

PROYECTANDO EL DISEÑO SOSTENIBLE CON PREDICE: HERRAMIENTA DE PRESUPUESTACIÓN ECONÓMICA Y AMBIENTAL PARA EL CICLO DE VIDA DE EDIFICACIONES RESIDENCIALES

INTRODUCCIÓN

La economía circular en el sector de la construcción no solo trata la gestión del fin de vida, sino de todo el ciclo de los edificios. Por ejemplo, optimizar el uso de productos de construcción, minimizar la producción de residuos de construcción y demolición (RCD), reducir el consumo de agua y energía, e incluso, prever cuando es más adecuada la construcción modular, la utilización de elementos constructivos industrializados, y el uso de productos que puedan ser reutilizados o reciclados (Figura 1).

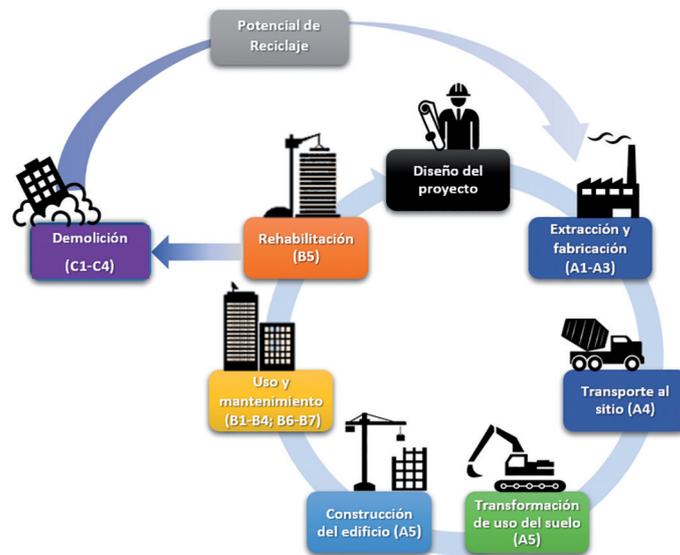


Figura 1: Economía circular en el ciclo de vida del edificio. Fuente: Rivero Camacho, Cristina, 2020 [1].

Por ello, a fin de mejorar el rendimiento ambiental de los proyectos edificatorios, es preciso analizarlos mediante indicadores ambientales y económicos, de manera que la magnitud de los impactos pueda ser cuantificada, desde la extracción de las materias primas, pasando por la fabricación de los productos, su transporte, colocación, uso y mantenimiento, y finalmente su gestión como residuos.

Para realizar estos análisis es necesario tener presente que el sector de la construcción está formado por equipos multidisciplinares, lo que hace ineludible desarrollar metodologías fáciles de implementar y adaptables, por ejemplo a las bases de datos de costes de la construcción, facilitando la exportación e importación de datos en formatos estandarizados de intercambio como el .bc3 (FIEBDC). Esto permite centralizar toda la información del proyecto, aspecto imprescindible en la implantación desde la fase de diseño de estrategias de economía circular.

En esta línea, se presenta la herramienta PREDICE, en desarrollo y financiada por la Consejería de Fomento, Infraestructuras y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía, dentro de la convocatoria 2020 de subvenciones para el desarrollo de proyectos de investigación en las materias de vivienda, rehabilitación y arquitectura.

OBJETIVOS

El objetivo principal de este proyecto es desarrollar un modelo de cálculo del impacto del ciclo de vida completo de edificios de viviendas sociales, mediante indicadores ambientales: energía incorporada (EI), huella ecológica (HE), de carbono (HC) e hídrica (HH), así como la cuantificación de residuos de construcción y demolición (RCD) generados, e indicadores sociales. Existen numerosos análisis de impacto ambiental de edificios, aunque sólo unos pocos abarcan el ciclo de vida del edificio (CVE) completo, limitándose la mayoría al análisis del consumo directo [2, 3]. Con esta herramienta será posible estimar la huella que tendrá un edificio durante toda su vida útil. Las etapas a tener en cuenta serán [6]: Diseño del proyecto; Extracción – fabricación de materiales (A1-A3); Construcción del edificio (A4-A5); Uso y mantenimiento(B1-B5); Fin de vida (C1-C4).



Figura 2: Imagen de la interfaz de la herramienta PREDICE

Además, la herramienta (Figura 2), permitirá localizar aquellos focos de mayor impacto en cada una de las etapas, pudiendo así gestionarlas de forma que se reduzca la huella futura. En el desarrollo de la herramienta se emplean los presupuestos de los proyectos de edificación como vínculo de incorporación del impacto socio-ambiental, para ello se integran los indicadores de forma estandarizada y re-producible a los componentes del presupuesto de proyectos de edificación. La metodología se aproxima a un “presupuesto socio-ambiental”, facilitando su entendimiento por los técnicos del sector, lo cual incentiva su aplicación. Como principal innovación se crea una base de datos medioambiental y social de construcción que permita tomar decisiones de forma sistemática, en los presupuestos de los proyectos. Una vez creada la base de costes medioambientales, esta se convertirá en formato de intercambio (.bc3) de acceso público y gratuito, permitiendo la evaluación ambiental de proyectos a todos los usuarios (Figura 3).

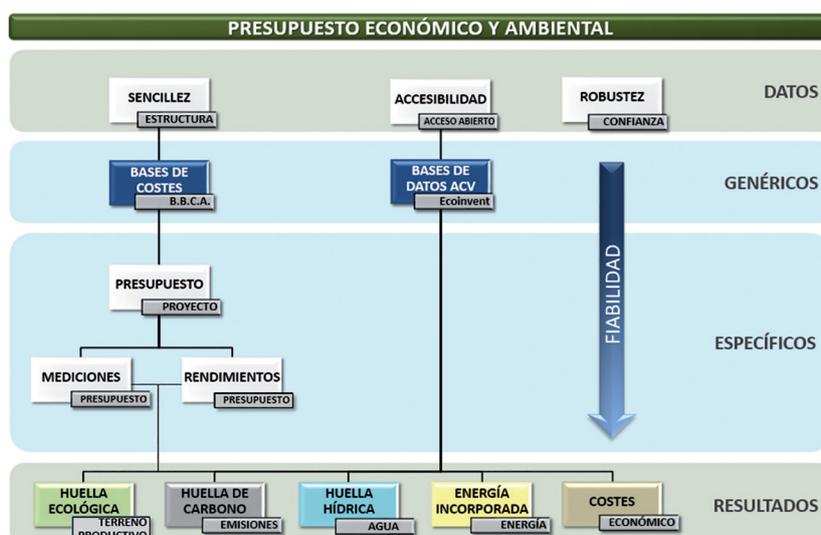


Figura 3: Metodología de creación de la base de datos económica y ambiental en formato de intercambio. Fuente: [1].

METODOLOGÍA

La metodología está fundamentada en las mediciones del proyecto de edificación [4,5], a cuyas partidas se les aplicarán coeficientes medioambientales correspondientes a los indicadores citados, y se evalúan económicamente a partir de la Base de Costes de la Construcción de Andalucía (BCCA) [6]. Con esta idea de presupuesto ambiental (donde se evalúan no solo los materiales, sino también la mano de obra y la maquinaria) se quiere promover la buena gestión y estudio desde la fase de diseño, para optar por soluciones que reduzcan el impacto ambiental del ciclo de vida del edificio y en consecuencia de las urbanizaciones.

El modelo tiene una estructura presupuestaria (Figura 4), donde a cada recurso se le asignan impactos a nivel de precios básicos, y empleando la jerarquía del BCCA se calculan los impactos de los precios unitarios y capítulos del presupuesto. Las tareas se resumen en:

1. La clasificación sistemática del BCCA como estructura para el inventario de todos los elementos que forman parte de las viviendas sociales a lo largo de su ciclo de vida.
2. Análisis de indicadores medioambientales a emplear (HE, HC, HH y RCD generados...) de los modelos previos desarrollados por el grupo y los precios básicos ya evaluados.
3. Definir los precios unitarios en cada etapa del ciclo de vida de la vivienda social y su respectivo banco de precios específico para las renovaciones y rehabilitación o demolición del edificio que se puedan enlazar a los elementos del presupuesto de la etapa de construcción.
4. Cálculo de los impactos para cada partida interviniente en el CVE.
5. Exportación de la base económica y medioambiental en formato de intercambio (.bc3).
6. Diseñar el modelo global de cálculo, que se puede actualizar temporalmente y adaptar geográficamente, y que mide el impacto del presupuesto de seguridad y salud dentro de los proyectos, además de indicadores económicos y ambientales permitiendo establecer objetivos y referencias (benchmarking).
7. Validación del modelo mediante aplicación a casos prácticos. En la presente publicación, se presenta un caso de estudio a modo de ejemplo de los resultados obtenidos.



Figura 4: Estructura piramidal del BCCA, base de la metodología para la aplicación de los indicadores ambientales a los presupuestos. Fuente: [1].

CASO DE ESTUDIO

Se presentan los resultados de la evaluación de un proyecto real de vivienda unifamiliar aislada de una planta, con estructura de hormigón armado y cimentación por zapatas aisladas, La superficie construida total del proyecto es de 6.833,17 m² y una superficie urbanizada de 115.370 m². El número de personas que habita por vivienda es fijado por el CTE, (2006) [7], fijándose 3 para las viviendas unifamiliares. El CVE aplicado se ha diseñado a partir de los límites establecidos según UNE-EN 15978 [8] y la metodología desarrollada en [6].

BCCA		Fases del ciclo de vida del edificio					
Capítulos de la clasificación Sistemática	Qi: cantidad de recurso por unidad y superficie (ref. unidad/m ²)	Urbanización	Construcción	Renovación 20	Renovación 40	Renovación 70	Demolición
01. Demoliciones	m ³ Demolición						Demolición del edificio
02. Mov. Tierras	02E m ³ Excavaciones	Movimientos de Tierras					
	02T m ³ Transporte de tierras						
03. Cimentaciones	03A kg Armaduras						
	03HA m ³ Hormigón armado						
04. Saneamiento	03HM m ³ Hormigón en masa						
	04EA u Arquetas						Sustitución del saneamiento e instalaciones
05. Estructuras	04C m Colectores						
	04B m Bajantes						
06. Albañilería	05AA kg Armaduras						Reparación de daños en la estructura
	05F m ² Forjado						
07. Cubiertas	05HA m ³ Hormigón armado						
	06DT m ² Particiones interiores						
08. Instalaciones	06L m ² Muros de ladrillo				Renovación energética de fachada		Reparación de fisuras y grietas
	06L m ² Muros de fachada						
09. Aislamientos	07H m ² Cubiertas Horizontales		Construcción del edificio		Renovación energética de cubierta		Renovación energética de cubierta
	07I m ² Tejados inclinados						
10. Revestimientos	08EC m Circuitos eléctricos						
	08CA u Aire acondicionado				Renovación de instalaciones de climatización y ACS		Renovación de todas las instalaciones
11. Carpinterías	08FFC m Canalizaciones cobre						
	08FT u Termo ACS						
12. Vidrios	08MA u Ascensores						
	09A m ² Aislam. Acústico						
13. Pinturas	09T m ² Aislam. Térmico						
	10AA m ² Alicatado						Renovación de revestimientos
14. Urbanización	10S m ² Suelo						
	11CA m ² Carpintería						
15. Gestión de residuos	11CL m ² Carpintería ligera						
	11M m ² Carpint. de madera						Renovación energética de ventanas (marcos y vidrios)
16. Gestión de residuos	12AC m ² Vidrios compuestos						
	12AS m ² Vidrios simples						
17. Gestión de residuos	13PE m ² Pinturas Exterior						
	13PI m ² Pinturas Interior						
18. Gestión de residuos	15CR u Señalizaciones	Carreteras, alcantarillados, servicios públicos...					
	15AS u Sumideros						
19. Gestión de residuos	15EP u Iluminación						
	17G m ³ RCD	Gestión RCD	Gestión RCD	Gestión RCD	Gestión RCD	Gestión RCD	Gestión RCD

Figura 5: Capítulos del banco de costes económico y ambiental (BCCA, 2021) considerados en cada fase del CVE diseñado [5].

El proyecto seleccionado, inicia su etapa de urbanización y construcción en los años 2008-2009, estableciéndose el inicio de la etapa de uso en 2010. Llegado el año 100 de la vida del edificio, y considerando que el edificio no cumple con las condiciones de habitabilidad, se procede a ejecutar el proyecto de demolición del edificio. Las obras de construcción realizadas en cada etapa del ciclo de vida están representadas en la Figura 5:

- Urbanización: obras de carreteras, alcantarillado e instalaciones, servicios públicos, etc.
- Construcción: La construcción del edificio.
- Renovación 20: Renovación de las instalaciones de climatización y generación de ACS.
- Renovación 40: Reequipamiento energético de la cubierta y de las fachadas (incluidas las ventanas), incluido sus aislamientos. Renovación de las instalaciones de climatización, ACS. Núcleos húmedos, suelos, puertas. Renovación de ascensores.
- Renovación 70: Reparaciones estructurales, fisuras y grietas. Reemplazo de todas las instalaciones: electricidad, agua y saneamiento.
- Demolición: Demolición completa del edificio.

Siguiendo la estructura de los capítulos definidas en la BCCA, se pueden seleccionar los precios de cada partida de obra la herramienta desarrollada para obtener el presupuesto en su CVE (Figura 6).

CAPÍTULOS

CAPÍTULO 04 - SANEAMIENTO

Código	Unidad	Concepto	Cantidad	Coste (€)	HC (kg)	HE (hag)	HH (m³)	RCD (kg)
04B00004	m	COLECTOR EN HORM. MONO. DIÁM. 300 mm CON REJILLA EN TRINCHAS	100	5.405,00	5,81e+0	2,80e+0	2,62e+1	2,23e+2
04B00011	m	CAJOLETA BARRICA DE PVC CON REJILLA DE PVC	100	2.302,00	6,33e-1	2,30e-1	6,00e+1	6,00e+0
04B00100	m	BUNDEO SIFÓNICO HIERRO FUND. SAL. HORIZ. DE 140. 140 mm	200	2.445,00	6,28e-2	5,30e-2	1,33e+0	2,40e-1
04B00000	m	SUSTITUCIÓN DE COLECTOR ENTERRADO DE HORMIGÓN.	100	13.028,31	2,20e+0	1,22e+0	6,32e+2	5,34e+2
Total Capítulo 04 - SANEAMIENTO				16.180,31 €	8,60e+0 kg	4,43e+0 hag	1,11e+3 m³	1,80e+3 kg

CAPÍTULO 05 - ESTRUCTURAS

Código	Unidad	Concepto	Cantidad	Coste (€)	HC (kg)	HE (hag)	HH (m³)	RCD (kg)
05A00001	kg	ACERO PERFILES LAMIN EN CAL EN VIGAS UNIÓN ATORNILLADA	200	264,00	4,22e-1	1,90e-1	1,20e+1	1,50e-2
05B00001	m²	ENCORIMADO PASTALCO EN PLANCHAS PARA REVESTIR	1.000	1.961,00	4,30e-1	2,20e-1	1,20e+1	3,40e+0
Total Capítulo 05 - ESTRUCTURAS				2.225,00 €	8,52e-1 kg	4,09e-1 hag	2,40e+1 m³	1,46e+1 kg

TOTAL PRESUPUESTO ECONÓMICO Y AMBIENTAL

26.405,31 € 8,80e+0 kg 4,82e+0 hag 1,13e+3 m³ 2,80e+3 kg

Figura 6: Interface de la herramienta donde se aprecian los capítulos del (BCCA, 2021) junto con los costes económico y ambiental de cada recurso.

RESULTADOS

Se presentan los resultados de la evaluación del proyecto caso de estudio, donde se han identificado los focos de impacto tanto por fases del CVE como por los diferentes recursos consumidos Ver figuras 7 y 8.

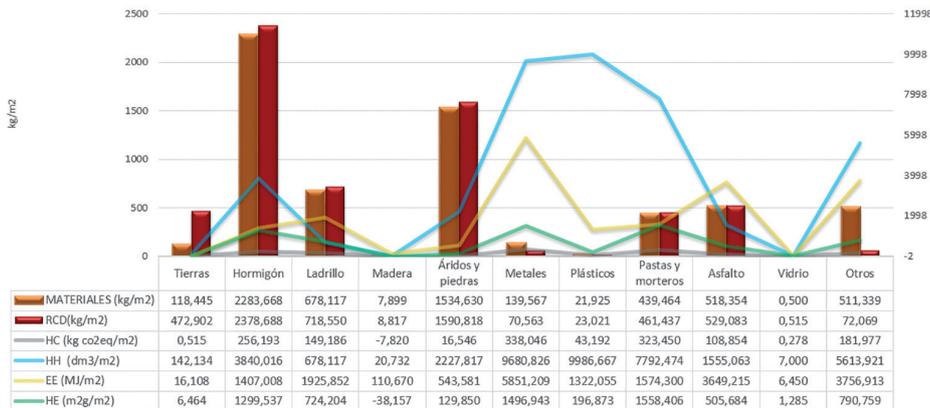


Figura 7: Análisis de los consumos indirectos por familias (materiales y RCD) totales del CVE y sus impactos asociados.

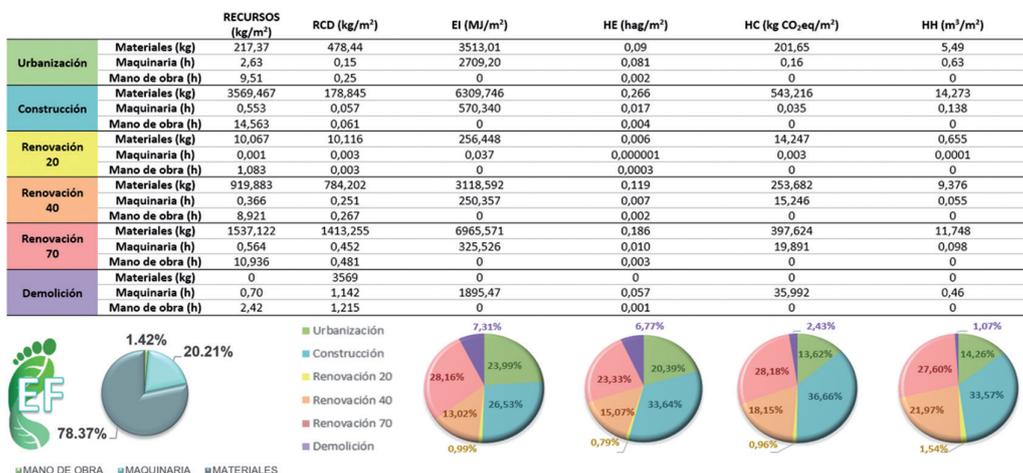


Figura 8: Resultados por fases del CVE del proyecto y análisis de la HE de los tipos de recursos consumidos.

CONCLUSIONES

- La metodología establecida, robusta y sencilla, así como la herramienta desarrollada, permite una fácil evaluación del impacto ambiental de la construcción de edificios residenciales en su CVE a través de sus presupuestos desde la fase de diseño, lo que se traduce en un apoyo al diseño y a la toma de decisiones.
- Gracias a la estructura presupuestaria, se consigue focalizar que no siempre el material más consumido es también el más impactante. Ese es el caso de piedras y agregados en términos de HC. Además, los materiales de bajo consumo, como la familia de los plásticos, tienen una alta HH. Los materiales de mayor impacto en los indicadores HC y HH son el cemento y el hormigón, como se esperaba.
- El indicador HE revela como los materiales son los recursos más consumidos y los de mayor impacto en los resultados. Sin embargo, se aprecia como la maquinaria genera mucho más impacto ambiental que la mano de obra aun siendo la mano de obra el segundo recurso más consumido.
- Debido a la exportación de las bases de datos a formato de intercambio BC3., también se puede implantar en el trabajo en BIM, facilitando el trabajo interdisciplinar entre los técnicos y profesionales del sector.

REFERENCIAS

- [1] Rivero-Camacho, Cristina, *Estudio de Huellas en el Ciclo de Vida del Edificio Residencial*, Universidad de Sevilla, 2020.
- [2] Sharma A., Saxena A., Sethi M., Shree V., Varun, 2011. *Life cycle assessment of buildings: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15:871-875.
- [3] Buyle M., Braet J., Audenaert A., 2013. *Life cycle assessment in the construction sector: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews* 26:379-388.
- [4] Freire Guerrero, Antonio, Alba Rodríguez, M^a Desirée, Marrero Meléndez, Madelyn: A budget for the ecological footprint of buildings is possible: a case study using the dwelling construction cost database of Andalusia. En: *Sustainable Cities and Society*. 2019. Vol. 51. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101737>
- [5] Rivero-Camacho, Cristina, Martín-Del-Río, Juan Jesús, Solís-Guzmán, Jaime, Marrero, Madelyn. (2021) Ecological Footprint of the life cycle of buildings. Pag. 1-39. En: *Assessment of Ecological Footprints. Singapur. Springer*. 2021. ISBN 978-981-16-0095-1
- [6] BCCA, 2021. Consejería de Fomento y Vivienda / Vivienda y Rehabilitación / Base de Costes de La Construcción de Andalucía (BCCA).
- [7] Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. Texto refundido con modificaciones del RD 1371/2007, de 19 de octubre, y corrección de errores del BOE de 25 de enero de 2008. España. Revisión vigente desde 13 de septiembre de 2013. Boletín Oficial del Estado, 28 de marzo de 2006, núm. 74, pp.11816-11831
- [8] UNE-EN 15978. (2012). *Sustainability of Construction Works. Assessment of Environmental Performance of Buildings. Calculation Method*.

AGRADECIMIENTOS Y FINANCIACIÓN

Se hace constar que la presente publicación ha sido fruto de las investigaciones desarrolladas en el proyecto de investigación (US.20-10): *Modelo holístico para la evaluación de la sostenibilidad del ciclo de vida de las viviendas sociales en Andalucía*, subvencionado por la Junta de Andalucía, a través de la Consejería de Fomento, Infraestructuras y Ordenación del Territorio, dentro de la convocatoria para 2020 de subvenciones para el desarrollo de proyectos de investigación en las materias de vivienda, rehabilitación y arquitectura, a la Universidad de Sevilla. ■

Cristina Rivero Camacho

Intervinientes: C. Rivero-Camacho^{1,2,3}, A. Martínez-Rocamora^{1,2,3},
M.D. Alba-Rodríguez^{1,2,3}, M. Marrero^{1,2,3}
Dpto. Construcciones Arquitectónicas II¹; Universidad de Sevilla²;
ETS. Ingeniería de Edificación³