



INTELLECTUAL OUTPUT 1

O1-A2

Métodos y procedimientos de construcción sostenible utilizados para en concepto de Economía Circular



El presente proyecto ha sido financiado con el apoyo de la Comisión Europea. Esta publicación es responsabilidad exclusiva de su autor. La Comisión no es responsable del uso que pueda hacerse de la información aquí difundida.



Esta obra está autorizada bajo una licencia [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/).





INTRODUCCIÓN

Este informe está incluido en la tarea "O1-A2. *Métodos y procedimientos de construcción sostenible utilizados en concepto de Economía Circular*", correspondiente al Resultado Intelectual 1 "*Establecimiento de resultados de aprendizaje comunes sobre métodos de colocación basados en criterios de Economía Circular, Análisis del Ciclo de Vida (ACV) y normativa relativa*" del proyecto CircularBIM.

Este informe es el resultado de un análisis de los métodos, habilidades y competencias relacionadas con los productos de construcción. Se han evaluado diferentes métodos de instalación y construcción aplicados en la industria de la construcción con el fin de prolongar la vida útil de estos productos mediante el uso de los métodos de instalación más sostenibles seleccionados.

Se ha elaborado un informe de buenas prácticas con el objetivo de transferir metodologías y estrategias pedagógicas de éxito para mejorar el sistema de formación.

Se han tenido en cuenta los métodos medioambientales y la última investigación, como la erosión/revelación dentro de los productos de construcción fabricados para su aplicación en proyectos nZEB (Net-Zero Energy Building) o el uso de nuevas tecnologías.

Toda la información sobre el proyecto y más documentación técnica está disponible en la siguiente url:

- Web del proyecto CircularBIM: www.circularbim.eu



CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	4
2. METODOLOGÍA	7
2.1 Aplicación de la metodología Arditec.....	8
2.1.1 Estructura de costes.....	8
2.1.2 Modelo de cálculo ambiental	9
2.2. Soluciones constructivas	14
3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	18
4. CONCLUSIONES	21
5. REFERENCIAS	23



1. INTRODUCCIÓN

Con el creciente problema del calentamiento global, es necesario estudiar la eficiencia de los recursos, que en el sector de la construcción empieza por actuar sobre la reducción de los residuos de construcción y demolición, para reducirlos al máximo. Para ello es necesario anticiparse al momento en el que se diseñan los proyectos, donde el uso de las nuevas tecnologías ayudará a la implantación de criterios de optimización de recursos basados en el concepto de economía circular

Aunque no existe un sistema exclusivo de indicadores para evaluar la circularidad en el sector de la construcción, el párrafo anterior ya indica que la solución pasa por mejorar la eficiencia de los recursos, la reducción y la correcta gestión de los residuos de construcción y demolición (RCD) es la clave para lograr este objetivo. En la actualidad, sólo el 40,9% de los RCD declarados se valorizan de alguna manera, cuando el objetivo fijado a nivel de la UE para 2020 era del 70%. En este sentido, se estima que el 24% de los RCD se deposita en vertederos y el 30% sigue representando un vertido incontrolado (Asociación_Española_de_Reciclaje, 2017). Estos datos muestran el escenario en el que nos encontramos y sobre el que hay que actuar para conseguir el desarrollo del sector de la construcción dentro de la economía circular.

El incesante aumento de la conciencia y cultura ambiental de la sociedad, junto con el incremento de las exigencias normativas, hacen que sea el momento idóneo para implementar el cálculo de la huella de carbono (FC) así como de la energía embebida (EE) en el sector de la construcción, ya que en términos estadísticos, este sector es responsable de aproximadamente el 50% del consumo de recursos naturales utilizados, el 40% de la energía consumida (incluyendo la energía en uso), el 50% del total de los residuos generados y entre el 35-40% del total de las emisiones de CO₂eq, de las cuales el 10% se producen durante los procesos de construcción y deconstrucción y otro 5% en las tareas de mantenimiento (UNEP, 2018).

La nueva directiva europea sobre la eficiencia energética de los edificios, endurece sus objetivos en pos de la eliminación del uso de energía fósil en el parque de viviendas para el año 2050 (Camporealle y Mercader-Moyano, 2019). Para ello, establece como imprescindible la renovación energética del parque de edificios existente, con una tasa de renovación media anual del 3% a cubrir. Entre las ecuaciones que propone la directiva, se encuentran algunas propuestas innovadoras hacia la digitalización de los sistemas energéticos como oportunidad de ahorro de energía durante su uso (Directiva_2018/844/UE, 2018) entre otras acciones como la propuesta ecoeficiente en la rehabilitación para la Vivienda Social.

Los últimos datos de la Comisión Europea sobre la economía circular afirman que evitar la producción de residuos, promover el ecodiseño así como la reutilización de los mismos proporcionará a las empresas de la UE un ahorro de alrededor del 8% de la



facturación anual y una reducción anual de las emisiones de gases de efecto invernadero de entre el 2 y el 4% (COMISIÓN EUROPEA, 2019).

En este sentido, el ACV (Análisis del Ciclo de Vida) evalúa las cargas ambientales a lo largo del ciclo de vida de un producto, servicio u obra. La Organización Internacional de Normalización (ISO) creó el subcomité SC 5 con el propósito de desarrollar normas internacionales que regulen la metodología de cálculo de indicadores ambientales universales. El estudio del ciclo completo incluye las etapas de extracción y procesamiento de materias primas, producción, transporte y distribución, uso, reutilización y mantenimiento, reciclaje y eliminación final.

Los estudios de ACV cumplen con las siguientes normas UNE-ISO 14040 Gestión Ambiental. Análisis del ciclo de vida. Principios y marco de referencia (ISO_14040:, 2006) y UNE-ISO 14044 Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Requisitos y directrices (ISO_14044:, 2006). A través de esta estandarización del cálculo del ACV y teniendo en cuenta el auge actual de la tecnología BIM (Building Information Modeling), que permite centralizar toda la información del proyecto en un modelo de información digital, se convierte en la herramienta ideal para implementar el análisis de ciclo de vida desde la fase de diseño y así sentar las bases de un modelo que permita arraigar los ideales de la economía circular en el sector de la construcción.

El objetivo principal de este trabajo es aumentar la concienciación de los agentes responsables del sector de la Arquitectura, Ingeniería y Construcción sobre el impacto ambiental directo e indirecto que produce su desarrollo profesional, buscando la forma de mejorar las competencias y la formación de los profesionales del sector en el ámbito de la construcción sostenible. Para ello, es imprescindible comenzar a incorporar en la formación de estos profesionales no sólo criterios basados en los ideales de la economía circular, sino dotarles de herramientas que les permitan incorporar estos ideales de forma rápida e intuitiva en el desarrollo diario de su actividad profesional. En este sentido, se desarrolla el presente estudio, donde se realizan los primeros avances para la creación de una herramienta de aprendizaje interactiva a través de BIM, con la que se puede diseñar y calcular un proyecto de construcción, bajo criterios de economía circular.

Para la inclusión del Análisis del Ciclo de Vida en BIM, partimos de la metodología de cuantificación del impacto ambiental desarrollada por el grupo de investigación Arditec, al que pertenecen los autores de este trabajo. Esta metodología de cálculo del impacto ambiental basada en el indicador de la Huella Ecológica (FE) (Solís-Guzmán, Martínez-Rocamora y Marrero, 2014), forma parte del presupuesto de los proyectos y ha sido adaptada para medir el ciclo de vida completo del edificio: urbanización (Marrero et al, 2017), uso y mantenimiento (Martínez-Rocamora, Solís-Guzmán y Marrero, 2016, 2017), y rehabilitación o demolición (Alba-Rodríguez et al., 2017). También estudian otros indicadores como la energía incorporada (EE) (Freire Guerrero y Marrero, 2015),



la huella de carbono (FC) (Solís-Guzmán, Martínez-Rocamora y Marrero, 2014; Freire Guerrero, Marrero Meléndez y Muñoz Martín, 2016; Solís-Guzmán et al, 2018a) y la huella hídrica (HH) (Ruiz-Pérez, Alba Rodríguez y Marrero, 2017; Ruiz-Pérez, Alba-Rodríguez y Marrero, 2019), ya que son los indicadores más interesantes en el sector de la edificación gracias a la sencillez de su mensaje y a que parten de la cuantificación de recursos realizada para el control económico de los proyectos.

La metodología se basa en un tratamiento de datos sencillo y accesible, ya que los datos proceden de bases de datos o fuentes de información de libre acceso y pueden ser consultados por cualquier persona, en cualquier parte del mundo, como son las bases de datos genéricas de ACV (Martínez-Rocamora et al., 2016). La robustez de la metodología se debe a que se basa en herramientas de gestión ampliamente contrastadas como los Sistemas de Clasificación de la Información de la Construcción (CICS).

En una revisión realizada por Freire (Freire Guerrero y Marrero, 2015), destacan, entre otras, las siguientes: MasterFormat (CSI/CSC, 1983), Unifomat (UniFormatTM. The Construction Specifications Institute, 1998), Método Estándar de Medición de Ingeniería Civil (Telford, 1991), CI/SfB (Jones, 1987) y la Uniclass (Omniclass, 2012). Todas estas bases se proponen como una herramienta ideal para la realización de la cuantificación económica o presupuestaria y como un elemento integrador ya que su sistema de descomposición y jerarquización posibilita introducir un proceso estandarizado.

El concepto básico en todas ellas es el de dividir un problema complejo en partes más sencillas que luego pueden sumarse, sin solapamientos ni repeticiones, para definir el desarrollo completo de los proyectos. En España, las bases de costes de construcción (BCC) tienen su propio CICS y su ámbito de aplicación suele ser el entorno geográfico: Instituto Tecnológico de la Construcción de Cataluña (ITeC, 2012), PRECIOCENTRO de Guadalajara (Colegio Oficial de Aparejadores, 2012), BPCM Madrid (Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, 2007), BDEU en el País Vasco (Departamento de Vivienda, 2012), BDC-IVE en Valencia (Consejería de Infraestructuras, Territorio y Medio Ambiente, 2012), y la Base de Datos de Costes de Construcción de Andalucía (ACCD) (Marrero y Ramírez-De-Arellano, 2010). Esta última es la que se ha utilizado en el desarrollo del modelo; porque pertenece al ámbito geográfico en el que se ha desarrollado el modelo Arditec y presenta una clasificación sistemática robusta, de aplicación sencilla y esquemática, que permite una estimación y cuantificación de los recursos básicos, a los que se pueden aplicar los diferentes indicadores ambientales para obtener el impacto ambiental de las diferentes soluciones constructivas.

Los indicadores ambientales basados en el ACV son reconocidos por la comunidad científica, y pueden ser fácilmente entendidos por la sociedad (Freire-Guerrero, Alba-Rodríguez y Marrero, 2019). En el presente trabajo se ha utilizado el indicador Huella



de Carbono (FC), es un indicador cuyo uso está muy extendido, por lo que existe una gran cantidad de revisiones bibliográficas relacionadas con el uso del indicador FC en la construcción (Geng et al., 2017). A través de la descomposición en recursos básicos (materiales y maquinaria) que proporciona la clasificación sistemática de la ACCD de las diferentes soluciones constructivas, se aplica el modelo ARDITEC (Marrero, Rivero-Camacho y M Desirée Alba-Rodríguez, 2020), que traduce esta cantidad en términos del impacto producido por los recursos durante su ciclo de vida, expresado a través del indicador CF. El objetivo principal es poder predecir el impacto que generará un proyecto en la fase de diseño, cuantificando las cantidades del proyecto, identificando los materiales que generan mayor impacto a lo largo de su ciclo de vida y sustituyéndolos por otros que reduzcan su impacto. Los instrumentos existentes para el control de costes de los proyectos pueden utilizarse como herramienta para introducir consideraciones de sostenibilidad.

La sostenibilidad de las obras de construcción, así como el comportamiento ambiental y el método de cálculo, definen el ciclo de vida del edificio según la norma UNE-EN 15978 (UNE-EN_15978, 2012). Los límites del sistema en los que se centra este estudio son la fase de fabricación de los materiales de construcción y los residuos que producen al final de su ciclo de vida.

2. METODOLOGÍA

El desarrollo metodológico se divide en dos partes: la aplicación de la metodología Arditec, que partiendo del desglose realizado por la clasificación sistemática del presupuesto, permite cuantificar los impactos ambientales de los recursos básicos; y la implementación de esta información ambiental en el software BIM abierto, generando así una herramienta de cuantificación de la reducción del impacto ambiental, para poder comparar los impactos ambientales de las nuevas soluciones con las soluciones constructivas tradicionales.

En primer lugar, se desarrollan soluciones constructivas basadas en criterios de economía circular, respetando los requisitos técnicos y normativos exigidos, para posteriormente evaluar la viabilidad ambiental de las soluciones a través de la metodología de ACV. A partir de aquí, se crean los objetos BIM de las soluciones constructivas desarrolladas. Estos objetos BIM estarán compuestos por las familias de materiales que definen los sistemas constructivos desarrollados, a los que se les asigna el impacto ambiental calculado por la metodología Arditec y posteriormente se integran en el software BIM abierto a través de plug-in (Fig. 1).

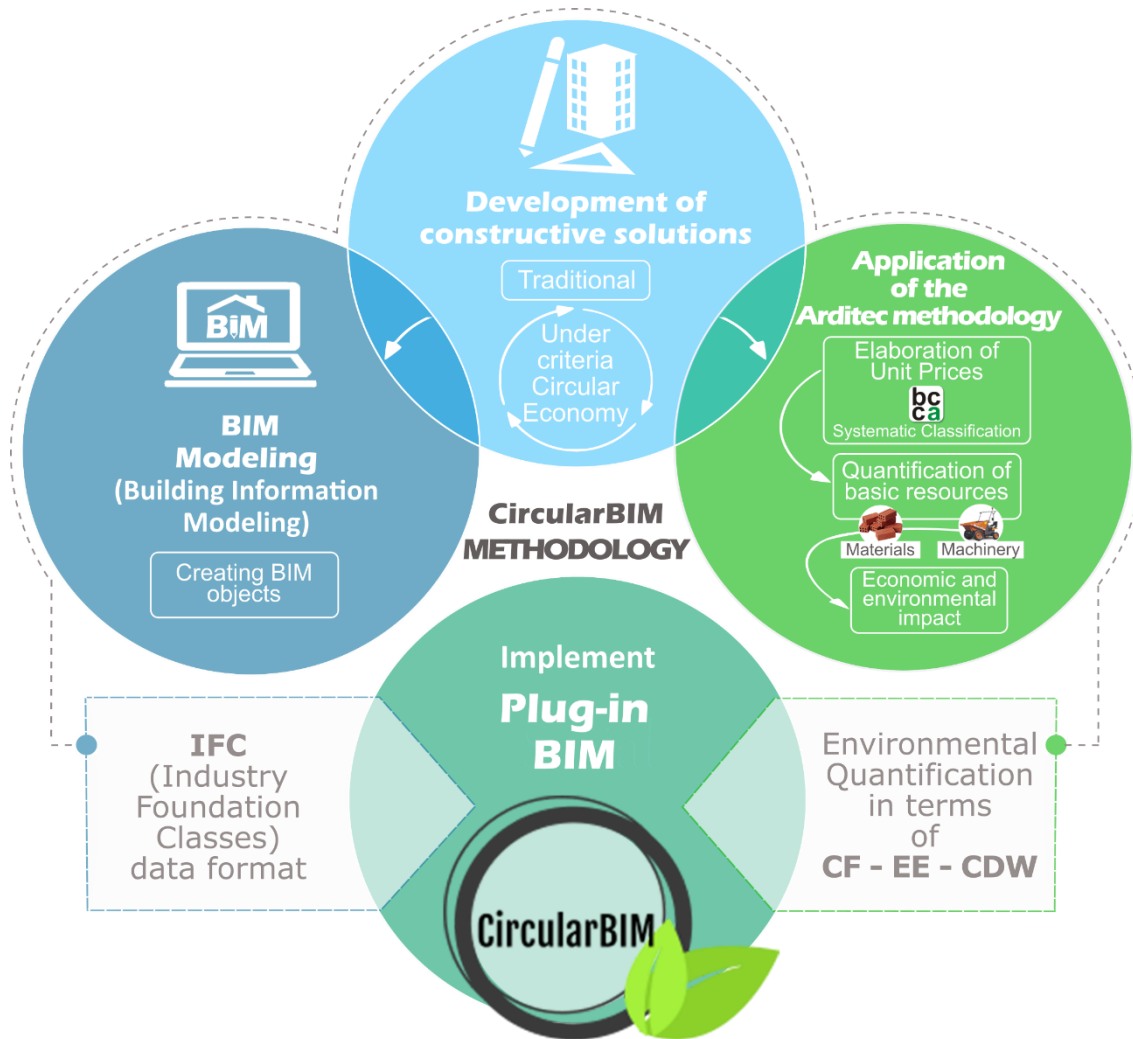


Fig. 1 Flujograma metodológico. Fuente: USE.

2.1 Aplicación de la metodología Arditec

2.1.1 Estructura de costes

La automatización de datos y procesos son avances en las Tecnologías de la Información (TI) que proporcionan grandes ventajas en el análisis predictivo. Como se ha mencionado en la introducción de este trabajo, en el sector predominan los sistemas de clasificación de la información de la construcción (SIC) como herramientas de gestión, concretamente en este estudio se utiliza el ACCD (ACCD, 2017). Su Sistema de Clasificación de Información Sistemática (Ramírez-de-Arellano-Agudo, 2010), se basa en una estructura jerárquica y arborescente con niveles definidos, donde cada grupo se divide en subgrupos de características homogéneas. Esta organización del trabajo facilita la división de un sistema complejo como el presupuesto de obra en



elementos más simples, es decir, materiales, maquinaria y mano de obra (Freire-Guerrero, Alba-Rodríguez and Marrero, 2019).

Los precios se expresan en términos de una determinada unidad de medida; pero también hay que establecer criterios para que, dentro del proyecto de edificación en cuestión, se pueda cuantificar el número de unidades que están sujetas a ese precio. Para ello, se establecen criterios que faciliten dicha medición mediante una compensación adecuada y ajustada a los usos y costumbres de ejecución de dichas unidades (Alba-Rodríguez, 2016). El conjunto precio-unidad de obra se refuerza estableciendo un único significado para cada dúo de forma rígida entre los criterios de medición establecidos para una determinada unidad de obra y su correspondiente precio; se entiende que si se modifican los criterios, debe cambiarse a su vez el precio, debiendo utilizarse criterios de medición comunes para precios similares.

Los conceptos descritos anteriormente constituyen lo que se denomina epígrafe del precio, todos los precios tienen un y éste es diferente para cada elemento del sistema. Estos elementos se muestran en los precios de las fachadas ventiladas en las tablas 3 y 4 del apartado de soluciones constructivas. Todas las características anteriores facilitan la incorporación del coste medioambiental en base a las mismas hipótesis y contornos definidos en el cálculo del coste económico.

2.1.2 Modelo de cálculo ambiental

El modelo de cálculo ambiental desarrollado por el grupo Arditec para evaluar todas las etapas del ciclo de vida del edificio, permite evaluar diferentes indicadores ambientales (Freire-Guerrero, Alba-Rodríguez y Marrero, 2019), (Marrero, Rivero-Camacho y M Desirée Alba-Rodríguez, 2020). En la presente propuesta, partiendo del presupuesto del proyecto, se evalúa el impacto ambiental de los materiales, lo que permite identificar las familias de materiales que controlan el presupuesto.

Para ello, se cuantifican los residuos; así como los indicadores de FC y EE utilizando las bases de datos internacionales de ACV de productos de construcción y las Declaraciones Ambientales de Producto (DAP) disponibles en ECO-Platform (www.eco-platform.org/), una plataforma europea de programas de DAP en el sector de la construcción que se establece con el objetivo de una implementación de la norma EN 15804 (ISO_15804:2012+A1:2013, 2012) con reconocimiento mutuo entre los miembros.

Se realiza un análisis general de los diferentes conceptos que conforman un indicador ambiental, en el que se trata como coste ambiental el consumo de recursos naturales en la obra.

En primer lugar, se han definido los costes directos, que en los presupuestos tradicionales de la construcción se corresponden con la maquinaria, la mano de obra y



los materiales y que, de forma similar, provocan el uso directo de recursos en la obra a través del gasto de energía de la maquinaria utilizada en la obra (combustible o electricidad) y el consumo de materiales de construcción (durante su fabricación, transporte e instalación), así como la generación de residuos asociados a este consumo de materiales.

Cuantificación de residuos:

Una vez identificados los elementos que componen la solución constructiva, el siguiente paso es cuantificar los residuos esperados de los mismos. Los elementos generadores de residuos se identifican mediante una clasificación normalizada y se cuantifican mediante coeficientes de transformación (Solís-Guzmán et al., 2009), por aplicación de la ecuación (1):

$$QR_i = Q_i \cdot CR_i \cdot CC_i \cdot CT_i \quad (1)$$

donde: QR_i es la cantidad de residuos "i" generados por el material, Q_i ; CR_i determina la cantidad de material que se convierte en residuo; CC_i cambia las unidades de componentes de la construcción en unidades de residuos; CT_i es para el cambio de volumen del material cuando se convierte en residuo. El sistema de unidades es el utilizado en el sector de la construcción para cada familia de materiales de construcción, kg, m³, m², o unidad (u). Los coeficientes se calculan sobre la base del ACCD (ACCD, 2017) (véanse ejemplos de coeficientes Tabla 1).

Tabla 1 Ejemplos de coeficientes de transformación (Marrero, Rivero-Camacho and M. Desirée Alba-Rodríguez, 2020)

Material	Origin	Destination	Cr	Cc	Ct
kg Steel	losses	t Steel	0.0	0.00	1.0
m ² Ceramic brick	losses	m ³ Ceramic	0.0	0.01	1.3
t Cement	losses	t Cement	0.0	1.00	1.0
m ³ Concrete	losses	m ³ Concrete	0.1	1.00	1.1

Análisis ambiental:

Maquinaria

Se trata del impacto de la utilización de la maquinaria, concretamente de su consumo energético directo (tanto de combustible como de energía eléctrica), relacionándolo con la potencia de su motor.

Para obtener el consumo de combustible se utiliza el "Manual de Maquinaria" elaborado por (SEOPAN, 2008), donde se recogen los datos técnicos de los diferentes modelos y tipologías de máquinas existentes en el mercado. Escogiendo los consumos más desfavorables, se analiza la maquinaria clasificada, donde se aplica un coeficiente a la



potencia de cada motor para obtener los litros de combustible consumidos, diferenciando si la máquina consume gasoil o gasolina.

Una vez obtenidos los litros de combustible consumidos, se aplica el coeficiente que indica la cantidad de CO₂ generada por un litro de combustible (IDAE, 2011). A estos datos se les aplican los obtenidos de las bases de datos internacionales de ACV y se obtienen sus CF y EE.

Para el consumo de la maquinaria eléctrica utilizada en la obra se sigue un criterio similar, analizando la potencia del motor y las horas de uso, obteniendo los kWh totales consumidos. A estos datos se les aplica el coeficiente que indica las emisiones de CO₂ generadas para la producción de un kWh de energía por el sistema eléctrico español (REE, 2014), es decir, las emisiones de GEI, medidas a través del potencial de calentamiento global (PCG) de los distintos gases emitidos a la atmósfera ponderando las toneladas de gases emitidas y transformándolas en t de CO₂ equivalente.

Materiales de construcción

El primer paso a realizar para obtener el impacto ambiental de cada material consiste en convertir la unidad de medida original de cada precio básico (m³, m², metros, toneladas, miles...) a m³, de forma que podamos aplicar la densidad establecida en los documentos soporte utilizados, el Catálogo de Soluciones Constructivas del Código Técnico de la Edificación (IETcc, 2010) y el Documento Básico de Seguridad Estructural del Código Técnico de la Edificación. Actuaciones en el Edificio DB-SE AE (RD_314, 2006), para obtener el peso de cada elemento.

Entre las diferentes bases de datos de ACV, se eligió la base de datos Ecoinvent (Frischknecht et al., 2005), implementada en Symapro y desarrollada por el Centro Suizo de Inventarios de Ciclo de Vida, debido a su transparencia en el desarrollo de los procesos (informes, flujogramas, metodología...), consistencia, referencias y destacando el hecho de que fusiona datos de varias bases de datos del sector de la construcción (Martínez-Rocamora et al., 2016).

A partir de esta base de datos se han obtenido una serie de "familias ambientales" que serán las encargadas de asignar a cada precio básico sus correspondientes unidades de impacto en función de su similitud.

A partir del inventario de ciclo de vida (ICV) de cada uno de los materiales, se han analizado las emisiones incorporadas a los materiales de construcción, mediante la aplicación de la metodología IPCC 100 A, que es la utilizada por el indicador de huella de carbono ya que aísla las emisiones de CO₂ y otros gases de efecto invernadero (GEI) del ICV expresadas en t CO₂ eq. /kg (Solís-Guzmán et al., 2018b).

La figura 2 resume la metodología que combina el presupuesto de la obra con el impacto ambiental.



O1-A2. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE UTILIZADOS EN CONCEPTO DE ECONOMÍA CIRCULAR

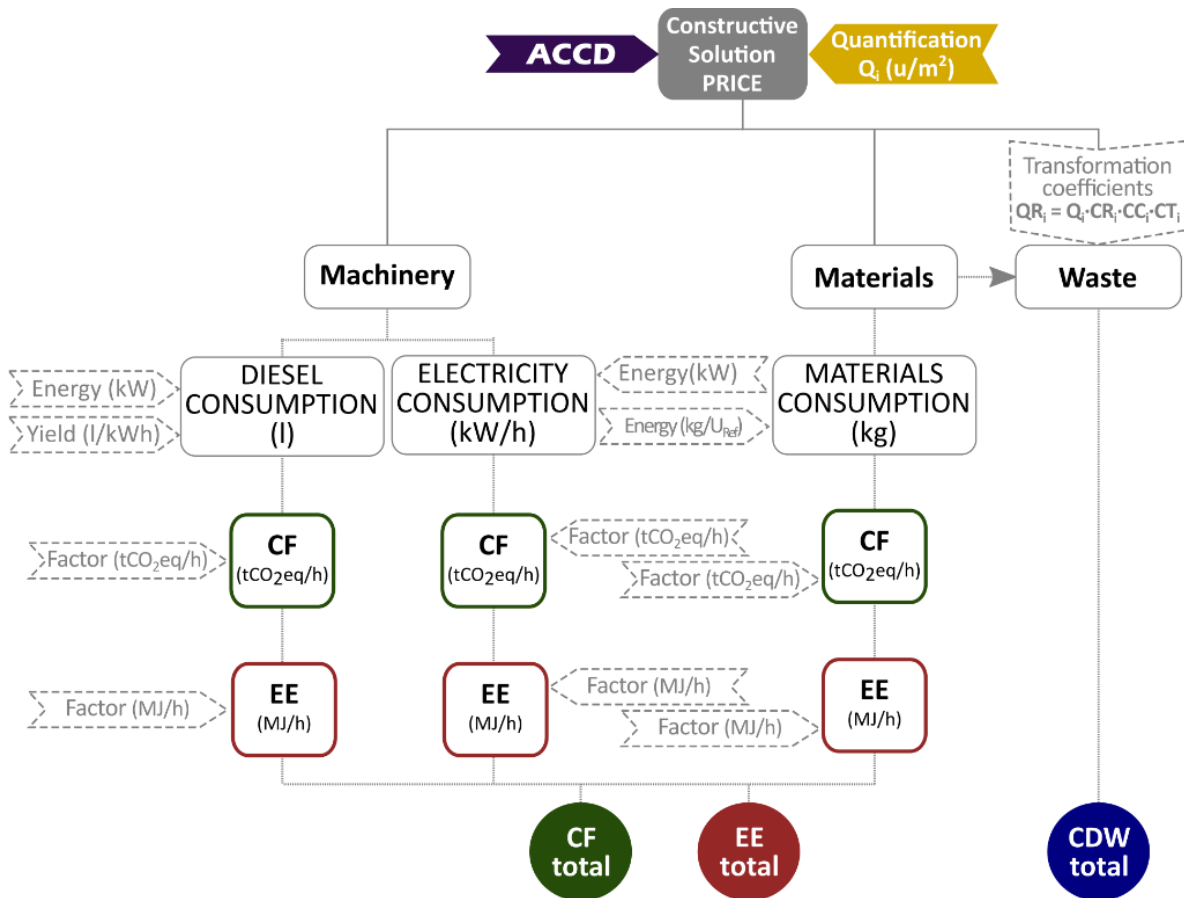


Fig. 2 Metodología de cálculo. Fuente: USE.

También se realiza un análisis del transporte del material, estableciendo aproximaciones de la distancia recorrida por el medio de transporte, al igual que en el apartado anterior de maquinaria (Freire-Guerrero, Alba-Rodríguez y Marrero, 2019). Lo primero a considerar es el medio de transporte a utilizar, en nuestro caso es en camión, cuya capacidad se define en toneladas y el consumo medio de gasoil, considerando también las emisiones de CO₂ por cada litro de combustible consumido.

El segundo aspecto a considerar es la distancia desde la fábrica de cada material hasta la obra; tomando las siguientes aproximaciones: como nuestro ámbito de trabajo corresponde a Andalucía, consideramos que la mayoría de los materiales se fabrican en esa zona, por lo que la distancia corresponde a la media, 250 km. En el caso concreto del hormigón, se considerará una distancia máxima de 20 km, según las consideraciones de la EHE-08 (EHE-08, 2008).

Con estos datos, podemos obtener las toneladas de CO₂ que supondría el transporte de cada material y/o residuo; esta cifra se reflejará en la capacidad del camión para obtener el valor según los kg de material transportado, y este dato se puede aplicar directamente al peso de cada precio básico (Tabla 2).



Tabla 2 Datos para calcular el impacto del transporte:

	Concrete	Other materials
Truck load capacity (kg)	24.0	2.0
Distance to factory (km)	20.0	250.0
Average diesel consumption (litros/100km)	26.0	26.0
Diesel emissions (tCO ₂ /litro)	2.6E-03	2.6E-03
Energy incorporated into diesel (MJ/litro)	57.7	57.7
Energy incorporated into electricity (MJ/kWh)	3.6	3.6

Implementación de datos medioambientales en BIM

Una vez desarrollado el modelo de cuantificación del impacto ambiental y dado que el objetivo final es automatizar los presupuestos ambientales a través de las herramientas BIM, el siguiente paso será incluir la información ambiental obtenida a través de BIM. Dado el carácter incipiente de la investigación, este apartado muestra una pincelada de cómo se va a abordar esta tarea en el futuro inmediato.

Para la inclusión de esta nueva información ambiental en BIM, es necesario crear esta información en lo que se denomina formato de datos IFC (Industry Foundation Classes), cuya particularidad es que permite el intercambio de datos de un modelo de información a otro sin generar pérdida o distorsión de datos. Es un formato abierto y neutral, no controlado por los productores de software, nacido para facilitar la interoperabilidad.

El IFC ha sido diseñado para producir toda la información sobre el edificio a lo largo de su ciclo de vida, desde el diseño preliminar hasta la ejecución y el mantenimiento, pasando por las diferentes fases de diseño y planificación. La mayoría de los recursos BIM disponibles en la actualidad se centran en la edificación y, dentro de ésta, en el sector residencial. Por ello, en la investigación que se está llevando a cabo y con el objetivo de aprovechar las ventajas que ofrece BIM, lo que se pretende es la ampliación de su aplicación en las diferentes fases del ciclo de vida del edificio, profundizando en los beneficios que puede aportar a la sostenibilidad, más concretamente, cómo incorporar los criterios de economía circular a través de BIM.

Gracias a los modelos IFC, es posible crear un modelo virtual del edificio que no es una simple representación en 3D, sino un modelo que contiene información geométrica, materiales, cuantificación de costes, elementos complejos como estructuras, instalaciones, características térmicas, e incluso información relacionada con las diferentes fases del ciclo de vida del edificio.



La asociación de esta información adicional se consigue porque la estructura del IFC se basa en la semántica, relaciones y propiedades de los objetos modelados, creados para describir los diferentes componentes de los edificios (pilares, vigas, muros, forjados, etc.) pudiendo añadir propiedades específicas a cada objeto; cuantificación de costes a través de presupuestos, cuantificación de materiales a través de mediciones, y lo que se pretende en esta investigación, cuantificación ambiental a través de la adhesión de la metodología Arditec basada en indicadores ambientales y ACV.

2.2. Soluciones constructivas

La metodología descrita se aplica a dos soluciones constructivas: una solución compuesta por materiales tradicionalmente utilizados en la construcción, y esta misma solución modificada con la incorporación de materiales sostenibles basados en criterios de economía circular. La fachada ventilada es la solución constructiva elegida como ejemplo de desarrollo para mostrar los avances del modelo propuesto. Las descripciones constructivas completas de las soluciones se encuentran en el epígrafe de precios de las tablas 3 y 4, en correspondencia con la imagen 1 y 2.

La tabla 3 describe y desglosa los materiales que componen la fachada ventilada considerada tradicional (S01), la tabla 4 muestra los materiales sostenibles (S02) propuestos para mejorar el impacto ambiental de la solución constructiva.

Tabla 3 Ejemplo de precio de una fachada ventilada tradicional (S01):

14FVL00001	m ²	VENTILATED FACADE WITH NATURAL STONE OUTER CLADDING
Main sheet of ventilated facade of perforated ceramic brick factory of 24x11,5x9 cm, received with M-5 industrial cement mortar. Thermal insulation consisting of mineral wool panel, according to UNE-EN 13162, 60 mm thick, thermal resistance 1. 75 m ² K/W, thermal conductivity 0. 034 W/(mK), placed between the uprights of the supporting structure, also p. p. of fastening, cutting and placement elements. Internal wall covering with 13 mm thick plaster plates for self-supporting plaster, placed on galvanised steel profiles with mechanical fixings, including staking out, cleaning, levelling, plumbing, making corners and repairing joints. Outer cladding made of machined Capri limestone plates, bush-hammered finish, 60x40x4 cm; installation using the continuous horizontal anchorage system on an adjustable aluminium alloy support substructure; substructure for supporting the external cladding using the horizontal anchorage system made of vertical extruded aluminium profiles with heat treatment; including screws and mechanical anchors in stainless steel, for fixing the substructure. Measure the executed surface.		



O1-A2. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE UTILIZADOS EN CONCEPTO DE ECONOMÍA CIRCULAR

Code	Quantity	u	Description	Price	Cost (€)	CF (tCO ₂ eq.)	EE (MJ/h)	CDW (t/m ³)
TO02100	2.72	h	OFFICIAL 1ST	19.85	53.99	---	---	---
TA00200	2.52	h	SPECIALIST ASSISTANT	19.04	47.98	---	---	---
TP00100	0.50	h	SPECIAL PEON	18.80	9.45	---	---	---
MW00300	0.26	h	LIFTING PLATFORM	7.50	1.94	0.0108	177.3	---
06LHM00005	1.00	m ²	BRICK MASONRY	29.64	29.64	0.0717	832.4	264.26
09TPP00161	1.00	m ²	MINERAL WOOL INSULATION	11.14	10.14	0.0183	282.3	12.386
QP01100	1.00	m ²	ALUMINUM PROFILE	19.06	19.06	0.0231	372.4	1.93
10LWW90201	1.00	m ²	SELF-SUPPORTING COATING. PLASTER	18.18	18.18	0.0860	1457.4	19.97
RA05300	1.00	m ²	LIMESTONE PANELS 3 cm	37.87	37.87	0.0003	1.5	28.55
WW00400	2.00	u	SMALL MATERIAL	0.30	0.60	0.0003	5.3	0.00
Total					229.85	0.2105	3128.7	327,09



O1-A2. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE UTILIZADOS EN CONCEPTO DE ECONOMÍA CIRCULAR

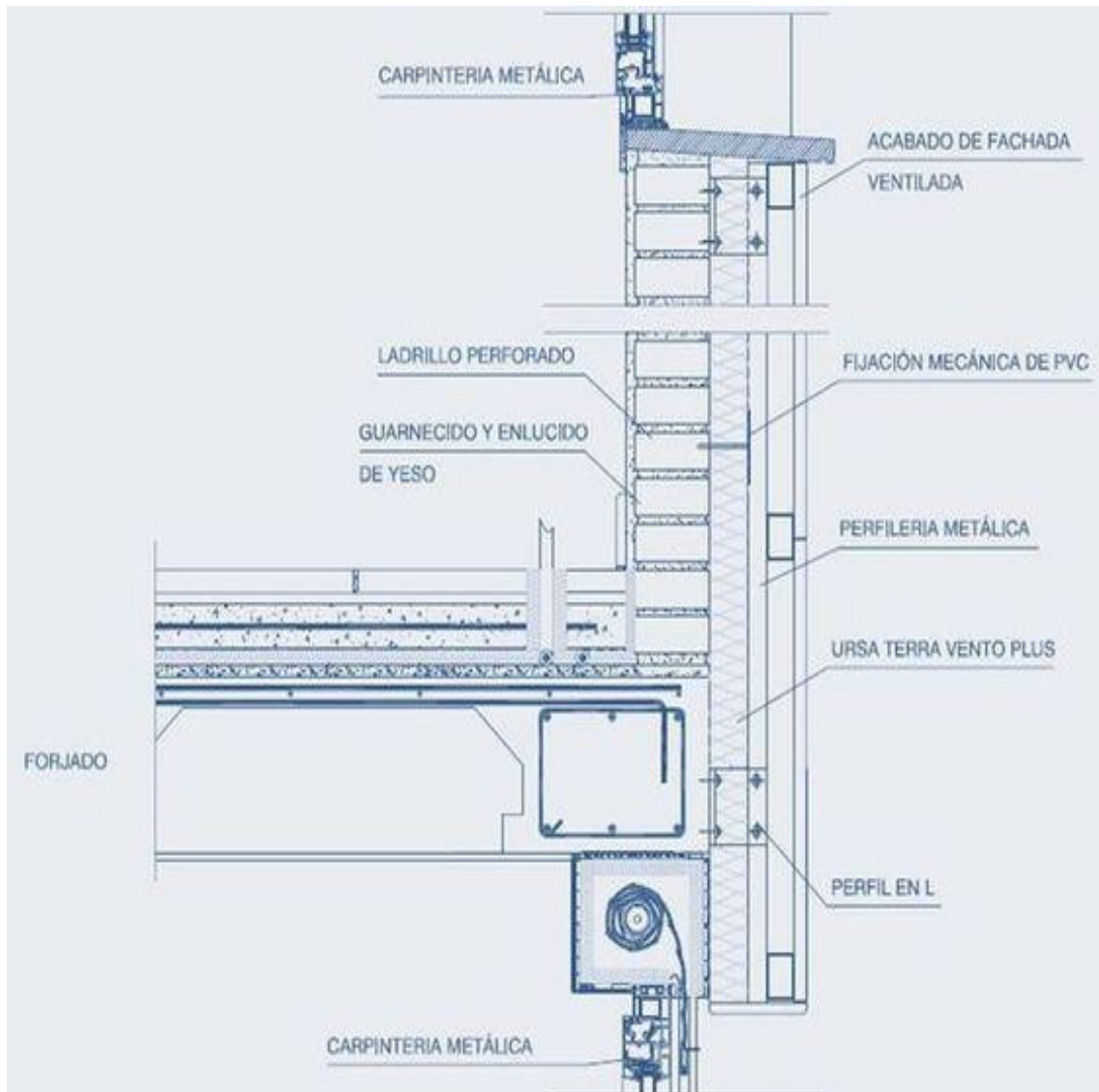


Imagen 1. Ejemplo de detalle constructivo. Fachada ventilada tradicional (S01).

Tabla 4 Ejemplo de precio de una fachada ventilada sostenible (S02):

14FVL00002	m ²	VENTILATED FACADE WITH WOOD PANELING OUTER CLADDING
<p>Main sheet of ventilated double hollow brick facade 24x11. 5x9 cm, received with M-5 industrial cement mortar. Wall insulation with 110 kg/m³ density conglomerate cork sheets 60 mm thick, placed on flat surfaces, including cutting and laying and complementary material. Interior wall cladding with wooden plates for self-supporting wall tiling, placed on wooden profiles, including staking out, cleaning, levelling, making corners and repairing joints. Exterior coating of natural wood composite panels for</p>		



O1-A2. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE UTILIZADOS EN CONCEPTO DE ECONOMÍA CIRCULAR

exteriors, consisting of a body of high-density bakelite, coated with natural wood veneer treated with synthetic resins that provide greater durability, protection from solar radiation, atmospheric agents, dirt and chemical attacks (anti-graffiti). It is part of a construction kit for the cladding of ventilated facades formed by natural wood panels and their corresponding substructure. Due to their high resistance, they do not require the usual maintenance of other outdoor woods. Materials with more than 8% of raw material of recycled origin and ecolabel III. Measure the executed surface.

Code	Quantity	u	Description	Price	Cost (€)	CF (tCO ₂ eq.)	EE (MJ/h)	CDW (t/m ³)
TO02100	2.72	h	OFFICIAL 1ST	19.85	52.99	---	---	---
TA00200	2.52	h	SPECIALIST	19.04	47.98	---	---	---
TP00100	0.50	h	ASSISTANT	18.90	9.45	---	---	---
MW00300	0.26	h	SPECIAL PEON	7.50	1.94	0.0108	177.3	---
06LHM0005	1.00	m ²	LIFTING PLATFORM	29.64	29.64	0.0717	832.4	264.26
10LWW90202	1.00	m ²	BRICK MASONRY	14.44	14.44	-0.0040	354.1	6.71
10LWW90300	1.00	m ²	CORK PANELS INSULATION	19.51	19.51	0.0388	967.2	15.22
RA00200	1.01	m ²	SELF-SUPPORTING COATING.	83.97	83.97	0.0250	684.8	13.08
WW00400	2.00	u	WOODEN PANELS OUTER COATING. WOODEN PANELS	0.30	0.60	0.0003	5.3	0.00
Total				262.36	262.36	0.1427	3021.2	299.26

Los materiales de la solución S02 han sido seleccionados bajo criterios medioambientales, concretamente materiales que, además de cumplir con las condiciones técnicas requeridas para su función dentro de la solución constructiva, cuentan con la etiqueta ecológica III (EPD) y tienen un porcentaje de material reciclado en su composición, certificado así en su correspondiente etiqueta ecológica. De esta forma nos aseguramos que estamos incorporando materiales producidos bajo criterios de economía circular, además de tener la certeza de que estos materiales están disponibles en el mercado.



Imagen 2. Ejemplo de detalle constructivo. Fachada ventilada sostenible (S02).

3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Tras aplicar la metodología descrita, se obtiene el coste económico (euros) y el impacto ambiental en términos de Huella de Carbono (FC), Energía Incorporada (EE) y Residuos (RCD), de cada solución constructiva. En primer lugar, se centra la atención en los resultados totales, tanto económicos como ambientales, de ambas soluciones de fachada ventilada, representados gráficamente en la Figura 3.

Se observa cómo la solución S01, compuesta por materiales tradicionalmente utilizados en la construcción, presenta un coste económico menor que la solución S02 que incorpora materiales con criterios ambientales y de reciclabilidad. Sin embargo, al comparar el coste económico con el impacto ambiental, se observa que el coste ambiental de la solución S02 es menor en cualquiera de los tres indicadores (FC, EE y RCD) utilizados en el análisis.



Es interesante realizar un análisis comparativo de la Figura 3, a través del desglose económico y ambiental por materiales, donde se observa que en ambas soluciones de fachada ventilada, el mayor coste económico recae en los elementos que componen la hoja exterior del cerramiento, siendo la solución S01 un 8% más económica. Al comparar los resultados ambientales en términos de CF y EE de estos mismos elementos, se observa que la solución S01 presenta un impacto ambiental entre un 7% y un 11% menor.

Esto se debe a que el revestimiento de chapa exterior de la fachada ventilada de la solución original S01 está compuesto por piedra natural, cuyo proceso de transformación requiere muy poca energía incorporada y, en consecuencia, bajas emisiones de CO₂, mientras que en la solución S02 el material de revestimiento es de madera especial para exteriores tratada con baquelita y resinas sintéticas que requieren más energía incorporada en sus procesos de producción.

Por otro lado, al comparar los RCD generados por ambas soluciones, se observa que con la solución S02 la generación de RCD se reduce en torno a un 5%, gracias a que las placas de revestimiento de esta solución tienen un alto porcentaje de reciclabilidad y contienen más de un 8% de materia prima de origen reciclado, certificado a través de la ecoetiqueta tipo III.

Continuando con el análisis de los resultados por materiales, cabe destacar la comparación entre los materiales aislantes utilizados en las soluciones constructivas, donde destaca el FC de los materiales aislantes de la solución S02, que se representa en el gráfico en términos negativos.

Esto se debe a que el corcho utilizado como material aislante en la solución S02 durante su proceso de fabricación produce menos emisiones que el secuestro de CO₂ que realizan los alcornoques, árbol del que procede la materia prima del corcho, en su análisis de ciclo de vida, lo que se traduce en un balance negativo de la huella de carbono.



O1-A2. MÉTODOS Y PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCIÓN SOSTENIBLE UTILIZADOS EN CONCEPTO DE ECONOMÍA CIRCULAR

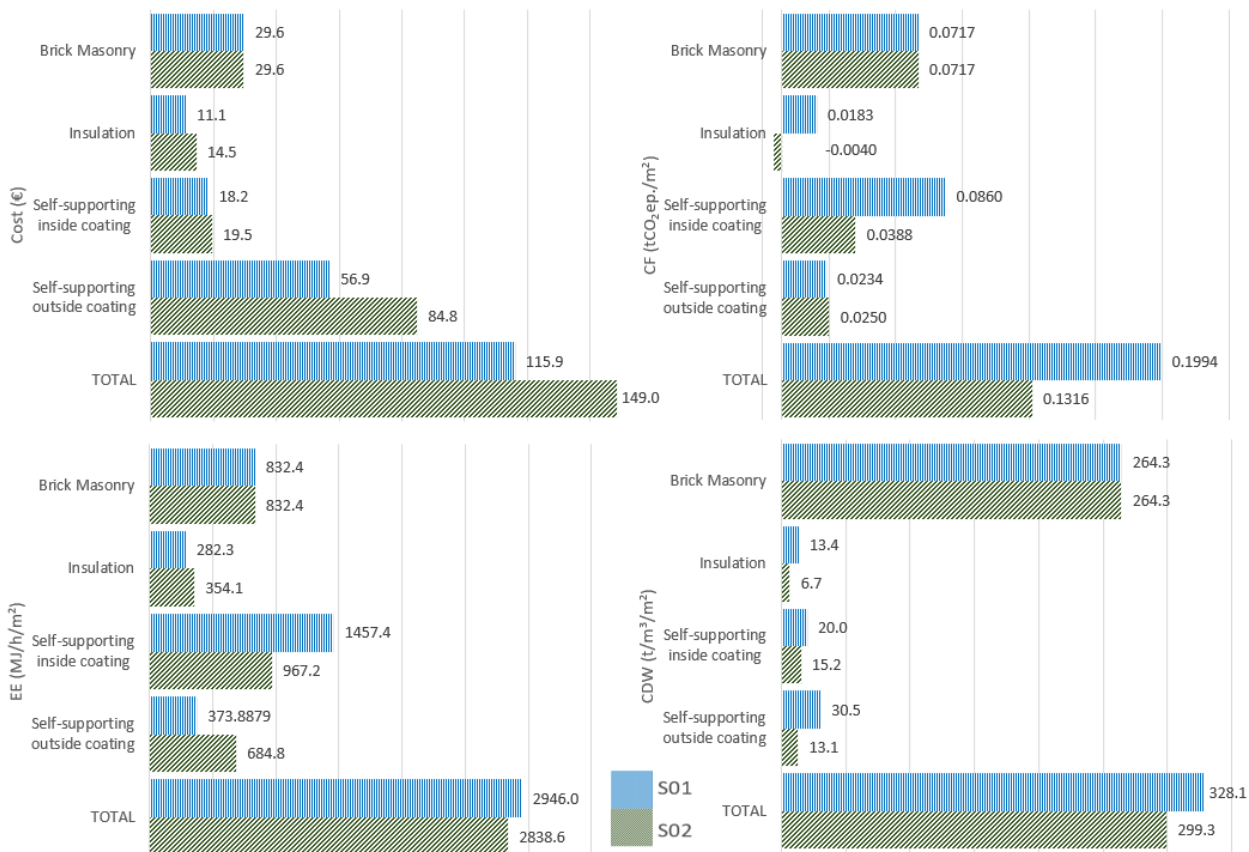


Fig. 3 Comparación económica y medioambiental por material de las soluciones de fachada ventilada S01 y S02.

En dos de los indicadores utilizados en el análisis (CF, EE) cabe destacar el material que produce el mayor impacto ambiental de la solución, a saber, las placas de yeso laminado, material de revestimiento de las yeserías interiores que componen la solución S01. Este elemento representa alrededor del 43% del CF y el 49% del EE de la solución constructiva, debido al alto impacto que genera desde su extracción como materia prima, pasando por todo su ciclo de vida hasta su generación como residuo, ya que este material tiene pocas posibilidades de reutilización y reciclaje, por lo que se aleja de los criterios de economía circular.

En la solución S02, este material se sustituye por láminas de madera reciclada, con lo que se consigue reducir la FC de la solución en torno al 55% y la EE en un 34%, además de contribuir a los objetivos de reutilización y reciclaje que persigue la economía circular.

Para finalizar el análisis, nos centramos en el indicador referido a los RCD, que nos permite vislumbrar la cantidad de residuos generados por los materiales que componen las diferentes soluciones constructivas y así analizar la posibilidad de recirculación y reciclabilidad de dichos residuos. Según los resultados obtenidos, todos los elementos



de la solución S02 tienen una menor generación de residuos que los elementos que componen la solución S01.

De este análisis destaca la hoja exterior, que genera un 53% menos de residuos en la solución S02 que en la solución S01. Esto se debe al uso potencial de los materiales de madera que componen la hoja exterior de la solución S02. En el análisis de los resultados de este indicador es necesario considerar, además de la generación de residuos de los distintos elementos, el porcentaje de reciclabilidad de los mismos.

Dado que las soluciones de fachada ventilada analizadas en este trabajo se caracterizan por ser desmontables, es decir, que al final de su vida útil es posible desmontar los diferentes materiales que componen cada elemento, el porcentaje de reciclabilidad de los mismos se ve incrementado. Concretamente en el caso de la solución S01, considerando el peso total de la solución constructiva (440.38 kg), la reciclabilidad del total de sus componentes se sitúa en torno al 74%, mientras que la solución S02 (peso total 412.56 kg) presenta una reciclabilidad del 73%.

4. CONCLUSIONES

Las bases de datos de costes de construcción se utilizan tradicionalmente en el sector para generar y controlar los presupuestos. Estas bases de datos permiten determinar con precisión los recursos utilizados en un proyecto de construcción; además, gracias a su estructura interna y a su clasificación sistemática, es posible incluir de forma fiable indicadores ambientales para el cálculo paralelo del coste ambiental del proyecto. Esto se convierte en una oportunidad para introducir la conciencia ambiental y el control del proyecto a través de estas bases de costes, ampliamente integradas por los agentes del sector para el control económico de los proyectos.

Aprovechando el actual auge de la tecnología BIM, que permite centralizar toda la información del proyecto en un modelo de información digital, lo convierten en la herramienta ideal para promover esta sensibilización ambiental desde los presupuestos de los proyectos.

Incluyendo este cálculo del impacto ambiental a través de los diferentes indicadores ambientales (FC, EE y RCD), la herramienta que se propone permite cuantificar la reducción del impacto ambiental generado por los proyectos, de forma que se pueden comparar los impactos ambientales de las nuevas soluciones con las soluciones constructivas tradicionales.

Una muestra de esta afirmación se extrae de los resultados obtenidos de la aplicación de la metodología descrita anteriormente sobre las dos soluciones constructivas analizadas, observándose que la solución compuesta por materiales tradicionales presenta un menor coste económico que la solución que incorpora materiales con



criterios ambientales y de reciclabilidad, en contraste con los resultados ambientales, donde se aprecia que la solución que incorpora criterios ambientales presenta un menor impacto para cualquiera de los tres indicadores (FC, EE y RCD) utilizados en el análisis.

El desglose detallado por elementos constructivos que es posible gracias a la estructura interna y clasificación sistemática de las bases de coste, permite identificar aquellos materiales de las soluciones constructivas que generan un mayor impacto ambiental y así proponer una alternativa de sustitución que reduzca este impacto. En el caso concreto de las soluciones analizadas en este trabajo, se ha identificado el material de revestimiento del revoque interior (placas de yeso laminado) como el material que produce un mayor impacto ambiental, representando alrededor del 43% del CF y el 49% del EE de la solución constructiva.

Esto permite proponer y cuantificar como alternativa la sustitución de este elemento por otro que genere un menor impacto, concretamente en este caso se plantea su sustitución por planchas de madera fabricadas con madera reciclada, con lo que se consigue reducir la FC de la solución en torno al 55% y la EE en un 34%, además de contribuir a los objetivos de reutilización y reciclaje que persigue la economía circular.

El objetivo de la herramienta que se propone en este trabajo es incorporar la metodología de cálculo descrita en los proyectos de edificación mediante tecnologías BIM. Para ello, tras incluir las características del proyecto concreto y la definición geométrica de sus objetos BIM, se pueden calcular los impactos ambientales de cada solución constructiva previamente definida y representarlos mediante indicadores.

La información puede añadirse al modelo BIM mediante plug-ins, insertarse directamente en el software BIM o enviar la información BIM a las herramientas de evaluación medioambiental. Al tratarse de un recurso abierto, será posible acceder al software de forma gratuita y obtener técnicas de construcción que faciliten la reutilización de los materiales utilizados en la construcción.

En conclusión, se trata de unificar la tecnología BIM y las técnicas de revalorización y reutilización de materiales de construcción basadas en los ideales de la economía circular, creando así una herramienta útil tanto para estudiantes como para profesionales de la industria de la Arquitectura, la Ingeniería y la Construcción.



5. REFERENCIAS

ACCD (2017) *Andalusia Construction Cost Database, Andalusia Government*. Available at: <https://www.juntadeandalucia.es/organismos/fomentoyvivienda/areas/vivienda-rehabilitacion/planes-instrumentos/paginas/bcca-sept-2017.html>.

Alba-Rodríguez, M. D. (2016) *Modelo de evaluación de la viabilidad económica y ambiental de la recuperación de edificios. Aplicación en edificios residenciales de la ciudad de Sevilla. 'Model for evaluating the economic and environmental viability of building recovery'*. PhD Thesis. University of Seville, Spain. Available at: https://idus.us.es/xmlui/bitstream/handle/11441/44469/VEARE_Acceso_cerrado.pdf?sequence=1 (Accessed: 21 August 2018).

Alba-Rodríguez, M. D. *et al.* (2017) 'Building rehabilitation versus demolition and new construction: Economic and environmental assessment', *Environmental Impact Assessment Review*. Elsevier, 66, pp. 115–126. doi: 10.1016/j.eiar.2017.06.002.

Camporeale, P. and Mercader-Moyano, P. (2019) "Towards Nearly Zero Energy Buildings: Shape Optimization of Typical Housing Typologies in Ibero-American Temperate Climate Cities from a Holistic Perspective", *Solar Energy*. Elsevier, 193C, pp. 738-765. doi: 10.1016/j.solener.2019.09.091

CSI/CSC (1983) 'Construction Specifications Institute/Construction Specifications Canada. Masterformat manual of practice (MP2-1). Alexandria, Va.'

Department of Housing, P. W. and T. of the B. G. (2012) 'BDEU in the Basque Country'.

Directiva_2018/844/UE (2018) *Directiva 2018/844/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de mayo de 2018, por la que se modifica la Directiva 2010/31/UE relativa a la eficiencia energética de los edificios y la Directiva 2012/27/UE relativa a la eficiencia energética*.

EHE-08 (2008) *Instrucción de Hormigón Estructural. Structural Concrete Instruction, normative series 2011 Spanish Government Ministry of Development General Technical Secretariat*.

EUROPEAN COMMISSION (2019) *Closing the circle: Commission delivers on Action Plan for the Circular Economy*. Available at: https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/es/IP_19_1480 (Accessed: 12 February 2020).

Freire-Guerrero, A., Alba-Rodríguez, M. D. and Marrero, M. (2019) 'A budget for the ecological footprint of buildings is possible: A case study using the dwelling construction cost database of Andalusia', *Sustainable Cities and Society*. Elsevier, 51, p. 101737. doi: 10.1016/J.SCS.2019.101737.

Freire Guerrero, A. and Marrero, M. (2015) 'Evaluation of the embodied energy of a construction project using the budget', *Habitat Sustentable*, 5(1), pp. 54–63.

Freire Guerrero, A., Marrero Meléndez, M. and Muñoz Martín, J. (2016) 'Incorporación de huella de carbono y huella ecológica en las bases de costes de construcción. Estudio de caso de un proyecto de urbanización en Écija, España', *Hábitat Sustentable*, ISSN-



e 0719-0700, Vol. 6, Nº. 1, 2016 (Ejemplar dedicado a: Junio), págs. 6-17. Universidad del Bío-Bío, 6(1), pp. 6–17.

Frischknecht, R. *et al.* (2005) 'The ecoinvent database: Overview and methodological framework (7 pp)', *The international journal of life cycle assessment*. Springer, 10(1), pp. 3–9.

Geng, S. *et al.* (2017) 'Building life cycle assessment research: A review by bibliometric analysis', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier, 76, pp. 176–184.

IDAE (2011) *Factores de emisión de CO2 / CO2 emission factors*.

IETcc (2010) *Catálogo de Elementos Constructivos del CTE. Instituto Eduardo Torroja de ciencias de la construcción (IETcc)*.

ISO_14040: (2006) *Environmental Management: Life Cycle Assessment; Principles and Framework*. International Standardization Organization. ISO.

ISO_14044: (2006) *Environmental Management, Life Cycle Assessment, Requirements and Guidelines*. International Standardization Organization. ISO.

ISO_15804:2012+A1:2013 (2012) 'Sustainability of construction works. International Standardization Organization.', *Environmental product declarations. Core rules for the product category of construction products*.

ITeC (2012) *Institute of Construction Technology of Catalonia, Barcelona*.

Jones, A. R. (1987) 'CI/SfB construction indexing manual', *Royal Institute of British Architects RIBA. London, U.K.*

Marrero, M. *et al.* (2017) 'Assessing the economic impact and ecological footprint of construction and demolition waste during the urbanization of rural land', *Resources, Conservation and Recycling*, 117, pp. 160–174. doi: 10.1016/j.resconrec.2016.10.020.

Marrero, M. and Ramirez-De-Arellano, A. (2010) 'The building cost system in Andalusia: application to construction and demolition waste management', *Construction Management and Economics*. Routledge, 28(5), pp. 495–507. doi: 10.1080/01446191003735500.

Marrero, M., Rivero-Camacho, C. and Alba-Rodríguez, M Desirée (2020) 'What are we discarding during the life cycle of a building? Case studies of social housing in Andalusia, Spain', *Waste Management*. Elsevier, 102, pp. 391–403.

Marrero, M., Rivero-Camacho, C. and Alba-Rodríguez, M. Desirée (2020) 'What are we discarding during the life cycle of a building? Case studies of social housing in Andalusia, Spain', *Waste Management*. Elsevier Ltd, 102, pp. 391–403. doi: 10.1016/j.wasman.2019.11.002.

Martínez-Rocamora, A. *et al.* (2016) 'LCA databases focused on construction materials: A review', *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier, 58, pp. 565–573. doi: 10.1016/j.rser.2015.12.243.

Martínez-Rocamora, A., Solís-Guzmán, J. and Marrero, M. (2016) 'Toward the Ecological Footprint of the use and maintenance phase of buildings: Utility consumption and cleaning tasks', *Ecological Indicators*, 69, pp. 66–77. doi: 10.1016/j.ecolind.2016.04.007.



- Martínez-Rocamora, A., Solís-Guzmán, J. and Marrero, M. (2017) 'Ecological footprint of the use and maintenance phase of buildings: Maintenance tasks and final results', *Energy and Buildings*. Elsevier Ltd, 155, pp. 339–351. doi: 10.1016/j.enbuild.2017.09.038.
- Mercader Moyano, P., Esquivias, P.M. and Muntean, R. (2020) "Eco-Efficient Analysis of a Refurbishment Proposal for a Social Housing", *Sustainability*. 2020. Vol. 12. Núm. 17. doi 10.3390/su12176725
- Ministry of Infrastructure, Territory and Environment, G. V. (2012) 'BDC-IVE in Valencia'.
- Ministry of the Environment and Planning of the Territory, C. of M. (2007) 'BPCM Madrid'.
- Official College of Quantity Surveyors, T. A. and B. E. of G. (2012) 'PRECIOCENTRO of Guadalajara'.
- Omniclass (2012) 'A strategy for classifying the built environment - Table 13: Spaces by function'.
- Ramírez-de-Arellano-Agudo, A. (2010) 'Presupuestación de obras / Budgeting of works', *Edited by the Secretariat of the University of Seville (1998). Seville*.
- RD_314 (2006) *Código técnico de la edificación (CTE): Real Decreto 314/2006, de 17 de Marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación*. Ministerio de Vivienda.
- REE (2014) *El sistema eléctrico español / The Spanish electric system*.
- Ruiz-Pérez, M. R., Alba-Rodríguez, M. D. and Marrero, M. (2019) 'The water footprint of city naturalisation. Evaluation of the water balance of city gardens.', in *The 22nd biennial conference of The International Society for Ecological Modelling (ISEM)*. SALZBURG, AUSTRIA.
- Ruiz-Pérez, M. R., Alba Rodríguez, M. D. and Marrero, M. (2017) 'Systems of Water Supply and Sanitation for Domestic Use. Water Footprint and Carbon Footprint Evaluation: First Results', in Research, I. I. C. on C. and B. (ed.). Santa Cruz de Tenerife, España.
- SEOPAN (2008) *Machinery costs manual (in Spanish: Manual de costes de maquinaria)*. Available: http://www.concretonline.com/pdf/07construcciones/art_tec/SeopanManualCostes.pdf (accessed 01.07.16).
- Solís-Guzmán, J. et al. (2009) 'A Spanish model for quantification and management of construction waste.', *Waste management (New York, N.Y.)*, 29(9), pp. 2542–8. doi: 10.1016/j.wasman.2009.05.009.
- Solís-Guzmán, J. et al. (2018a) 'Carbon Footprint Estimation Tool for Residential Buildings for Non-Specialized Users: OERCO2 Project', *Sustainability*, 10(5), p. 1359. doi: 10.3390/su10051359.
- Solís-Guzmán, J. et al. (2018b) 'Carbon Footprint Estimation Tool for Residential Buildings for Non-Specialized Users: OERCO2 Project', *Sustainability*, 10(5), p. 1359. doi: 10.3390/su10051359.



Solís-Guzmán, J., Martínez-Rocamora, A. and Marrero, M. (2014) 'Methodology for Determining the Carbon Footprint of the Construction of Residential Buildings', in. Springer Singapore, pp. 49–83. doi: 10.1007/978-981-4560-41-2_3.

Spanish_CDW_Recycling_Association (2017) *Report on Production and Management of Construction and Demolition Waste (CDW) in Spain*. Available at: <https://rcdasociacion.es/images/documents/Informe-RCDA-11-15.pdf> (Accessed: 5 May 2020).

Telford, T. (1991) 'Civil engineering standard method of measurement', *3rd Ed., LTD., U. K.*, 4–39.

UNE-EN_15978 (2012) 'Standard UNE-EN 15978. Sustainability of construction works - Assessment of environmental performance of buildings - Calculation method.'

UNEP (2018) 'Global Status Report: Towards a Zero-emission, Efficient and Resilient Buildings and Construction Sector'. Available at: <https://wedocs.unep.org/handle/20.500.11822/27140> (Accessed: 5 May 2020).

UniFormatTM. The Construction Specifications Institute (1998) 'A Uniform Classification of Construction Systems and Assemblies. Alexandria, VA'.