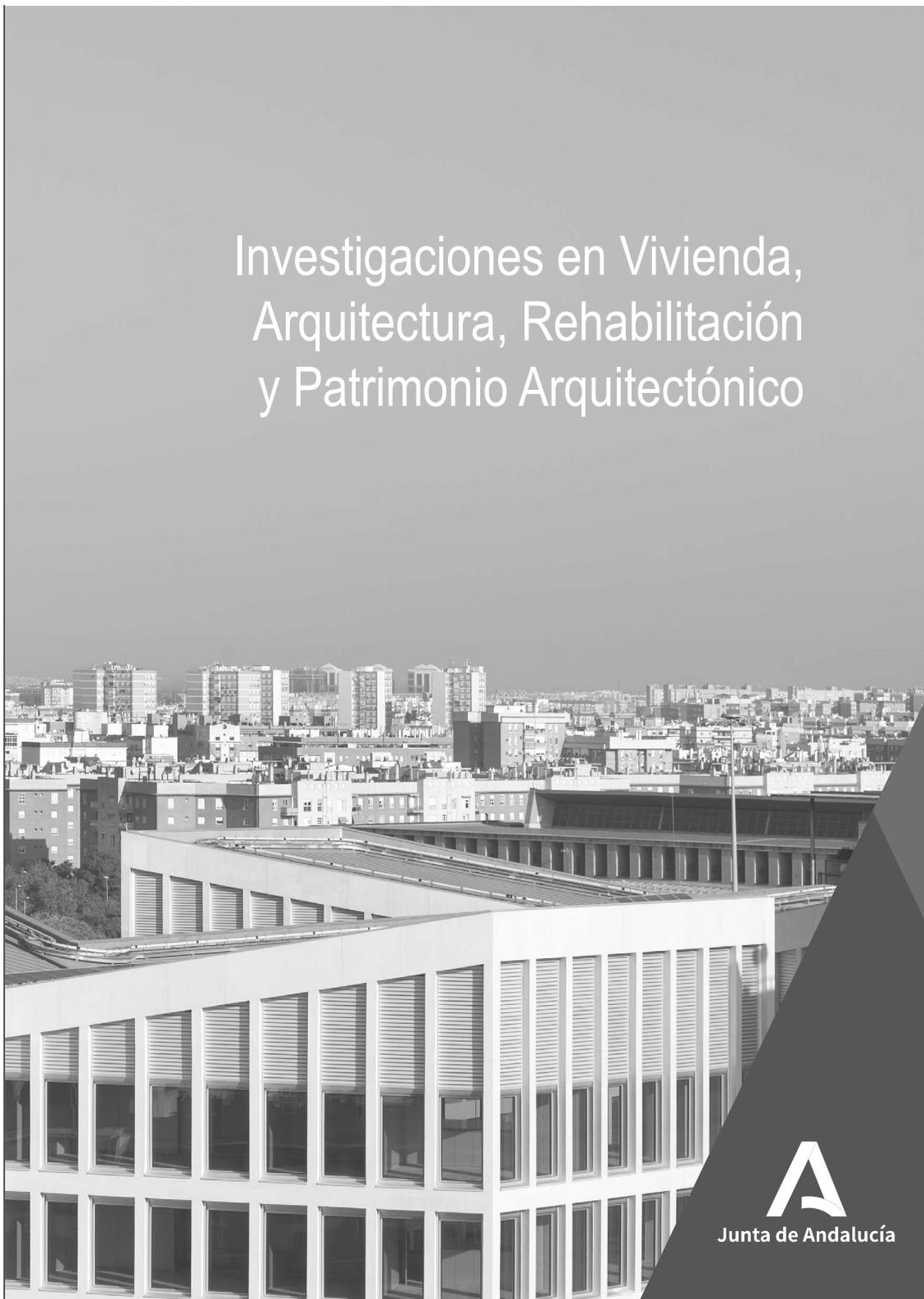


# Investigaciones en Vivienda, Arquitectura, Rehabilitación y Patrimonio Arquitectónico



Junta de Andalucía

Consejería de Fomento, Articulación del Territorio y Vivienda  
Rocío Díaz Jiménez. Consejera  
Mario Muñoz-Atanet Sánchez. Viceconsejero  
Alicia Martínez Martín. Secretaria General de Vivienda  
Juan Cristóbal Jurado Vela. Director General de Vivienda y Rehabilitación Urbana  
María Alegría Cardesa Cabrera. Coordinadora General de Vivienda  
Raquel García Soto. Subdirectora de Vivienda y Rehabilitación Urbana  
Alberto Morillas Fernández. Consejero Técnico de Cooperación  
Mercedes Martínez Costa. Personal Técnico del Servicio de Cooperación

Coordinadores:  
Alberto Morillas Fernández, José Manuel Romero Ojeda y Daniel Navas Carrillo

Edita:  
Secretaría General de Vivienda

Cuidado editorial:  
Servicio de Publicaciones. Secretaría General Técnica

Fotografía de portada:  
Pedro Pegenaute

Fotografías de la publicación:  
Responsabilidad de los autores de los capítulos

Diseño gráfico y tratamiento de imágenes  
Miguel Tarapiella Cejas

Impresión  
Jumpej, Servicios Generales S.L.

ISBN  
978-84-8095-612-3

N.º Registro oficial  
JAFATV/SGV-05-2023

Depósito Legal  
SE 1880-2023

© Junta de Andalucía Consejería de Fomento, Articulación del Territorio y Vivienda

## ÍNDICE

<b>Presentación de la Consejera</b> .....	07
<b>Agradecimientos de la Secretaria General de Vivienda</b> .....	09
<b>Introducción</b> .....	11
<b>Intervenciones en Centros Históricos y el Espacio Público y Urbano</b> .....	15
• Overtourist city: una aproximación a la problemática de los procesos de turistificación y gentrificación de los centros históricos y propuestas para su recuperación social .....	17
• Metodología para un proyecto de regeneración urbana en el espacio público .....	32
• NATURAL SINK, Mejora de la habitabilidad de espacios abiertos en mediante técnicas naturales ....	44
• ANDando a Destinos Atractivos (ANDA): Factores de ruta y entorno urbano para incentivar la caminabilidad en ciudades andaluzas .....	58
<b>Conservación y puesta en valor del Patrimonio Arquitectónico</b> .....	75
• Fortificaciones en Centros Históricos ¿Cómo evaluar el riesgo de pérdida? .....	77
• Protocolo para fabricación y caracterización en laboratorio de lechadas de Spinor A12 .....	90
• Campus Ugr. Sostenibilidad. Plan de actuación para el desarrollo territorial, urbano y arquitectónico de la azucarera de San Isidro y su paisaje .....	102
• Arquitecturas indígenas en la Cuenca del río Madre de Dios (Perú): cambios y permanencias .....	116
• Cementerio, Medina y Ensanche de Tetuán: Tres unidades morfológicas y una única realidad patrimonial .....	129
<b>Rehabilitación Residencial y Patrimonial en Ámbitos Urbanos y Rurales</b> .....	143
• Cálculo y diseño de soluciones de fachada para la mejora energética y sísmica de grandes barriadas de antigua construcción .....	145
• REVIVE: Reto demográfico y vivienda en el medio rural andaluz .....	157
• Aplicación de la Estrategia Aura para la rehabilitación de barriadas obsoletas andaluzas: análisis de las condiciones de habitabilidad, confort y salud en el Polígono de San Pablo (Sevilla) .....	169
• La evaluación de los riesgos y vulnerabilidades frente al cambio climático, desastres naturales y antrópicos: un acercamiento inicial desde la cooperación internacional .....	183
<b>Innovación en Vivienda Social y Movilidad: Eficiencia Energética y Sostenibilidad</b> .....	197
• Hacia la implementación de la sostenibilidad mediante BIM en los procedimientos de licitación de viviendas en Andalucía .....	199
• Combinando indicadores para la evaluación del impacto económico, ambiental y social del ciclo de vida de las viviendas sociales en Andalucía .....	215
• Geopolímeros de residuos con propiedades acústicas, térmicas, biocidas y autolimpiantes para revestimiento de fachada .....	229
• Programa de Capacitación Institucional para América Latina y Formación Avanzada en Movilidad Urbana Sostenible .....	242
• Accesibilidad universal para la gestión estratégica del envejecimiento poblacional en la provincia de Villa Clara (Cuba) .....	255

## Hacia la implementación de la sostenibilidad mediante BIM en los procedimientos de licitación de viviendas en Andalucía

### US.20-03. Universidad de Sevilla. Eva-BIM. Evaluación de Viviendas en Andalucía con BIM

**Investigadora principal:** Carmen Llatas.

**Equipo del proyecto:** Isidro Cortés, María Victoria Montes, Bernardette Soust, Rocío Quiñones, Teresa Rojo, Francisco Espasandín, Antonio García, Elisabetta Palumbo, Pedro Méda.

**Autores del capítulo:** Carmen Llatas<sup>1</sup>, Bernardette Soust Verdaguer<sup>1</sup>, María Victoria Montes<sup>1</sup>, Rocío Quiñones<sup>1</sup>, Isidro Cortés<sup>1</sup>, Teresa Rojo<sup>1</sup>, Francisco Espasandín<sup>1</sup>, Elisabetta Palumbo<sup>2</sup>, Pedro Méda<sup>3</sup>.

<sup>1</sup> Universidad de Sevilla, Sevilla, España.

<sup>2</sup> Universidad de Bergamo, Bergamo, Italia.

<sup>3</sup> Universidad de Oporto, Oporto, Portugal.

#### Resumen

La sociedad andaluza a través de su Agenda Urbana de 2030 demanda cada vez más ciudades sostenibles con edificios de menores costes ambientales, económicos y sociales durante su ciclo de vida. Es por ello que el Plan VIVE en Andalucía 2020-2030 pretende sumarse al movimiento internacional sobre el futuro de las ciudades que promueven Naciones Unidas y la Unión Europea orientando sus campos prioritarios de actuación en materia de vivienda hacia el consumo energético, el uso de recursos y gestión de residuos en la construcción, la huella ecológica, la vida útil y, en general, los nuevos materiales y técnicas constructivas desde una perspectiva de respeto y cuidado del medio ambiente. Por otro lado, uno de los objetivos de la Ley de Contratos del Sector Público, es la incorporación de innovaciones tecnológicas, sociales o ambientales que mejoren la eficiencia y sostenibilidad de los bienes, obras o servicios que se contraten, siendo el uso de la metodología BIM (Building Information Modeling) obligatorio en las licitaciones públicas en España desde 2018. Sin duda, el uso del BIM ha supuesto una revolución tecnológica en el sector de la construcción vinculado a la Administración Pública. Más aún, la comunidad científica ha puesto de manifiesto la utilidad del BIM para la mejora de la sostenibilidad de los edificios, siendo el Análisis de la Sostenibilidad del Ciclo de Vida (ASCV) el método cuantitativo más objetivo para llevar a cabo esta evaluación desde su triple dimensión (social, ambiental y económica). Sin embargo, para que su implantación en el sector de la edificación sea efectiva son necesarios instrumentos adaptados a cada contexto, e integrados en los propios procedimientos de contratación de obra de la Administración Pública.

Es por ello que el proyecto de investigación Eva-BIM se llevó a cabo en el periodo 2021-2022 con el objetivo de sentar las bases de los instrumentos necesarios para la aplicación directa de una metodología de ASCV de viviendas, automatizada e integrada en BIM, en los procedimientos de contratación de Vivienda de la Junta de Andalucía, con el fin de identificar y tener la oportunidad de seleccionar los proyectos que liciten de mayor sostenibilidad, es decir, los de menor coste ambiental, social y económico durante su ciclo de vida. Como resultado se elaboraron los instrumentos necesarios para aplicar la metodología ASCV-BIM, a una tipología de vivienda de interés en las políticas de vivienda de esta Consejería, con el fin de adaptar la metodología al contexto de Andalucía. Posteriormente se evaluó de forma automatizada la sostenibilidad de varios proyectos de vivienda alternativos licitados en una oferta pública de esta Consejería, a partir de sus modelos digitales. Paralelamente a su desarrollo, el proyecto involucró a diferentes agentes socio-económicos y partes interesadas y beneficiarias en materia de Arquitectura Sostenible, mediante la realización de jornadas, seminarios, y encuestas. Finalmente, los resultados de la investigación fueron difundidos en entornos internacionales, y transferidos a la sociedad y al tejido empresarial y productivo de Andalucía. Este capítulo pone en contexto y presenta los principales resultados de este proyecto de investigación.

#### **Palabras clave**

Análisis de la Sostenibilidad de Ciclo de Vida (ASCV); Building Information Modeling (BIM); Licitación; Rehabilitación; Vivienda.

#### **Línea temática**

3. Vivienda y Arquitectura, incluyendo los aspectos de la sostenibilidad y de la eficiencia energética, fomentando la racionalización de las intervenciones y los nuevos modos de convivencia, con especial atención en la vivienda social.

### **1. EL PROYECTO EVA-BIM**

Recientes estudios científicos internacionales han descrito la situación actual de la insostenibilidad del sector de la construcción aportando pruebas de sus catastróficas consecuencias a corto y medio plazo. La industria de la construcción es responsable del 40% de las emisiones de gases de efecto invernadero (Agencia Internacional de la Energía, 2019) y constituye uno de los mayores consumidores de recursos naturales. En Europa, por ejemplo, el uso y construcción de los edificios consume la mitad de los materiales extraídos (Comisión Europea, 2011). Dado el impacto ambiental, económico y social que producen los edificios a lo largo de su ciclo de vida, la sociedad demanda un

aumento de la sostenibilidad de los edificios (World Green Building Council, 2015). Para afrontar esta situación, las actuales estrategias internacionales de sostenibilidad, como los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de Naciones Unidas (Naciones Unidas, 2019), y europeas, como el Pacto Verde Europeo (Comisión Europea, 2019) y el Plan de Acción de Economía Circular (Comisión Europea, 2020), proponen cambios radicales en nuestro modelo de desarrollo, como el de su descarbonización.

Andalucía, a través de su Agenda Urbana de 2030 (Junta de Andalucía, 2018) demanda cada vez más ciudades sostenibles con edificios de menores costes ambientales, económicos y sociales durante su ciclo de vida. Es por ello que su Plan Vive de vivienda, rehabilitación y regeneración urbana 2020-2030 (Junta de Andalucía, 2019) y la recién aprobada Ley de Economía Circular (Junta de Andalucía, 2023) pretenden sumarse al movimiento internacional sobre el futuro de las ciudades que promueven Naciones Unidas y la Unión Europea orientando sus campos prioritarios de actuación en materia de vivienda hacia el consumo energético, el uso de recursos y gestión de residuos en la construcción, la huella ecológica, la vida útil y, en general, los nuevos materiales y técnicas constructivas desde una perspectiva de respeto y cuidado del medio ambiente.

Además, las predicciones científicas sobre los efectos del cambio climático (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), 2013), hacen necesaria la aplicación de medidas de carácter más eficaz e innovador que produzcan cambios drásticos. De hecho, el escenario para la mejora de la eficiencia energética en el sector de la construcción termina cuando, por ejemplo, se alcanzan los estándares de consumo de energía casi nulo (Tschetwertak et al., 2017), o cuando se logra plenamente el uso de fuentes renovables para el suministro de energía en la fase operativa. Sin embargo, los impactos incorporados relacionados con los materiales y productos incluidos en los edificios aún no se han reducido. De ahí que, debido a la complejidad de los problemas existentes, las posibles soluciones exijan que la sostenibilidad de los edificios se aborde desde una perspectiva holística que integre las tres dimensiones fundamentales (ambiental, económica y social) para todo su ciclo de vida (Meex et al., 2018).

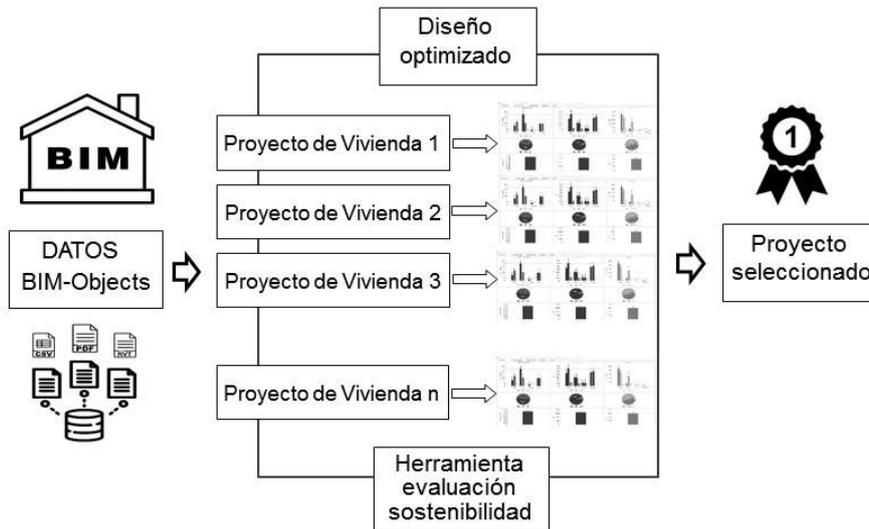


Figura 01. Aproximación al modelo de implementación ASCV-BIM en Eva-BIM. Fuente: elaboración propia.

En este contexto surge la necesidad de impulsar la integración de la evaluación de la sostenibilidad de forma transparente y cuantitativa en los procedimientos de licitación y compra pública, a través de iniciativas como la presente. Es por ello que este capítulo se presenta como resultado del proyecto Eva-BIM “Evaluación de Viviendas en Andalucía”, ref. US.20-03, llevado a cabo en el periodo comprendido entre el diez de septiembre de 2021 y el nueve de diciembre de 2022. Eva-BIM fue financiado por la Consejería de Fomento, Articulación del Territorio y Vivienda de la Junta de Andalucía, en la convocatoria 2020 (Junta de Andalucía, 2020) con el objetivo de sentar las bases de los instrumentos necesarios para la aplicación directa de una metodología de Análisis de la Sostenibilidad de Ciclo de Vida (ASCV) de viviendas, automatizada e integrada en BIM, en los procedimientos de contratación de Vivienda de la Junta de Andalucía. Así, se podría identificar y tener la oportunidad de seleccionar aquellos proyectos de mayor sostenibilidad que liciten, es decir, los de menor coste ambiental, social y económico durante su ciclo de vida. La Figura 01, esquematiza el Modelo de implementación del ASCV-BIM propuesto por Eva-BIM.

## 2. LA UTILIDAD DEL ASCV Y DEL BIM EN LA COMPRA PÚBLICA DE VIVIENDAS SOSTENIBLES

La estrategia Europa 2020 (Comisión Europea, 2010) convirtió la contratación pública, en una herramienta estratégica para abordar los desafíos sociales, impulsar la innovación y mejorar la sostenibilidad ambiental. En esta línea la Directiva 2014/24/UE (Parlamento Europeo, 2014) puso a disposición de las Administraciones Públicas un instrumento que les permitiera superar la limitación del precio inicial de compra, de manera que pudieran así tener en cuenta el impacto total del producto a lo largo de su ciclo de vida completo, incluido el uso, el mantenimiento y el final de la vida útil, internalizando así las externalidades ambientales y sociales. Sin embargo, algunas barreras, como la inexistencia de una definición precisa de la sostenibilidad, el enfoque cortoplacista e incuantificable de la sostenibilidad y el déficit de conocimiento especializado y de recursos internos insuficientes, impiden la evolución de las Administraciones hacia el actual marco de licitación que tiene en cuenta criterios de sostenibilidad ambiental, social y económica en la compra pública. Y es que, de acuerdo con un reciente estudio de compra pública sostenible en el sector de la construcción en el que se analizan estas barreras (Oficemen y Roland Berger, 2021), resulta necesaria una metodología consistente para evaluar el coste económico, ambiental y social del ciclo de vida de cada proyecto más allá de las certificaciones básicas.

En este sentido, la metodología de ASCV se postula como el método más consistente, ya que está basada en el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) (ISO, 2006a, 2006b) considerado como el método cuantitativo más objetivo para evaluar el coste del ciclo de vida de los edificios (Klöpffer, 2008), si bien es el método de mayor complejidad (Zabalza Bribián et al., 2009). El ASCV combina tres métodos: el ACV (ambiental), el ACV Económico o Análisis de Costes del Ciclo de Vida (ACCV) y el ACV Social (ACV-S) (Klöpffer, 2008). Este se fundamenta en lo que se denomina Evaluación de la Sostenibilidad basada en la triple dimensión o Triple Bottom Line Sustainability Assessment en inglés (TBL). En el campo de las certificaciones ambientales de edificios las metodologías de ACV y ACCV ya están siendo incorporadas como parte de los procesos de evaluación y certificación de la sostenibilidad de los edificios (GBCe, s.f.; Comisión Europea, s.f.; DGNB, 2019), sin embargo, la evaluación de la dimensión social siguiendo el ACV-S aún no ha sido integrada en este tipo de procesos (Somanath et al., 2020).

Por otro lado, uno de los objetivos de la nueva Ley de Contratos del Sector Público (Ley 9/2017), es la incorporación de innovaciones tecnológicas, sociales o ambientales que mejoren la eficiencia y sostenibilidad de los bienes, obras o servicios que se contraten, pudiendo ser el uso de la metodología BIM (Building Information Modeling) exigible en las licitaciones públicas en España (Parlamento Europeo, 2014). Sin duda la implementación del BIM ha supuesto una revolución tecnológica en el sector de la construcción vinculado a la Administración Pública, sobre el que la comunidad científica ha puesto de manifiesto su utilidad para la mejora de la sostenibilidad de los edificios. Más aún el BIM se considera

una metodología idónea para integrar el ASCV dada su gran capacidad para gestionar la gran cantidad de datos del ciclo de vida de los edificios, facilitando la evaluación en la práctica profesional. Sin embargo, para que su implantación en el sector de la edificación sea efectiva son necesarios instrumentos adaptados a cada contexto, e integrados en los propios procedimientos de contratación de obra de la Administración Pública, como ya está desarrollando en otros contextos (Moglobin et al., 2019 et al., 2019; Barbini et al., 2020).

### 3. IMPLEMENTANDO LA HERRAMIENTA ASCV-BIM EN UNA LICITACIÓN PÚBLICA

La herramienta desarrollada para la aplicación del ASCV se basa en los fundamentos metodológicos llevados a cabo por este equipo en proyectos de investigación (Llatas et al., 2017; Llatas et al., 2021), habiéndose validado a través de publicaciones científicas (Llatas et al., 2019, 2020; Llatas et al., 2022; Soust-Verdaguer et al., 2021). Tanto la base de datos TBL (ambiental+ económica+social) (Universidad de Sevilla, 2022a) que soporta la herramienta como la herramienta de evaluación ASCV-BIM (Universidad de Sevilla, 2022b) se adaptaron en el marco de un procedimiento de licitación en BIM de vivienda pública promovido por la Agencia de Vivienda y Rehabilitación de Andalucía (AVRA). Se trata de un proyecto de rehabilitación energética de un edificio de 36 Viviendas de Promoción Pública (VPP) de 2686 m<sup>2</sup> (AVRA, 2020), ubicado en el núcleo Guadalquivir, de la localidad de Camas, en Sevilla (Figura 02). La información que se incluyó en el modelo BIM del edificio se clasificó teniendo en cuenta el concepto del LOIN (EN, 2021), en el que se reconoce, entre otras, la información geométrica y la información alfanumérica de los objetos que componen un modelo BIM.

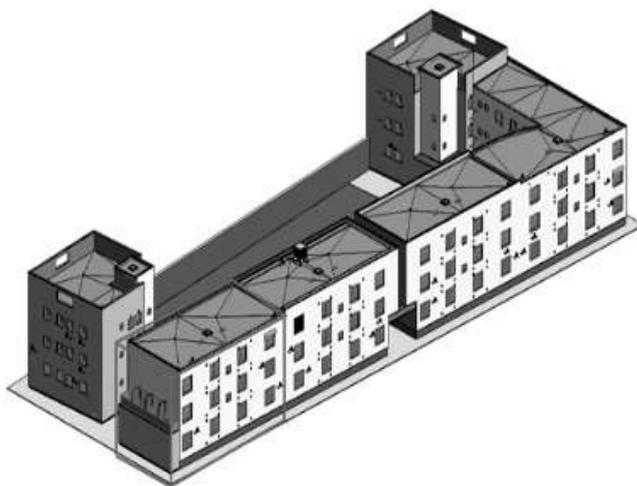


Figura 02. Captura de imagen del modelo BIM objeto de licitación. Fuente: elaboración propia.

Para ello se simularon tres proyectos de rehabilitación energética alternativos, como muestra la Figura 03: (1) un proyecto de rehabilitación energética por el exterior mediante SATE (Sistema de aislamiento térmico por el exterior), (2) un proyecto de rehabilitación energética por el exterior mediante fachada ventilada y (3) un proyecto de rehabilitación energética por el interior.

Para comparar las soluciones constructivas alternativas se aplicó la hipótesis de carga cero (Ekyal et al., 2007), mediante la cual solo se tienen en cuenta en el ACV de una rehabilitación el impacto de los nuevos elementos incorporados. De tal modo que se obvia el impacto de las soluciones constructivas ya existentes en el edificio, ya que es igual en todos los proyectos comparados. En este caso la fachada original está formada por una hoja exterior de medio pie de ladrillo hueco doble (LHD) revestida con mortero de cemento, cámara de aire sin ventilar, y trasdosado de tabicón de LHD de 7 cm de espesor revestido con guarnecido de pasta de yeso.

A estos tres tipos de proyecto de rehabilitación de fachada base se les introdujo otra variante: el tipo de aislamiento térmico empleado. De tal modo que se tuvieron en cuenta soluciones con aislamiento térmico de lana mineral (LM) y soluciones de aislamiento térmico con poliestireno expandido (EPS). Asimismo, para las carpinterías se consideraron distintos tipos de materiales: PVC, aluminio y madera. En todas ellas se incorporaron vidrios formados por una Unidad de Vidrio Aislante (UVA) de similares características para dar cumplimiento a las exigencias de limitación de la demanda energética (CTE DB-HE) y de aislamiento acústico (CTE DB-HR), con lo cual, aplicando la hipótesis de carga cero (Ekyall et al., 2007), el coste de estos elementos también se obvió en el cálculo. En total se analizaron dieciocho proyectos con soluciones constructivas alternativas en base a los siguientes parámetros: (i) tres tipos de rehabilitación energética de fachada (SATE, Ventilada, aislamiento por el interior), (ii) dos tipos de aislamiento (EPS, LM) y (iii) tres tipos de carpintería (PVC, aluminio, madera) (ver Figura 03). Todas las soluciones se evaluaron con la misma unidad funcional, de tal modo que se tuvo en cuenta en todas ellas soluciones de aislamiento térmico y carpinterías diseñados en base a los mínimos requisitos normativos (Gobierno de España, 2006) atendiendo a la limitación de la demanda energética en la zona climática del edificio, CTE DB-HE, (CTE, 2022), en este caso, zona climática B4. Además, las fachadas ventiladas de EPS contaron con una protección frente al fuego de aislamiento térmico para dar cumplimiento a la seguridad en caso de incendio en base al CTE DB-SI. Todas las soluciones de fachada cumplieron exigencias de protección frente a la humedad (CTE DB-HS) y de aislamiento acústico (CTE DB-HR).



Figura 03. Características constructivas de proyectos residenciales alternativos evaluados. Fuente: elaboración propia.

Posteriormente, se llevó a cabo la evaluación en la herramienta. Para ello, el alcance de la evaluación abarcó los siguientes aspectos, teniendo en cuenta la definición del ASCV aplicado a la fase de diseño de los edificios (Llatas et al., 2020):

1. La definición de elementos que se incluyeron en la evaluación. La evaluación del edificio se basó en el sistema envolvente, e incluyó las clases de los elementos IFC detallados en la Tabla 01.

Sistema envolvente	Clase IFC Building Element
Muros	IfcWall
Ventanas	IfcWindow
Puertas	IfcDoor
Cubierta	IfcRoof

Tabla 01. Elementos del edificio incluidos en la evaluación. Fuente: elaboración propia.

2. La definición de las fases del ciclo de vida del edificio que se incluyeron en la evaluación. La evaluación se basó en las fases y módulos de información de la Norma ISO 21931-1 (ISO, 2022), mostrados en la Tabla 02.

Módulos de información para la evaluación de la Sostenibilidad de los Edificios																		
		A0	A1 A3	A4	A5	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	C1	C2	C3	C4	D
Ambiental ACV	I		X		X		X	X	X					X				
	0																	
Económico ACV	I		X		X		X	X	X					X				
	0																	
Ambiental ACV	I				X		X	X	X					X				
	0																	

A0: Terreno y tasas/asesoramiento asociados; A1: Suministro de materias primas; A2: Transporte y todo el proceso anterior desde la cuna hasta la puerta; A3: Fabricación de productos; A4: Transporte hasta el emplazamiento; A5: Construcción del edificio; B1: Uso; B2: Mantenimiento; B3: Reparación; B4: Sustitución; B5: Rehabilitación; B6 a B8: Uso de recursos energéticos, uso de recursos materiales, uso de agua y actividades de los usuarios de edificios no cubiertas en B1-B7; C1: Deconstrucción/Demolición; C2: Tratamiento de residuos de transporte o eliminación; C3: Tratamiento de residuos; C4: Eliminación; D: Beneficios netos potenciales de la reutilización, el reciclado y/o la recuperación de energía, más allá de los límites del sistema. Fuente: ISO 21931-1 (ISO, 2022).

Tabla 02. Módulos de información incluidos en base a la norma ISO 21931-1 (ISO, 2022). Fuente: elaboración propia.

Bajo estas premisas se llevó a cabo la evaluación de cada proyecto en el *software* desarrollado (ver Figura 4). Este *software* es un *plug-in* cien por cien automatizado en el propio *software* BIM (Revit) (Autodesk, 2021), con lo cual facilita su aplicación en fases tempranas del proyecto para la toma de decisiones. El *software* incluye una biblioteca de BIM-objects, en base a la cual el técnico proyectista selecciona las soluciones constructivas a incorporar en el proyecto (materiales, técnicas constructivas). Una de las ventajas es que el modelo BIM no necesita un alto nivel de desarrollo, con un LOD 200-300 es suficiente. La herramienta automáticamente cuantifica los impactos totales y por elementos constructivos, incluyendo una categoría de impacto por dimensión (ambiental, social, económica). Para cada uno de los dieciocho proyectos residenciales se obtuvo el impacto, visualizándose mediante gráficos en la pantalla del proyecto, su coste ambiental (gráficos en verde), coste económico (gráficos en azul) y coste social (gráficos en naranja), en cada uno de los módulos del ciclo de vida, pudiéndose elaborar un *ranking* de los proyectos evaluados de menor a mayor coste. La tabla 03 resume estos impactos, para las soluciones constructivas más características evaluadas.

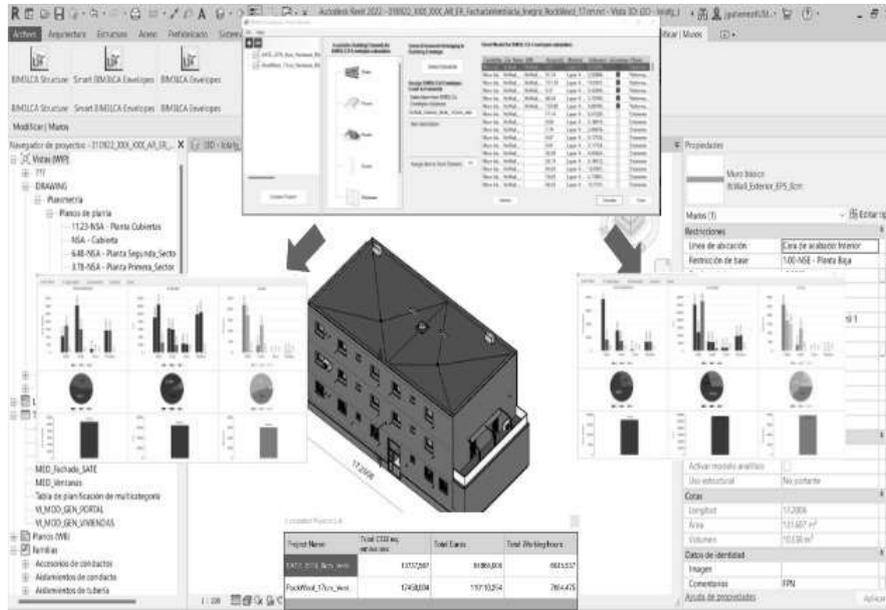


Figura 3. Características constructivas de proyectos residenciales alternativos evaluados. Fuente: elaboración propia.

Solución constructiva	Impacto ambiental kg. CO2 eq.	Impacto económico €	Impacto social h de trabajo
SATE, EPS	6.61	56.48	9.45
SATE, LM	9.99	56.10	9.45
Ventilada, EPS	21.76	186.83	13.95
Ventilada, LM	22.12	175.16	13.69
Aisl. Interior, EPS	7.90	117.59	11.08
Aisl. Interior, LM	10.79	117.27	11.08
Carpintería de madera	13.35	106.24	9.84
Carpintería de aluminio	14.08	140.24	9.82
Carpintería de PVC	15.58	157.07	9.83

Tabla 03. Impactos incorporados (módulos A1-A3, A5, B2-B4, C1) obtenidos en cada tipo de solución constructiva por m2 de edificio. Lana Mineral (LM), Poliestireno expandido (EPS). Fuente: elaboración propia.

De todo ello se desprende la responsabilidad de los técnicos proyectistas en la reducción de los impactos y costes generados a lo largo del ciclo de vida de los edificios, y de la Administración en la selección de proyectos de menor coste e impacto. En los proyectos evaluados, entre la solución de menor coste (Fachada SATE, EPS, carpintería de madera) y la solución de mayor coste (Fachada ventilada, EPS, carpintería de PVC) existe una reducción de emisiones del 47% (18 kg CO<sub>2</sub> eq. /m<sup>2</sup>) y una reducción del coste económico de 51% (169 €/m<sup>2</sup>). En cuanto a la mano de obra, este es un indicador que la literatura científica, dependiendo de cómo se le asocie con otros datos (Benoit y Mazijn, 2020), lo considera beneficioso para el contexto local si lo que se mide es la mano de obra local que asume una tarea. Sin embargo, otros estudios lo consideran menos beneficioso si el número de horas empleadas en una tarea es muy elevado (Dong y Ng, 2016), ya que puede significar una menor calidad en la construcción requiriendo un tiempo extra debido a errores en la ejecución, por ejemplo, o incluso puede suponer un mayor riesgo en la seguridad laboral de los trabajadores o su explotación laboral. En el caso de estudio, la solución considerada óptima ambiental y económicamente hubiera supuesto un 18% menos de número de horas (4 h/m<sup>2</sup>) frente a la peor solución desde el punto de vista ambiental y económico. No obstante, estas variables deben ser tenidas en cuenta junto con otras exigencias del proyecto. Por ejemplo, en el caso de edificios con fachadas protegidas en los que la rehabilitación de la fachada por el exterior sea inviable, o las mejores condiciones de ventilación lograda por la fachada ventilada con respecto a una fachada no ventilada.

#### 4. CONCLUSIONES

Con todo ello se concluye la importancia de implementar herramientas digitales que sirvan de apoyo a la compra y contratación de los edificios más sostenibles licitados en contrataciones de Obra Pública. Los pliegos resultan un instrumento útil para incluir cláusulas que tengan en cuenta indicadores ambientales, económicos y sociales en todas las fases del ciclo de vida de los edificios. Asimismo, se constata la necesidad de un plan de formación integral de todos los agentes intervinientes en el sector de la construcción en la metodología BIM. Todo ello contribuirá a una mayor digitalización, descarbonización y circularidad de los edificios construidos en el ámbito de la Administración Pública. Estas iniciativas podrán ser un referente en el ámbito de las promociones privadas, impulsando la transición hacia un sector AEEO (Arquitectura, Ingeniería, Construcción y Operación) más sostenible en los próximos años.

## 5. REFERENCIAS

Agencia Internacional de la Energía. (2019). *Global Status Report for Buildings and Construction 2019*. <https://www.iea.org/reports/global-status-report-for-buildings-and-construction-2019>

Autodesk. (2021). *Revit: BIM software for designers, builders, and doers*. <https://www.autodesk.com/products/revit/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>

AVRA – Agencia de Vivienda y Rehabilitación de Andalucía. (2020). *AVRA*. <https://www.juntadeandalucia.es/avra/opencms/areas/rehabilitacion-alquiler/noticias/2020/20200606-reha.html>

Barbini, A., Malacarne, G., Romagnoli, K., Massari, G. A. y Matt, D. T. (2020). Integration of life cycle data in a BIM object library to support green and digital public procurements. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 15(7), 983-990. <https://doi.org/10.18280/IJSDP.150702>

Benoît, C. y Mazijn, B. (Eds.) (2020). *UNEP. Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products and Organizations*. <https://www.unep.org/resources/report/guidelines-social-life-cycle-assessment-products>

Comisión Europea (2010). *Estrategia Europa 2020: la estrategia de la Unión Europea para el crecimiento y la ocupación*. <https://eur-lex.europa.eu/ES/legal-content/summary/europe-2020-the-european-union-strategy-for-growth-and-employment.html>

Comisión Europea (2011). *COM(2011) 571 Final. Hoja de ruta hacia una Europa eficiente en el uso de los recursos*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX%3A52011DC0571>

Comisión Europea (2019). *Un Pacto Verde Europeo*. [https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal\\_es](https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_es)

Comisión Europea (2020). *Plan de Acción de Economía Circular*. [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/es/ip\\_20\\_420](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/es/ip_20_420)

Comisión Europea (s.f.). *Level(s)*. [https://ec.europa.eu/environment/topics/circular-economy/levels\\_en](https://ec.europa.eu/environment/topics/circular-economy/levels_en)

DGNB (2019). *Certificate for Sustainable and Green Building; DGNB GmbH: Stuttgart, Germany*. <https://blog.dgnb.de/en/dgnb-2019-projects-of-the-year/>

Dong, Y. H. y Ng, S. T. (2016). A Modeling Framework to Evaluate Sustainability of Building Construction Based on LCSA. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 21, 555–568. <https://doi:10.1007/s11367-016-1044-6>

Ekvall, T., Assefa, G., Björklund, A., Eriksson, O. y Finnveden, G. (2007). What life-cycle assessment does and does not do in assessments of waste management. *Waste Management*, 27(8), 989-996. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2007.02.015>

European Committee for Standardization (2021). *Building Information Modelling - Level of Information Need - Part 1: Concepts and principles* (EN 17412-1:2021).

Green Building Council España – GBCE (s.f.). *Herramienta VERDE*. <http://www.gbce.es/pagina/certificacion-verde>

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático – IPCC (2013). *Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report, Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>

Organización Internacional de Normalización (2006a). *Environmental management — Life Cycle Assessment – Principles and Framework* (ISO 14040:2006). <https://www.iso.org/standard/37456.html>

Organización Internacional de Normalización (2006b). *Environmental management — Life cycle assessment – Requirements and guidelines* (ISO 14044:2006). <https://www.iso.org/standard/38498.html>

Organización Internacional de Normalización (2022). *Sustainability in building construction – Framework for methods of assessment of the environmental, economic and social performance of construction works – Part 1: Buildings* (ISO 21931-1:2022). <https://www.iso.org/standard/71183.html>

Junta de Andalucía (2018). *La Agenda Urbana de Andalucía 2030*. <https://www.juntadeandalucia.es/organismos/fomentoarticulaciondelterritorioyvivienda/areas/urbanismo/sostenibilidad/paginas/agenda-urbana-pagina.html>

Junta de Andalucía (2019). *Plan Vive en Andalucía, de vivienda, rehabilitación y regeneración urbana de Andalucía 2020-2030*. <https://www.juntadeandalucia.es/organismos/fomentoarticulaciondelterritorioyvivienda/areas/vivienda-rehabilitacion/planes-instrumentos/paginas/plan-vive-principal.html>

Junta de Andalucía (2020). *Orden de 15 de octubre de 2020, por la que se realiza la convocatoria para 2020 para la concesión de subvenciones, en régimen de concurrencia competitiva, destinadas a Universidades Públicas Andaluzas para el desarrollo de proyectos de investigación en las materias de vivienda, rehabilitación y arquitectura.* <https://www.juntadeandalucia.es/boja/2020/217/4>

Klöpffer, W. (2008). Life cycle sustainability assessment of products. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 13, 89-95. <https://doi.org/10.1065/lca2008.02.376>

Ley 3/2023, de 30 de marzo, de Economía Circular de Andalucía. <https://www.juntadeandalucia.es/boja/2023/67/1>

Ley 9/2017, de 8 de noviembre, de Contratos del Sector Público, por la que se transponen al ordenamiento jurídico español las Directivas del Parlamento Europeo y del Consejo 2014/23/UE y 2014/24/UE, de 26 de febrero de 2014.

Llatas, C., Montes, M. V., Cortés, I., Soust, B., Quiñones, R., Rojo, T., Espasandín, F. et al. (2017). *Elaboración de una herramienta unificada para la cuantificación y reducción del impacto ambiental, social y económico del ciclo de vida de los edificios en plataformas BIM* [Proyecto de Investigación, Universidad de Sevilla]. Ministerio de Economía y Competitividad. [https://investigacion.us.es/sisius/sis\\_proyecto.php?idproy=28472](https://investigacion.us.es/sisius/sis_proyecto.php?idproy=28472)

Llatas, C., Angulo, R., Bizcocho, N., Cortés, I., Falcón, R., Galeana, I., Garcia, A., Gómez, J. C., López, S., Meda, P., Mercado Martínez, J. M., Montes, M. V., Periañez Cristobal, R., Quiñones, R., Rojo, T., Rubio Bellido, C., Ruiz Alfonsea, M. y Soust-Verdaguer, B. (2019). Towards a Life Cycle Sustainability Assessment method for the quantification and reduction of impacts of buildings life cycle. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*, 323(1), 1-11. <https://doi.org/DOI:10.1088/1755-1315/323/1/012107>

Llatas, C., Soust-Verdaguer, B., y Passer, A. (2020). Implementing Life Cycle Sustainability Assessment during design stages in Building Information Modelling: From systematic literature review to a methodological approach. *Buiding and Environment*, 182, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107164>

Llatas, C., Montes, M. V., Cortés, I., Soust, B., Quiñones, R., Rojo, T., Espasandín, F. et al. (2021). *ODISEA. Optimización para el Diseño Inteligente y Sostenible de Edificios en Andalucía* [Proyecto de Investigación, Universidad de Sevilla]. Plan Andaluz de Investigación, Desarrollo e Innovación 2020. [https://investigacion.us.es/sisius/sis\\_proyecto.php?idproy=33572](https://investigacion.us.es/sisius/sis_proyecto.php?idproy=33572)

Llatas, C., Soust-Verdaguer, B., Hollberg, A., Palumbo, E., y Quiñones, R. (2022). BIM-based LCSA application in the early design stages using IFC. *Automation in Construction*, 138, 1-14. <https://doi.org/10.1016/J.AUTCON.2022.104259>

Meex, E., Hollberg, A., Knapen, E., Hildebrand, L., Verbeeck, G. (2018). Requirements for Applying LCA-Based Environmental Impact Assessment Tools in the Early Stages of Building Design. *Build. Environ.* 133, 228–236, doi:10.1016/j.buildenv.2018.02.016.

Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana (s.f.). *Código Técnico de la Edificación*. <https://www.codigotecnico.org/>

Mobiglia, M., Cellina, F. y Castri, R. (2019). *Sustainability Assessment in Architectural Competitions in Switzerland*. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 323(1), 012115. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/323/1/012115>

Naciones Unidas (2019). *The Sustainable Development Goals Report 2019*. <https://www.sdgindex.org/reports/sustainable-development-report-2019/>

Oficemen y Roland Berger (2021). *Compra pública sostenible en el sector de la construcción: Del concepto a la acción*. <https://www.oficemen.com/wp-content/uploads/2021/07/Compra-p%C3%BAblica-sostenible-en-el-sector-de-la-construcci%C3%B3n.pdf>

Parlamento Europeo (2014). *Directiva 2014/24/UE de 26 de febrero de 2014 sobre contratación pública y por la que se deroga la Directiva 2004/18/CE*. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=celex%3A32014L0024>

Somanath, S., Hollberg, A., Beemsterboer, S. y Wallbaum, H. (2020). *The relation between social life cycle assessment and green building certification systems*. 7th Social LCA Conference. Copenhagen, Suecia. <https://www.fruitrop.com/en/media/Publications/Fruitrop-Thema/Social-LCA-volume-5-7th-SocSem#book>

Soust-Verdaguer, B., Bernardino, I., Llatas, C., Montes, M. V., Hoxha, E. y Passer, A. (2021). How to conduct consistent environmental, economic, and social assessment during the building design process. A BIM-based Life Cycle Sustainability Assessment method. *Journal of Building Engineering*, 45, 1-13. <https://doi.org/10.1016/J.JOBE.2021.103516>

Tschetwertak, J., Schneider, S., Hollberg, A., Donath, D. y Ruth, J. (2017). *A Matter of Sequence: Investigating the Impact of the Order of Design Decisions in Multi-Stage Design Processes*. 17Th Conference of CAAD Futures: Future Trajectories of Computations in Design. Estambul, Turquía. [http://papers.cumincad.org/data/works/att/cf2017\\_415.pdf](http://papers.cumincad.org/data/works/att/cf2017_415.pdf)

Universidad de Sevilla (2022a). *Base de datos BIM-TBL: Building Information Modelling - Triple Bottom Line Sustainability Assessment database* [Proyecto de Investigación, Universidad de Sevilla].

Universidad de Sevilla (2022b). *BIM3LCA Envelope: herramienta unificada para la cuantificación y Reducción del Impacto Ambiental, Social y Económico del Ciclo de Vida de los Edificios debida a elementos constituyentes a la Envolvente de edificios* [Proyecto de Investigación, Universidad de Sevilla].

World Green Building Council (2015). *The Business Case for Green Building*. <https://www.usgbc.org/articles/business-case-green-building?elqTrackId=-48428afea0ac4595a4d199e23a4d808a&elqaid=54&elqat=2>

Zabalza Bribián, I., Aranda Usón, A. y Scarpellini, S. (2009). Life cycle assessment in buildings: State-of-the-art and simplified LCA methodology as a complement for building certification. *Building and Environment*, 44(12), 2510-2520. <https://doi.org/10.1016/j.Buildenv.2009.05.001>