta: 21 enero 2015].
- MINISTERIO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ESPAÑA. Real Decreto 842/ 2002, de 2 de agosto, por el que se aprueba el Reglamento electrotécnico para baja tensión. [en línea]. Madrid <http://www.boe.es/boe/dias/2002/09/18/pdfs/A33084-33086.pdf> [consulta: 21 enero 2015].
- OMNICLASS CONSTRUCTION CLASSIFICATION SYSTEM – OCCS. *OmniClass Construction Classification System* [en línea] Canadá <<http://www.omniclass.org/>> [consulta: 21 enero 2015].
- MARRERO M. *Schedule and Cost Control in Dwelling Construction Using Control Charts*. The Open Construction and Building Technology Journal 8: 63-79. 2014.
- SOLÍS-GUZMÁN, J. *Evaluación de la huella ecológica del sector edificación uso residencial en la comunidad andaluza*. Tesis (Doctoral). Sevilla, España. Universidad de Sevilla, Departamento de Construcciones Arquitectónicas, 2010.
- SOLÍS-GUZMÁN, J., MARRERO, M., RAMÍREZ DE ARELLANO, A. *Methodology for determining the ecological footprint of the construction of residential buildings in Andalusia (Spain)*. Ecological Indicators. 25, 239-249, 2013.
- SOLÍS-GUZMÁN, J., MARTÍNEZ-ROCAMORA, A., MARRERO, M. *Methodology for determining the carbon footprint of the construction of residential buildings*. En: Muthu, S.S. (Ed). *Assessment of Carbon Footprint in Different Industrial Sectors*, 1. Singapur, Springer Science + Business Media, 2014. 49-83.
- WOLLEY P. *Green Building Handbook: Volume 1: A Guide to Building Products and their Impact on the Environment*. United Kingdom, Taylor & Francis Group, 2005. 382p.