



Aproximación a la evaluación de la sostenibilidad mediante BIM en los procedimientos de licitación de la Administración Pública Andaluza

Carmen Llatas ⁽¹⁾, Bernardette Soust-Verdaguer ⁽²⁾, María Victoria Montes ⁽³⁾,

Isidro Cortés ⁽⁴⁾, Rocío Quiñones ⁽⁵⁾, Dolores Fernández ^{(6) (1)} Universidad de Sevilla. cllatas@us.es. ⁽²⁾ Universidad de Sevilla. bsoust@us.es. ⁽³⁾ Universidad de Sevilla. toya@us.es. ⁽⁴⁾ Universidad de Sevilla. icortés@us.es. ⁽⁵⁾ Universidad de Sevilla. mquinones@us.es. ⁽⁶⁾ Universidad de Sevilla. lolafernandezgalvez@hotmail.com

ABSTRACT

Uno de los retos en los próximos años es alcanzar la descarbonización de la economía en 2050. Además, la digitalización del sector de la construcción fomenta el uso de tecnologías como el Building Information Modelling (BIM), siendo el Análisis de la Sostenibilidad de Ciclo de Vida (ASCV), uno de los métodos más consistentes para la evaluación de la sostenibilidad. Sin embargo, su implementación en el sector de la construcción es aún limitada. Es por ello que este estudio pretende integrar el ASCV y el BIM en la Administración Pública, a través de sus procedimientos de licitación, con el fin de seleccionar los proyectos con las soluciones constructivas óptimas. Se presenta como prueba de concepto el modelo de implementación llevado a cabo en el procedimiento de licitación de un proyecto real de rehabilitación de viviendas. La intervención de menor coste ambiental, social y económico fue identificada, contribuyéndose en la promoción pública de edificios sostenibles.

Palabras claves: Building Information Modelling (BIM), Análisis de la Sostenibilidad de Ciclo de Vida (ASCV), informe de sostenibilidad, licitación de obra pública, rehabilitación energética de viviendas

1. INTRODUCCIÓN

La sociedad andaluza a través de su Agenda Urbana de 2030 [1] 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 [2] 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 nueva Ley de Contratos del Sector Público [3], 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 Modelling) obligatorio en las licitaciones públicas en España desde 2018 [4]. Sin duda, el uso 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. 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.

En el Grupo de Investigación TEP-986, Digital Architecture for Sustainability Lab (DATUS-Lab) de la Universidad de Sevilla [5], hemos llevado a cabo estudios en materia de Análisis de Ciclo de Vida (ACV) [6-7] y su integración en BIM [8]. Fruto de ello, hemos desarrollado una herramienta novedosa de Análisis de la Sostenibilidad del Ciclo de Vida (ASCV) integrado en BIM [9-12], para la evaluación de la sostenibilidad de edificios, desde su triple dimensión, ambiental, social y económica. Esta herramienta incorpora metodologías previas desarrolladas por el equipo: estudios en materia de ACV-Ambiental aplicado a edificios, en materia de ACV-Social, en materia de ACV-Económico, y en la implantación del ACV en BIM. Sin embargo, resulta necesario su aplicación directa a proyectos reales de edificación para

su implementación real, con el fin de que se pueda beneficiar un mayor número de agentes sociales y económicos.

Es por ello que este estudio aproxima la implementación de este tipo de herramientas en las licitaciones de gestión de Obra Pública de Viviendas con el objetivo de asesorar a la Administración Pública en la selección de los proyectos más sostenibles. Con este fin se llevó a cabo un proyecto de investigación [13] en el que se adaptaron las herramientas para simular la sostenibilidad de proyectos alternativos en la rehabilitación de un edificio de viviendas colectiva licitado por la Agencia de Vivienda y Rehabilitación de Andalucía (AVRA) [14]. La hipótesis de partida fue: ¿es posible identificar soluciones óptimas de menor impacto durante su ciclo de vida en proyectos licitados en Obra Pública con las herramientas llevadas a cabo? Esta comunicación esboza el método planteado y presenta algunos de los principales resultados.

2. METODOLOGÍA

La Figura 1 esquematiza el modelo de implementación ideado, en el que en un primer lugar se seleccionó un edificio de vivienda colectiva cuya rehabilitación energética fue licitada por una Administración Pública. Posteriormente se llevaron a cabo proyectos de intervención alternativos, en los que se tuvieron en cuenta estrategias de rehabilitación energética alternativas. Seguidamente se obtuvieron los Informes de sostenibilidad en cada uno de ellos a partir de la adaptación y aplicación de las herramientas. Finalmente, una vez obtenidos el coste de la sostenibilidad del ciclo de vida de cada proyecto, pudieron identificarse aquellas intervenciones de menor impacto. El estudio también involucró a agentes socio-económicos, a los que se realizaron encuestas para valorar la utilidad y viabilidad de la implementación de estas herramientas en su práctica profesional.

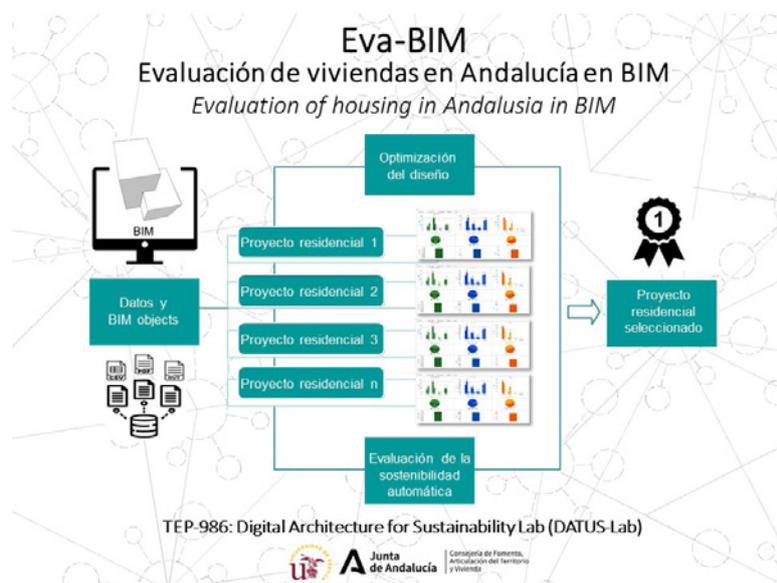


Figura 1. Aproximación al modelo de implementación (Fuente: Elaboración propia)

2.1. Caso de estudio

La Figura 2 muestra el caso de estudio. Se trata de un proyecto de rehabilitación energética de un edificio de 36 Viviendas de Promoción Pública (VPP) de 2686 m², ubicado en el núcleo Guadalquivir, de la localidad de Camas, en Sevilla, promovido por la Agencia de Vivienda y Rehabilitación de Andalucía (AVRA). El proyecto se suministró modelado en el software Revit [15].

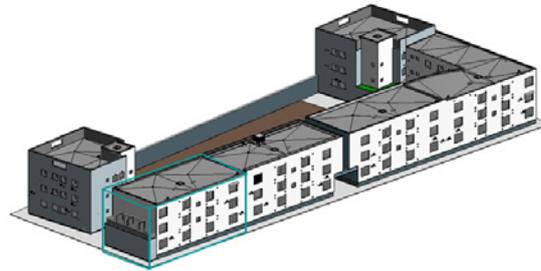


Figura 2. Captura de imagen del modelo BIM del caso de estudio (Fuente: Elaboración propia)

2.2. Proyectos alternativos evaluados

A partir del proyecto origen, se plantearon proyectos alternativos con diferentes soluciones de rehabilitación energética, en los que se diferenciaron tres tipos de proyectos base según las estrategias empleadas:

- Proyectos de rehabilitación energética tipo 1: Rehabilitación energética por el exterior mediante SATE (Sistema de aislamiento térmico por el exterior).
- Proyectos de rehabilitación energética tipo 2: Rehabilitación energética por el exterior mediante fachada ventilada.
- Proyectos de rehabilitación energética tipo 3: Rehabilitación energética por el interior.

La Tabla 1 esquematiza las tres soluciones constructivas de intervención en la fachada original.

Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3																																																																																						
<table border="1"> <tr><th colspan="2">Capas</th></tr> <tr><td>1-</td><td>Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco 1000 x d + d + 1250 x 1,50 cm</td></tr> <tr><td>2-</td><td>EPS Poliestireno Expandido (1.025 W/m²K) 4,00 cm</td></tr> <tr><td>3-</td><td>Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco 1000 x d + d + 1250 x 1,50 cm</td></tr> <tr><td>4-</td><td>10 pe IP métrico o catáfor 40 mm x G + 40 mm 11,50 cm</td></tr> <tr><td>5-</td><td>Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco 1000 x d + d + 1250 x 1,50 cm</td></tr> <tr><td>6-</td><td>PUH Proyección con Hidrocarburo HFC (1.025 W/m²K) 2,00 cm</td></tr> <tr><td>7-</td><td>Tablón de L4 doble (30 mm x E + 40 mm) 7,00 cm</td></tr> <tr><td>8-</td><td>Mortero de yeso 1,50 cm</td></tr> <tr><td colspan="2">Espesor total: 35,50 cm</td></tr> <tr><th colspan="2">Caracterización térmica</th></tr> <tr><td colspan="2">Transmitancia térmica (U): 0,30 W/(m²K)</td></tr> <tr><td colspan="2">Capacidad térmica: 5450,24 J/m²K</td></tr> </table> <p>Nuevos elementos: 1: revoco de mortero de cemento; 2: aislamiento térmico</p>	Capas		1-	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco 1000 x d + d + 1250 x 1,50 cm	2-	EPS Poliestireno Expandido (1.025 W/m ² K) 4,00 cm	3-	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco 1000 x d + d + 1250 x 1,50 cm	4-	10 pe IP métrico o catáfor 40 mm x G + 40 mm 11,50 cm	5-	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco 1000 x d + d + 1250 x 1,50 cm	6-	PUH Proyección con Hidrocarburo HFC (1.025 W/m ² K) 2,00 cm	7-	Tablón de L4 doble (30 mm x E + 40 mm) 7,00 cm	8-	Mortero de yeso 1,50 cm	Espesor total: 35,50 cm		Caracterización térmica		Transmitancia térmica (U): 0,30 W/(m ² K)		Capacidad térmica: 5450,24 J/m ² K		<table border="1"> <tr><th colspan="2">Capas</th></tr> <tr><td>1-</td><td>Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco 1000 x d + d + 1250 x 1,50 cm</td></tr> <tr><td>2-</td><td>Placa de celulosa cemento 0,80 cm</td></tr> <tr><td>3-</td><td>Cámara de aire 0,00 cm</td></tr> <tr><td>4-</td><td>Placa de yeso laminado (P/L) 750 x d + d + 200 x 1,00 cm</td></tr> <tr><td>5-</td><td>EPS Poliestireno Expandido (1.025 W/m²K) 5,00 cm</td></tr> <tr><td>6-</td><td>Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco 1000 x d + d + 1250 x 1,50 cm</td></tr> <tr><td>7-</td><td>10 pe IP métrico o catáfor 40 mm x G + 40 mm 11,50 cm</td></tr> <tr><td>8-</td><td>Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco 1000 x d + d + 1250 x 1,50 cm</td></tr> <tr><td>9-</td><td>PUH Proyección con Hidrocarburo HFC (1.025 W/m²K) 2,00 cm</td></tr> <tr><td>10-</td><td>Tablón de L4 doble (30 mm x E + 40 mm) 7,00 cm</td></tr> <tr><td>11-</td><td>Mortero de yeso 1,50 cm</td></tr> <tr><td colspan="2">Espesor total: 39,30 cm</td></tr> <tr><th colspan="2">Caracterización térmica</th></tr> <tr><td colspan="2">Transmitancia térmica (U): 0,20 W/(m²K)</td></tr> <tr><td colspan="2">Capacidad térmica: 5470,07 J/m²K</td></tr> </table> <p>Nuevos elementos: 1: revoco de mortero de cemento; 2: placa de celulosa; 3: cámara de aire ventilada; 4: placa de yeso exterior; 5: aislamiento térmico</p>	Capas		1-	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco 1000 x d + d + 1250 x 1,50 cm	2-	Placa de celulosa cemento 0,80 cm	3-	Cámara de aire 0,00 cm	4-	Placa de yeso laminado (P/L) 750 x d + d + 200 x 1,00 cm	5-	EPS Poliestireno Expandido (1.025 W/m ² K) 5,00 cm	6-	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco 1000 x d + d + 1250 x 1,50 cm	7-	10 pe IP métrico o catáfor 40 mm x G + 40 mm 11,50 cm	8-	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco 1000 x d + d + 1250 x 1,50 cm	9-	PUH Proyección con Hidrocarburo HFC (1.025 W/m ² K) 2,00 cm	10-	Tablón de L4 doble (30 mm x E + 40 mm) 7,00 cm	11-	Mortero de yeso 1,50 cm	Espesor total: 39,30 cm		Caracterización térmica		Transmitancia térmica (U): 0,20 W/(m ² K)		Capacidad térmica: 5470,07 J/m ² K		<table border="1"> <tr><th colspan="2">Capas</th></tr> <tr><td>1-</td><td>Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco 1000 x d + d + 1250 x 1,50 cm</td></tr> <tr><td>2-</td><td>10 pe IP métrico o catáfor 40 mm x G + 40 mm 11,50 cm</td></tr> <tr><td>3-</td><td>Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco 1000 x d + d + 1250 x 1,50 cm</td></tr> <tr><td>4-</td><td>PUH Proyección con Hidrocarburo HFC (1.025 W/m²K) 2,00 cm</td></tr> <tr><td>5-</td><td>Tablón de L4 doble (30 mm x E + 40 mm) 7,00 cm</td></tr> <tr><td>6-</td><td>Mortero de yeso 1,50 cm</td></tr> <tr><td>7-</td><td>EPS Poliestireno Expandido (1.025 W/m²K) 4,00 cm</td></tr> <tr><td>8-</td><td>Placa de yeso laminado (P/L) 750 x d + d + 200 x 1,00 cm</td></tr> <tr><td>9-</td><td>Mortero de yeso 1,50 cm</td></tr> <tr><td colspan="2">Espesor total: 35,00 cm</td></tr> <tr><th colspan="2">Caracterización térmica</th></tr> <tr><td colspan="2">Transmitancia térmica (U): 0,35 W/(m²K)</td></tr> <tr><td colspan="2">Capacidad térmica: 3236,00 J/m²K</td></tr> </table> <p>Nuevos elementos: 7: aislamiento térmico; 8: estructura auxiliar; 9: placa de yeso laminado con acabado de pintura.</p>	Capas		1-	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco 1000 x d + d + 1250 x 1,50 cm	2-	10 pe IP métrico o catáfor 40 mm x G + 40 mm 11,50 cm	3-	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco 1000 x d + d + 1250 x 1,50 cm	4-	PUH Proyección con Hidrocarburo HFC (1.025 W/m ² K) 2,00 cm	5-	Tablón de L4 doble (30 mm x E + 40 mm) 7,00 cm	6-	Mortero de yeso 1,50 cm	7-	EPS Poliestireno Expandido (1.025 W/m ² K) 4,00 cm	8-	Placa de yeso laminado (P/L) 750 x d + d + 200 x 1,00 cm	9-	Mortero de yeso 1,50 cm	Espesor total: 35,00 cm		Caracterización térmica		Transmitancia térmica (U): 0,35 W/(m ² K)		Capacidad térmica: 3236,00 J/m ² K	
Capas																																																																																								
1-	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco 1000 x d + d + 1250 x 1,50 cm																																																																																							
2-	EPS Poliestireno Expandido (1.025 W/m ² K) 4,00 cm																																																																																							
3-	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco 1000 x d + d + 1250 x 1,50 cm																																																																																							
4-	10 pe IP métrico o catáfor 40 mm x G + 40 mm 11,50 cm																																																																																							
5-	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco 1000 x d + d + 1250 x 1,50 cm																																																																																							
6-	PUH Proyección con Hidrocarburo HFC (1.025 W/m ² K) 2,00 cm																																																																																							
7-	Tablón de L4 doble (30 mm x E + 40 mm) 7,00 cm																																																																																							
8-	Mortero de yeso 1,50 cm																																																																																							
Espesor total: 35,50 cm																																																																																								
Caracterización térmica																																																																																								
Transmitancia térmica (U): 0,30 W/(m ² K)																																																																																								
Capacidad térmica: 5450,24 J/m ² K																																																																																								
Capas																																																																																								
1-	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco 1000 x d + d + 1250 x 1,50 cm																																																																																							
2-	Placa de celulosa cemento 0,80 cm																																																																																							
3-	Cámara de aire 0,00 cm																																																																																							
4-	Placa de yeso laminado (P/L) 750 x d + d + 200 x 1,00 cm																																																																																							
5-	EPS Poliestireno Expandido (1.025 W/m ² K) 5,00 cm																																																																																							
6-	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco 1000 x d + d + 1250 x 1,50 cm																																																																																							
7-	10 pe IP métrico o catáfor 40 mm x G + 40 mm 11,50 cm																																																																																							
8-	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco 1000 x d + d + 1250 x 1,50 cm																																																																																							
9-	PUH Proyección con Hidrocarburo HFC (1.025 W/m ² K) 2,00 cm																																																																																							
10-	Tablón de L4 doble (30 mm x E + 40 mm) 7,00 cm																																																																																							
11-	Mortero de yeso 1,50 cm																																																																																							
Espesor total: 39,30 cm																																																																																								
Caracterización térmica																																																																																								
Transmitancia térmica (U): 0,20 W/(m ² K)																																																																																								
Capacidad térmica: 5470,07 J/m ² K																																																																																								
Capas																																																																																								
1-	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco 1000 x d + d + 1250 x 1,50 cm																																																																																							
2-	10 pe IP métrico o catáfor 40 mm x G + 40 mm 11,50 cm																																																																																							
3-	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco 1000 x d + d + 1250 x 1,50 cm																																																																																							
4-	PUH Proyección con Hidrocarburo HFC (1.025 W/m ² K) 2,00 cm																																																																																							
5-	Tablón de L4 doble (30 mm x E + 40 mm) 7,00 cm																																																																																							
6-	Mortero de yeso 1,50 cm																																																																																							
7-	EPS Poliestireno Expandido (1.025 W/m ² K) 4,00 cm																																																																																							
8-	Placa de yeso laminado (P/L) 750 x d + d + 200 x 1,00 cm																																																																																							
9-	Mortero de yeso 1,50 cm																																																																																							
Espesor total: 35,00 cm																																																																																								
Caracterización térmica																																																																																								
Transmitancia térmica (U): 0,35 W/(m ² K)																																																																																								
Capacidad térmica: 3236,00 J/m ² K																																																																																								

Tabla 1. Soluciones tipo de rehabilitación energética de fachadas (Fuente: Elaboración propia)



Para comparar las soluciones constructivas alternativas se aplicó la hipótesis de carga cero [16], mediante la cual solo se tienen en cuenta en el ACV de una rehabilitación el impacto de los nuevos elementos incorporados. Estos se han indicado en la Tabla 1 para cada tipo de fachada evaluada. 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. 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) [17], con lo cual aplicando la hipótesis de carga cero [16], estos también se obviaron del 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, (ii) dos tipos de aislamiento y (iii) tres tipos de carpintería. Todas las soluciones se calcularon 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 [17] atendiendo a la limitación de la demanda energética en la zona climática del edificio (CTE DB-HE). En el caso de estudio se trata de una 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 [17]. Todas las soluciones de fachada cumplieron exigencias de protección frente a la humedad (CTE DB-HS) y de aislamiento acústico (CTE DB-HR).

2.3. Adaptación y aplicación de las herramientas

A continuación, se adaptaron las herramientas al caso de estudio. Para ello, por un lado, se enriqueció la Base de Datos, y por otro lado se desarrolló un software de evaluación de envolventes de edificios. La base de datos es una base de datos de titularidad de la Universidad de Sevilla [18], cuya principal novedad es que su estructura está integrada en el flujo de trabajo del BIM. Además, la base de datos proporciona datos ambientales, económicos y sociales, según las fases de ciclo de vida y módulos de información del edificio descritos en la norma ISO 21931-1:2022 [19]. Los módulos de información que se incluyen en este estudio son los siguientes: A1: Suministro de materias primas, A2: Transporte de materias primas a la fábrica, A3: Fabricación de materiales y productos, A5: Construcción, B2: Mantenimiento, B3: Reparación, B4: Sustitución, y C1: Demolición / deconstrucción.

El software de envolventes [20] se desarrolló a partir de nuestra experiencia previa en la integración del ASCV en BIM [9-12]. Este software es un plug-in cien por cien automatizado en el propio software BIM (Revit) [15], 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). La herramienta automáticamente cuantifica los impactos, incluyendo una categoría de impacto por dimensión (ambiental, social, económica). La dimensión ambiental considera la categoría de impacto ambiental Potencial de Calentamiento Global (GWP), mediante la cuantificación del indicador de emisiones de CO₂ equivalente en kg. La dimensión económica tiene en cuenta el coste económico en euros (€) del ciclo de vida del edificio. La dimensión social incluye la categoría de empleo, mediante la cuantificación de las horas de trabajo (h) de los trabajadores en cada fase del ciclo de vida del edificio. La Figura 3 muestra una captura de pantalla de la interfaz del usuario del software desarrollado.

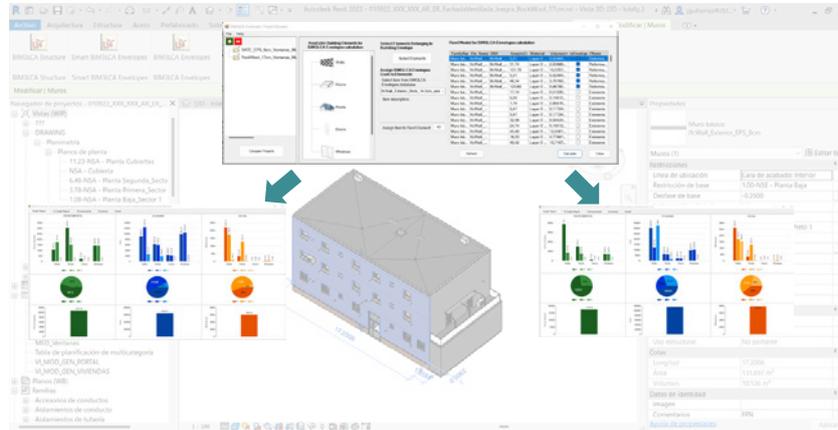


Figura 3. Captura de pantalla del software BIM3LCAEnvelope (Fuente: Elaboración propia)

Una vez adaptadas estas herramientas al caso de estudio, se procedió a su aplicación en los proyectos alternativos.

2.4. Realización de encuestas

El estudio se completó con la realización de encuestas a agentes socio-económicos del sector de la construcción [21], tales como técnicos proyectistas, responsables políticos y constructores. Estas encuestas se llevaron a cabo en el último cuatrimestre de 2022 e incluyeron preguntas estructuradas en tres bloques: (i) el primer bloque sobre datos identificativos de las personas encuestadas (perfil, formación, nivel de conocimiento de BIM) y de las empresas participantes; (ii) el segundo bloque sobre las características de las licitaciones públicas de viviendas mediante procedimientos BIM en las que los encuestados hubieran participado; (iii) el tercer bloque sobre los indicadores (económicos, ambientales, sociales) evaluados en los procesos de adjudicación de dichas licitaciones; (iv) el cuarto y último bloque sobre la percepción de los encuestados de las herramientas de evaluación de la sostenibilidad integradas en BIM propuestas por el equipo de investigación. Complementariamente, se llevaron a cabo jornadas en las que se mostraron dichas herramientas a cada grupo de interés y durante el desarrollo de estas se realizaron las encuestas a los asistentes.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las herramientas obtuvieron los impactos incorporados por soluciones constructivas en los siguientes módulos del ciclo de vida: A1: Suministro de materias primas, A2: Transporte, A3: Fabricación, A5: Construcción, B2: Mantenimiento, B3: Reparación, B4: Sustitución, y C1: Demolición/deconstrucción [19].

Solución constructiva	Impacto ambiental kg. CO ₂ 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

Tabla 2. Impactos incorporados obtenidos en cada tipo de fachada por m² de edificio y aislamiento térmico: Lana Mineral (LM), Poliéstireno expandido (EPS) (Fuente: Elaboración propia)



La Tabla 2 resume los impactos obtenidos para el total de las fases del ciclo de vida incluidas en cada una de las soluciones constructivas aplicadas en cada proyecto (tipo de fachada y aislamiento térmico). Por su parte, la Tabla 3 resume los impactos obtenidos para el total de las fases del ciclo de vida incluidas en cada uno de los tipos de carpintería aplicados en cada proyecto.

Solución constructiva	Impacto ambiental kg. CO ₂ eq.	Impacto económico €	Impacto social h de trabajo
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 3. Impactos incorporados obtenidos en cada tipo de carpintería por m² de edificio
(Fuente: Elaboración propia)

Las herramientas permitieron obtener sin esfuerzo el coste del ciclo de vida de cada proyecto de forma automatizada, simulado en un procedimiento de licitación de Obra Pública, dando respuesta a la hipótesis de partida. La mayor parte del tiempo consumido se destinó a la elaboración de la base de datos y al desarrollo del software de evaluación. El modelo BIM del edificio necesitó un nivel de desarrollo LOD 200/300 para viabilizar la aplicación de las herramientas. Una vez obtenido este modelo, las herramientas posibilitaron al usuario aplicar soluciones constructivas alternativas y obtener impactos dentro del propio software, de forma automatizada, sincronizada y en tiempo real, sin necesidad de ser un experto en BIM.

Más aún, las herramientas permitieron obtener las soluciones óptimas. Por ejemplo, en el caso de las fachadas, la solución con menor coste ambiental, social y económico fue la solución de SATE con EPS como muestra la Tabla 2. Y en el caso de las carpinterías, las soluciones de menor impacto detectadas fueron las carpinterías de madera como muestra la Tabla 3. Este último resultado está en línea con los de otros estudios [22].

De todo ello se desprende la responsabilidad de los técnicos proyectistas, en la reducción de costes del ciclo de vida de los edificios a la hora de seleccionar soluciones constructivas tanto materiales como tecnologías constructivas. 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 CO₂ eq./m²) y una reducción del coste económico de 51% (169 €/m²). En cuanto a la mano de obra, este es un indicador que la literatura científica, dependiendo de cómo se le asocie con otros datos [23], lo considera beneficioso para el contexto local si lo que se mide es la mano de obra local que insume una tarea. Sin embargo, otros estudios lo consideran menos beneficioso si el número de horas empleadas en una tarea es muy elevado [24], 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 mejor solución considerada desde el punto de vista ambiental y económico hubiera supuesto un 18% menos de número de horas (4 h/m²) frente a la peor solución. 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.

Finalmente, las encuestas detectaron interés por la implementación de estas herramientas, principalmente entre los diseñadores. Las empresas constructoras mostraron disparidad en la implementación del BIM, evidenciándose la falta de recursos de la pequeña y mediana empresa (PYME) constructora frente a la posición más favorable de las grandes empresas constructoras, más digitalizadas y con una plantilla formada en las nuevas tecnologías; pese a todo, en el conjunto del sector de la construcción el desarrollo del BIM se percibe aún escaso. Por su parte la Administración Pública, si bien muestra mucho interés por mejorar los procesos de licitación de viviendas incorporando nuevos indicadores de



evaluación de proyectos a lo largo de su ciclo de vida que enriquezcan el indicador del coste económico de las obras, adolece de personal con formación en BIM, lo cual dificulta la implementación real de herramientas como las propuestas en la presente investigación.

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, económicas 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 AECO (Arquitectura, Ingeniería, Construcción y Operación) más sostenible en los próximos años.

Financiación.

Esta comunicación ha sido financiada por la Consejería de Fomento, Articulación del Territorio y Vivienda de la Junta de Andalucía que apoyó el proyecto US.20-03. Eva-BIM. Evaluación de Viviendas en Andalucía con BIM; por la Junta de Andalucía y por FEDER una forma de hacer Europa que apoyó el proyecto P20_00541. ODISEA- Optimización para el Diseño Inteligente y Sostenible de Edificios en Andalucía y por el Ministerio de Ciencia e Innovación del Gobierno de España que apoyó el proyecto TED2021-129542B-I00. BIM-Zen. Ayuda al diseño inteligente en BIM para envolventes de edificios con emisiones netas de carbono incorporado cero en España.

Agradecimientos.

Los autores agradecen a la Agencia de Vivienda y Rehabilitación de Andalucía (AVRA) su colaboración y a todos los participantes (técnicos proyectistas, diseñadores, responsables políticos y constructores) en las jornadas y realización de encuestas.

REFERENCIAS

- [1] Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía (2018). Acuerdo de 18 de septiembre de 2018, del Consejo de Gobierno, por el que se aprueba la Agenda Urbana de Andalucía. Boletín Oficial de la Junta de Andalucía, nº185. España.
- [2] Consejería de Fomento, Infraestructuras y Ordenación del Territorio de la Junta de Andalucía (2019). Acuerdo de 14 de mayo de 2019, del Consejo de Gobierno, por el que se aprueba la formulación del Plan Vive en Andalucía 2020-2030. Boletín Oficial de la Junta de Andalucía, nº94. España
- [3] Cortes Generales (2017). Ley 9/2017, de 8 de noviembre, de Contratos del Sector Público. Boletín Oficial del Estado, nº272. España.
- [4] Parlamento Europeo (2014). Directiva 2014/24/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 26 de febrero de 2014, sobre contratación pública. Diario Oficial de la Unión Europea, nº94. Unión Europea.
- [5] DATUS-Lab: Digital Architecture for Sustainability Lab (TEP-986) [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/lab/DATUS-Lab-Digital-Architecture-for-Sustainability-Lab-TEP-986-Carmen-Llatas>.
- [6] ISO (2006). ISO 14040:2006 Environmental management – Life Cycle Assessment –Principles and Framework. International Organization for Standardization (ISO).
- [7] ISO (2006). ISO 14044:2006 Environmental management – Life Cycle Assessment –Requirements and Guidelines. International Organization for Standardization (ISO).
- [8] Sistema de Información sobre Investigación de la Universidad de Sevilla (SISIUS) [Online]. Available: https://investigacion.us.es/sisius/sis_showpub.php?idpers=5488.
- [9] 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. Ministerio de Economía y Competitividad del Gobierno de España. Plan Estatal 2018-2021, Retos - Proyectos I+D+i [Online]. Available: https://investigacion.us.es/sisius/sis_proyecto.php?idproy=28472.



- [10] C. Llatas, B. Soust, A. Passer, "Implementing Life Cycle Sustainability Assessment during design stages in Building Information Modelling: From systematic literature review to a methodological approach", *Building Environ.*, vol. 182, 107164, September 2020. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2020.107164>.
- [11] C. Llatas, B. Soust-Verdaguer, A. Hollberg, E. Palumbo, R. Quiñones, "BIM-based LCSA application in early design stages using IFC", *Autom. Constr.*, vol. 138, 104259, June 2022. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104259>.
- [12] B. Soust-Verdaguer, J.A. Gutiérrez Moreno, C. Llatas, "Utilization of an automatic tool for building material selection by integrating life cycle sustainability assessment in the early design stages in BIM", *Sustainability*, vol. 15 ⁽³⁾, 2274, January 2023. <https://doi.org/10.3390/su15032274>.
- [13] Eva-BIM. Evaluación de Viviendas en Andalucía con BIM (US.20-03). Consejería de Fomento, Articulación del Territorio y Vivienda de la Junta de Andalucía, 2020 [Online]. Available: https://investigacion.us.es/sisius/sis_proyecto.php?idproy=34066.
- [14] Agencia de Vivienda y Rehabilitación de Andalucía (AVRA) [Online]. Available: <https://www.juntadeandalucia.es/avra/>.
- [15] Autodesk, Revit: BIM software for designers, builders, and doers [Online]. Available: <https://www.autodesk.com/products/revit/overview?term=1-YEAR&tab=subscription>.
- [16] T. Ekvall, G. Assefa, A. Bjorklund, et al., 2007. "What life-cycle assessment does and does not do in assessments of waste management". *Waste Manage.*, vol. 27, pp. 989-996, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2007.02.015>.
- [17] Cortes Generales (2006). Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. Boletín Oficial del Estado, nº74. España.
- [18] Universidad de Sevilla (2022). Base de datos BIM-TBL: Building Information Modelling - Triple Bottom Line Sustainability Assessment database. N° Registro: 04/2022/3744.
- [19] ISO (2022). ISO 21931-1:2022. Sustainability in Building Construction—Framework for Methods of Assessment of the Environmental, Economic and Social Performance of Construction Works—Part 1: Buildings. International Organization for Standardization (ISO).
- [20] Universidad de Sevilla. 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. En fase de registro desde junio 2022.
- [21] Cortes Generales (1999). Ley 38/1999, de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación. Boletín Oficial del Estado, nº266. España.
- [22] A. Sinha, A. Kutnar, "Carbon footprint versus performance of aluminum, plastic, and wood window frames from cradle to gate", *Buildings*, vol. 2, pp. 542-553, December 2012. <https://doi.org/10.3390/buildings2040542>.
- [23] C. Benoît Norris, M. Traverso, S. Neugebauer, E. Ekener, T. Schaubroeck, S. Russo Garrido, M. Berger, S. Valdivia, A. Lehmann, M. Finkbeiner, et al. UNEP. Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products and Organizations.; 2020;
- [24] Y.H Dong, S.T Ng. A Modeling Framework to Evaluate Sustainability of Building Construction Based on LCSA. *Int. J. Life Cycle Assess.* 2016, 21, 555-568, doi:10.1007/s11367-016-1044-6.