ENTREGABLE 1. INFORME: MODELO DE DESARROLLO DE LOD700 PARA PRODUCTOS DE PIEDRA NATURAL.

Este Proyecto está financiado hasta el 80% con recursos del Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) asignados al Instituto de Fomento de la Región de Murcia con arreglo a la Subvención Global mediante la Decisión C(2015)3408, de la Comisión, por la que se aprueba el Programa Operativo de intervención comunitaria FEDER 2014-2020 en el marco del objetivo de inversión en crecimiento y empleo, en la Comunidad Autónoma de Murcia, como Región calificada en transición.

Para cualquier información adicional relativa a este Proyecto puede dirigirse al:

Asociación Empresarial de Investigación Centro Tecnológico del Mármol, Piedra y Materiales

Dirección: Carretera de Murcia, s/n, 30430- Cehegín (Murcia)

Tel: 968741500

david.caparros@ctmarmol.es

CONTENIDO

ENTREGABLE 1. INFORME: MODELO DE DESARROLLO DE LOD700 PARA PRODUCTOS DE PIEDRA NATURAL.

TAREA 1.1. Análisis de evaluación y optimización del uso de materiales de piedra natural desde el punto de vista de la regulación medioambiental actual en la construcción mediante medios digitales avanzados basados en estándares BIM. 4

Introducción 5

1.1.1. Declaraciones Ambientales de Producto (DAP) 5

1.1.2. Tipos de DAP 6

1.1.3. ACV de los productos de piedra natural 9

1.1.4. Referencias 9

TAREA 1.2. Estudio de los estándares ISO para productos digitales BIM para su aplicación en el proyecto BIMpiedra. 11

1.2.1. BIM. Building Information Modelling 12

1.2.2. Estandarización en BIM 15

1.2.3. Referencias 16

TAREA 1.3. Creación de una metodología de productos digitales avanzados con niveles de desarrollo LOD700 para productos de piedra natural. 17

1.3.1. Entrada de datos 18

1.3.1.1. Bases de datos de materiales 19

1.3.1.2. Bases de datos de Unidades de obra (UO) 27

1.3.2. Escalas de la aplicación ecoeficiente 31

1.3.2.1. Modelo de materiales de construcción digitales 33

1.3.3. Estrategias de implantación 36

1.3.3.1. Implantación a escala producto. Producto digital 37

1.3.4. Referencias 41

TAREA 1.1. Análisis de evaluación y optimización del uso de materiales de piedra natural desde el punto de vista de la regulación medioambiental actual en la construcción mediante medios digitales avanzados basados en estándares BIM.

Introducción

En esta tarea 1.1., se ha desarrollado un informe de estudio comparativo sobre el Análisis de Ciclo de Vida existente relacionado con los productos de piedra, así como la colocación de estos productos en obras de construcción en España.

Este estudio comparativo se centra en las Declaraciones Ambientales de Producto (DAP) de piedra natural utilizados en el sector de la construcción. Actualmente, en España, sólo las losas de piedra natural de algunos materiales, como el Crema Marfil Coto®, Marrón Emperador y Caliza Capri, tienen una declaración de producto medioambiental. Este documento abarca todas las fases de la industria de la piedra natural por las que pasa un producto, desde la extracción de la materia prima con la que se fabrica hasta el acabado completo del producto.

1.1.1. Declaraciones Ambientales de Producto (DAP)

La etiqueta ecológica permite afirmar el comportamiento medioambiental positivo de un producto. Por lo tanto, estas ecoetiquetas se otorgan a los productos con menor impacto ambiental teniendo en cuenta su ciclo de vida. Existen tres tipos: la etiqueta ecológica de tipo I, las autodeclaraciones ambientales (tipo II) y las declaraciones ambientales de producto (III). Las primeras ecoetiquetas son sistemas voluntarios que afirman el menor impacto ambiental de un producto, las siguientes, el fabricante las realiza con o sin certificación de una autoridad competente, y las últimas son verificadas y establecen el comportamiento ambiental del producto.

En general, las ecoetiquetas evalúan aspectos tales como: extracción y selección de materias primas, proceso de producción (consumo de energía, uso y consumo de agua, emisiones a la atmósfera y al agua, etc.), gestión de residuos o emisión de sustancias peligrosas.

La metodología para establecer la Declaración Ambiental de Producto (DAP) asume la norma UNE-EN ISO 14025 (Etiquetado Tipo III: Declaraciones Ambientales de Producto). En España, posteriormente aparece la norma UNE-EN 15804 que establece las Reglas de Categoría de Producto (RCP), y permite definir las reglas comunes para realizar una DAP específico para las familias de productos. Hoy en día, en España no existe la RCP para los productos de piedra natural.

Hay que señalar que, según la UE, a partir de julio de 2013 los productos de construcción deben declarar su impacto ambiental sobre la base de la ECV, como la DAP.

1.1.2. Tipos de DAP

En España existen también otros sistemas internacionales de DAP que permiten la verificación y certificación de las declaraciones emitidas por las entidades, a la vez que proporcionan recursos para su realización, contribuyendo a la estandarización mundial de las DAP. A continuación, se presentan varios sistemas, algunos de los cuales analizan productos de empresas españolas:

Los organismos que emiten DAP con repercusión en los países participantes del proyecto BIMpiedra son:

- EPD System: organización internacional con sede en Suecia. Realiza DAP y RCP para todo tipo de productos. Las DAP son totalmente accesibles y se puede ver si han sido fabricados para una empresa en particular en un país. Aunque existen DAP para los productos de construcción, no es específico para este tipo de productos.
  Web: http://www.environdec.com/es/

- SUSTAINABLE LIFE: Huella ambiental obtenida a través del sello PEF. La huella ambiental presenta una visión global del impacto sobre el medio ambiente de un producto u organización; mientras que la huella de carbono se centra en el cambio climático mediante la cuantificación de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Por otro lado, la huella hídrica analiza y cuantifica el uso del agua utilizando diferentes metodologías; mientras que la huella ecológica es un concepto desarrollado hace mucho tiempo por el Global Footprint Network para indicar la superficie del aire, la tierra y el agua ecológicamente productiva necesaria para producir recursos consumidos por una población o grupo y para asimilar sus residuos. El estudio de la huella ambiental incluye y calcula la huella de carbono según ISO 14067 o ISO 14064 y el cálculo de la huella de agua según ISO 14046 del producto u organización analizado. El análisis realizado por la Fundación Vida Sostenible ha abarcado exclusivamente a las empresas, por lo que por ahora no evalúa los productos.

Web:http://www.vidasostenible.org/empresas/sellos-de-huella/metodologia-de-analisis/

- ECO-Platform: Los principales Program Managers europeos han formado la Asociación ECO-Platform, para las DAP del sector de la construcción. Esta Asociación pretende armonizar criterios para facilitar la libre circulación de productos en Europa, evitando barreras técnicas basadas en criterios medioambientales. Todos las DAP reconocidas por esta Asociación deben cumplir con la Norma Europea EN 15804 y llevar un doble logotipo: el del Program Manager en el que se realiza la verificación y el de la ECO-Plataform.
  ECO-Platform aplica un sistema de auditoría por pares para aprobar a los administradores del Programa de Verificación DAP, a partir del cual publica una lista de programas que pueden utilizar la marca ECO Platform. Los primeros Programas que se aprobaron en esta Asociación (en 2014) fueron el GlobalEPD español de AENOR, el Swedish International EPD AB, el IBU alemán y el Bau-EPD austriaco. Las primeras DAP de esta Asociación se entregaron el 16 de octubre de 2014 en Bruselas. Paralelamente, varios administradores de programas están estableciendo acuerdos bilaterales de reconocimiento mutuo, como el International EPD AB, IBU y AENOR GlobalEPD.
  Web: http://www.eco-platform.org/

- PRODUCT ENVIRONMENTAL FOOTPRINT: desarrollado por la UE, pretende ser un portal de referencia para las DAP europeas, de forma similar a la etiqueta ecológica (etiquetado tipo I). En la actualidad, no se ha elaborado ninguna DAP, pero las que se elaboren estarán disponibles en abierto. Alcance general, no específico de la construcción. Por otra parte, la Comisión Europea ha incluido en la iniciativa del mercado único de productos ecológicos una propuesta de huella medioambiental de los productos (PEF). Esta metodología tiene por objeto establecer una serie de normas para el cálculo y la comunicación de la información medioambiental y se ajustaría a los criterios de la norma internacional ISO 14025, marco de las DAP. Actualmente se están desarrollando varios proyectos piloto para el desarrollo de RCP para estos productos. Desde el punto de vista de la construcción, sólo existe la RCP para los materiales aislantes.
  Web: http://ec.europa.eu/environment/eussd/smgp/ef_pilots.htm#pef.

Los organismos específicos para España son:

- DAP AENOR (Global EPD): Con sede en España. Realiza DAP y RCP, principalmente, por ahora, para productos de construcción. Todavía hay pocos accesibles (unos 15), pero el número va en aumento. Las DAP completas están disponibles en formato PDF. También se han firmado acuerdos con el sistema DAP para la internacionalización de las DAP de Aenor. El Código Técnico de la Edificación (CTE) es el marco político y normativo que establece los requisitos que deben cumplir los edificios en España. El CTE dispone de un Registro General regulado por la Orden VIV/1774/2008 y creado para aumentar la transparencia y el control público de los instrumentos que facilitan la implantación del CTE. Dentro de este registro se encuentra el Registro General de Certificaciones Ambientales del análisis de ciclo de vida en el que se registraron las primeras DAP en septiembre de 2015 para los sectores de productos largos de acero y cemento verificados por AENOR dentro de su GlobalEPD. En España, actualmente hay dos Directores de Programa:
    - Programa GlobalEPD de la Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR). Aplicable a todos los sectores industriales, pero especialmente al sector de la construcción. Dispone de instrucciones generales que cumplen con la norma ISO 14025 y requisitos específicos para el sector de la construcción basados en la norma EN 15804. Actualmente, Clúster Piedra trabaja en RCP de la piedra natural de España.
    - Programa DAPc de la Agenda de Construcción Sostenible. Aplicable a la construcción y centrada en Cataluña.

  En España, las tareas de elaboración de normas técnicas se llevan a cabo en AEN/CTN 150/SC 3 "Etiquetado Ecológico y ACV" horizontalmente y en la AEN/CTN 198 "Sostenibilidad en la construcción".
  Web:https://www.aenor.es/AENOR/certificacion/mambiente/globalepd.asp#.WB4gMi3hC00

- DAP Construcción: desarrollado por ITEC y COAAT DE Barcelona. Específico para la construcción. Todas las DAP son accesibles en formato PDF. No se realizan RCP porque es según ISO 21930.
  Web: http://www.csostenible.net/index.php/es/sistema_dapc

- OPENDAP: sistema abierto, donde se establecen las evaluaciones ambientales de las soluciones constructivas del CTE. Realizado por el Instituto Torroja y en colaboración con el equipo de ARCO2, en la actualidad no existen DAP abiertas, sólo se dispone de información sobre las emisiones de CO2 emitidas por los materiales en las fases analizadas. Alcance específico de la construcción.
  Web: http://www.opendap.es/

- GBC España: aunque el GBC no es un organismo de certificación de la DAP, ha establecido procedimientos para que los DAP se integren fácilmente en los instrumentos de certificación ambiental de ese organismo (GREEN y LEED). Campo específico de la construcción.
  Web: http://www.gbce.es/es/materiales/dape

1.1.3. ACV de los productos de piedra natural

En resumen, las empresas activas en los países que emiten y certifican DAP son: Sistema EPD (verificado por TECNALIA), EPD AENOR (verificado por TECNALIA), construcción DAP (verificador ITEC) y GBC (verificador Bureau Veritas).

Para entender las DAP ya realizadas a nivel nacional, las siguientes DAP son de España, que están registradas en sistemas como los mencionados anteriormente, así como sus características asociadas.

La siguiente tabla comparativa muestra los productos de piedra que cuentan con una DAP en las mencionadas entidades certificadoras actualmente disponibles (último acceso 07 de junio de 2018), sólo para España:

Producto/Servicio	Organismo	Compañía	Validez	Producto	Fases analizadas
Tablas de mármol y caliza	GlobalEPD	LEVANTINA Y ASOCIADOS DE MINERALES, S.A.	13/12/2022	Piedra natural	A1 – A3

1.1.4. Referencias

Asociación Española de Normalización y Certificación (último acceso 1 de junio de 2018). www.aenor.es

BRE Environmental and Sustainability Standard – BREEAM (último acceso 6 de junio de 2018). www.breeam.org

Declaración Ambiental de Productos de Construcción (último acceso 4 de junio de 2018). www.csostenible.net

Eco Platform (último acceso 4 de junio de 2018). www.eco-platform.org

EN 15804. Sostenibilidad en la construcción. Declaraciones Medioambientales de producto. Normas básicas de las categorías de productos de construcción.

Green Building Council España (último acceso 1 de junio de 2018). www.gbce.es

Institut Bauen und Umwelt e.V. (último acceso 7 de junio de 2018). http://ibu-epb.com

International EPD System (último acceso 4 de junio de 2018). www.environdec.com

ISO 14025:2010. Etiquetas y declaraciones ambientales. Declaraciones ambientales de tipo III. Principios y procedimientos.

ISO 21930:2010. Sostenibilidad en la construcción de edificios. Declaración ambiental de los productos de construcción.

Productosostenible.net (último acceso 5 de junio de 2018). www.productosostenible.net

TAREA 1.2. Estudio de los estándares ISO para productos digitales BIM para su aplicación en el proyecto BIMpiedra.

1.2.1. BIM. Building Information Modelling

Los softwares dinámicos de modelado en 3D, denominados BIM, cambiarán profundamente y de una manera fundamental la industria global de la construcción, debido a las grandes prestaciones que ofrece a los agentes intervinientes en el sector, mejorando claramente la fiabilidad de la gestión de la información y, por lo tanto, la productividad y la calidad constructiva a través del ciclo de vida de los edificios. En consecuencia, la aplicación de las tecnologías BIM en la sociedad contribuirá a un control más fácil y completo del impacto medioambiental de las construcciones.

Son innumerables los desarrollos realizados y estudios desarrollados, en este campo en relación a la eficiencia energética de los edificios, encontrándose las tecnologías BIM plenamente integradas en este campo. Sin embargo, en la eficiencia desde el punto de vista de los materiales todavía queda mucho por hacer e incluso por implementar, debido a la constante evolución del mercado de los productos de construcción, donde cada año surgen nuevos productos y procesos, así como sus respectivas patentes.

A través de este estrecho control a través de BIM, las partes interesadas en el sector de la construcción serán mucho más conscientes de la importancia de utilizar materiales y sistemas de construcción respetuosos con el medio ambiente, promoviendo así un cambio definitivo en la percepción de los aspectos medioambientales.

Desde el ámbito empresarial y educativo se ha estado demandado en los últimos años la necesaria cooperación europea para llevar a cabo una transformación digital de la construcción, puesto de lo contrario no podría llevarse a cabo. De este modo, como un primer paso a esta adaptación, en la Directiva 2014/24/UE se apuesta por la modernización de las normas europeas de contratación pública recomendando el uso de herramientas electrónicas para los contratos de obras públicas y concursos de diseño. Sin lugar a dudas, este es un primer paso para que la filosofía de esta Directiva tenga su transposición en los organismos públicos las gestiones relacionadas a todas las escalas del ámbito del sector de la construcción. Es en este punto donde entra en juego las tecnologías BIM, donde esta Directiva no sólo posee un marcado aspecto económico, reduciendo el coste de los proyectos de construcción con financiación pública en los países de los Estados Miembros, sino mejorando también los medioambientales, quedando esto patente en sus consideraciones iniciales, tal y se mencionó en el subapartado anterior. Dicha adaptabilidad de los organismos públicos a las denominadas herramientas electrónicas queda patente en su artículo 22.4:

"Para contratos públicos de obra y concursos de proyectos, los Estados Miembros podrán exigir el uso de herramientas electrónicas específicas, como herramientas de diseño electrónico de edificios o herramientas similares".

Si bien es cierto que esta normativa no habla específicamente de BIM, sino de 'herramientas electrónicas', actualmente, en países como Reino Unido, Finlandia, Suecia y Noruega (Véase la Figura 1), para proyectos de construcción financiados con fondos públicos, ya es obligatorio el uso de estas denominadas herramientas electrónicas, donde las tecnologías BIM son las más empleadas.

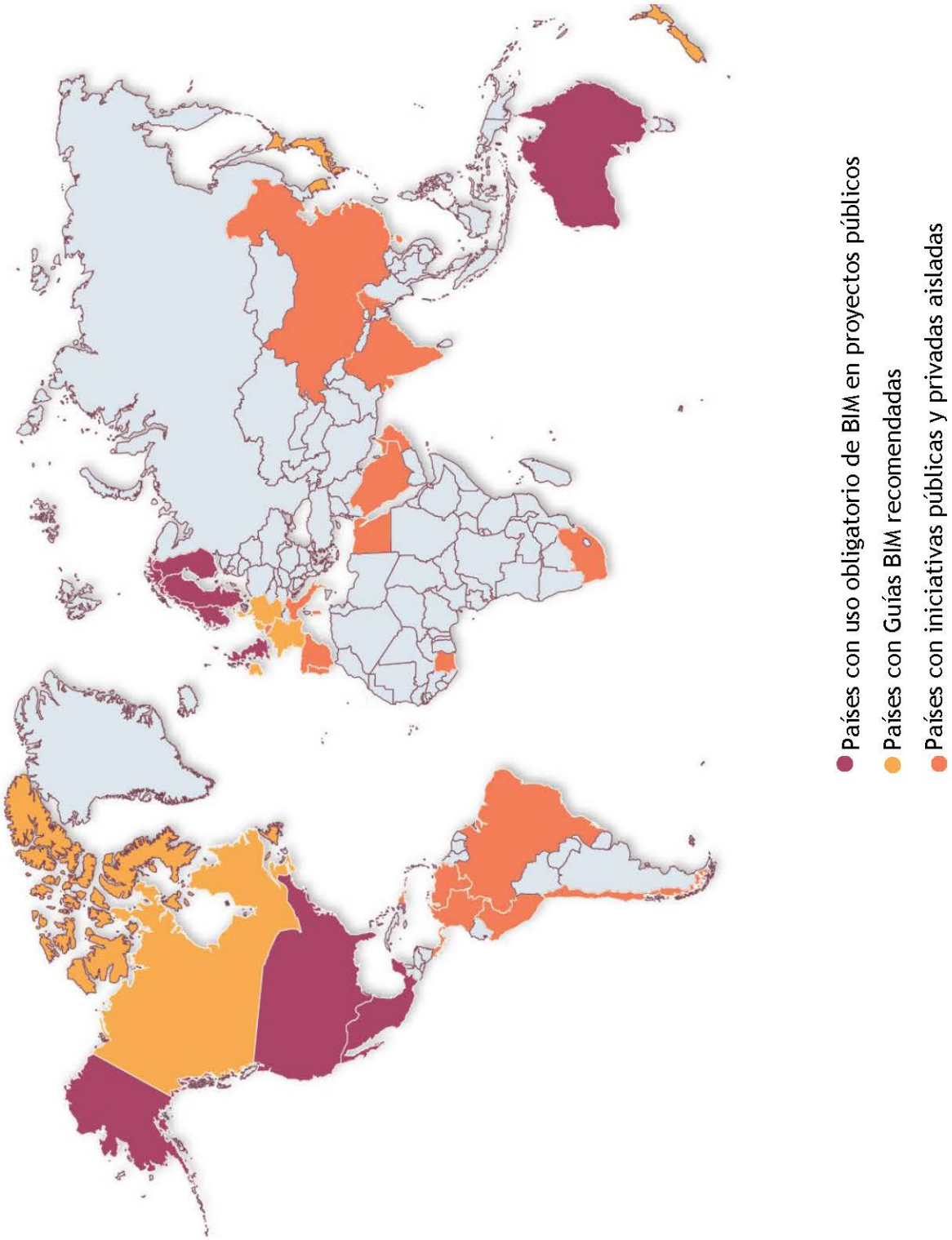

Figura 1. Implantación BIM a nivel internacional en 2014. Fuente: AENOR.

1.2.2. Estandarización en BIM

En el ámbito de la estandarización BIM, actualmente se cuenta con el Comité Técnico europeo de normalización CEN/TC 442, el cual también participa en el Subcomité Internacional ISO/TC 59/SC 13.

Los objetivos de este grupo son:

- "Desarrollar estándares, especificaciones, y reportes para especificar metodologías."

- "Definir, registrar, y especificar el intercambio de datos de una manera segura."

- "Especificar la semántica de BIM."

- "Incluir datos geoespaciales y de otras disciplinas, así como tomar en cuenta los estándares ISO ya desarrollados."

Por lo que respecta a España, AENOR está involucrada en los trabajos de estandarización BIM a través del AEN/CTN 41/SC 13.

Por lo tanto, los principales organismos de estandarización están trabajando en la normalización de BIM en todos sus campos. De este modo, actualmente en el programa de trabajo del CEN/TC 442 se pueden hallar los siguientes proyectos de normalización:

- FprEN ISO 29481-1. Building information models - Information delivery manual - Part 1: Methodology and format (ISO 29481-1:2016).

- prEN ISO 16757-1. Data structures for electronic product catalogues for building services -- Part 1: Concepts, architecture and model.

- prEN ISO 16757-2. Data structures for electronic product catalogues for building services - Part 2: Geometry.

- prEN ISO 19650-1. Organization of information about construction works - Information management using building information modelling - Part 1: Concepts and principles (ISO/DIS 19650-1:2017).

- prEN ISO 19650-2. Organization of information about construction works - Information management using building information modelling - Part 2: Delivery phase of assets (ISO/DIS 19650-2:2017).

En cuanto a los estándares ya publicados desde el 19 de octubre de 2016, se encuentran los siguientes:

- EN ISO 12006-3:2016. Building construction - Organization of information about construction works - Part 3: Framework for object-oriented information (ISO 12006-3:2007).

- EN ISO 16739:2016. Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries (ISO 16739:2013).

- EN ISO 29481-2:2016. Building information models - Information delivery manual - Part 2: Interaction framework (ISO 29481-2:2012).

Siendo, por lo tanto, el IFC el estándar de más amplio reconocimiento -en línea con la Norma ISO 16739, en la presente investigación se adelanta en este que se plantearán los MCD y UO BIM en formatos IFC para la interoperabilidad con aplicaciones de cálculo de emisiones de CO2 y formatos SIG -y, en general, relacionadas con el ciclo de vida de los proyectos-, siendo éste un estándar abierto para especificaciones en BIM.

De hecho, actualmente se encuentra en desarrollo la norma ISO para desarrollar la interoperabilidad entre BIM a GIS en la prISO/NP19166 a través del comité de normalización ISO/TC 211, la cual pone en valor el estado embrionario en el cual se encuentra esta vorágine de avance tecnológico en los estándar BIM, y, por lo tanto, se tendrá muy presente de cara a líneas futuras de esta investigación.

1.2.3. Referencias

Asociación Española de Normalización y Certificación (2017). www.aenor.es

Estándares en apoyo del BIM. Informes de Normalización. AENOR, 2016. http://www.aenor.es/DescargasWeb/normas/informe-bim.pdf

European Committee for Standardization. https://standards.cen.eu/dyn

ZHAO, "A scientometric review of global BIM research: Analysis and visualization", Automation in Construction, 2017, Nº 80, págs. 37-47.

TAREA 1.3. Creación de una metodología de productos digitales avanzados con niveles de desarrollo LOD700 para productos de piedra natural.

1.3.1. Entrada de datos

En los dos siguientes subapartados se definirán los datos de entrada para aplicar en la metodología de cálculo, donde en un primer lugar se tratará desde el punto de vista del material de construcción, y en una segunda parte se analizará una vez que éstos han de ser ejecutados en una unidad de obra.

Como se verá en este apartado, y a modo de resumen, basándonos en los dos indicadores seleccionados en el apartado anterior, además de en determinadas etapas del límite del sistema a calcular, se puede adelantar en la Tabla 1 cuáles serán los mencionados datos a recopilar y a calcular, tanto para cada material de construcción como para cada UO. Por lo tanto, una vez realizadas las aclaraciones pertinentes en los apartados posteriores, quedarán definidas que las etapas a contemplar para el cálculo de los indicadores propuestos (emisiones de CO2 y reciclabilidad) serán:

Parámetros	Etapa de Producto	Etapa de Proceso de Construcción		Etapa de Uso	Etapa de Fin de Vida	
	A1 / A2 / A3	A4 Transporte	A5 Construcción	B5 Rehabilitación	C1 Deconstrucción/ Demolición	C2 Transporte
Potencial de Calentamiento global (GWP) *kg CO_2 eq*	kg CO2 eq en las fases A1, A2, A3	kg CO2 eq en la fase A4	kg CO2 eq en la fase A5	kg CO2 eq en la fase B5	kg CO2 eq en la fase C1	kg CO2 eq en la fase C2
Material reciclado (kg/kg)				Kg de material reciclado por cada kg de material		
Reciclabilidad %				% de material reciclado por cada kg de material		

Tabla 1. Ejemplo de etapas contempladas en la metodología de cálculo por cada kg de material partiendo de la base de la UNE-EN 15978. Elaboración propia.

1.3.1.1. Bases de datos de materiales

En referencia al subapartado 1.1.1. Declaraciones Ambientales de Producto de la tarea 1, las DAP pueden llegar a ser la fuente principal de información del modelo aquí propuesto. Puesto que todavía no están lo suficientemente arraigadas como para poder llegar a definir, desde un aspecto de impacto medioambiental, todos los productos de piedra natural que pueden llegar a estar presentes en una obra de ejecución -ya sea urbanística o de edificación-, en función a los 3 tipos de etiquetas ecológicas se adoptará el siguiente criterio: se tomará en primer lugar la tipo III, puesto que éstas recogen toda la fase de fabricación del producto (Etapa A1-A3), y ante la ausencia de Declaración de un determinado producto, se optará por las de Etiqueta tipo II y I, en ese orden, y siempre que se faciliten los indicadores necesarios de cálculo y sean comparables.

A este respecto, la propia UNE-EN 15978 reconoce dicha situación, y, por lo tanto, ante la ausencia de DAP o que éstas no estén completamente definidas, se recomienda el uso de otras fuentes, siempre que estas se encuentren debidamente justificadas y se cuente con el caso más desfavorable ante dos o más datos de productos similares. Más concretamente, en su apartado 10.3 Calidad de los datos, versa lo siguiente:

"Si los datos ambientales utilizados están de acuerdo con los requisitos de la norma EN 15804, se supone que cumplen los requisitos de calidad de los datos de esta norma. Si los datos ambientales proceden de otras fuentes para las que no se ha establecido si están de acuerdo con la Norma EN 15804, se aplican los siguientes requisitos mínimos de calidad de los datos", de donde destacan los siguientes de importancia para esta investigación:

- "los datos deberían ser los más actuales posible. La validación de los datos no debe ser anterior a 10 años;"

- "los conjuntos de datos para los cálculos deberían basarse en datos anuales promedios, si es aplicable; los motivos para el uso de periodos de evaluación distintos se deben enumerar."

- (…) "se debe comprobar la plausibilidad de los datos y el cumplimiento de las reglas de la Norma EN 15804;"

- "el campo de validez tecnológico debe ser representativo de la región donde se localiza la producción."

En consecuencia, para este proyecto también se tendrán en cuenta otras bases de datos, como por ejemplo las alojadas en OpenDAP y otras bases de datos, principalmente gratuitas, así como en las investigación y artículos analizados, y otras mencionadas en otros apartados de este documento.

Algunas de las mencionadas bases de datos tienen su origen en los softwares de ACV Ecoinvent y Gabi, así como varias de las DAP que se emplearán. En líneas futuras de investigación alineadas con este proyecto se prevé la colaboración con otras instituciones para el desarrollo del modelo aquí planteado y, por lo tanto, ante la ausencia de DAP se podrá acudir a la información facilitada por estos softwares.

Merece la pena destacar cómo la mencionada UNE le da importancia a la localización de la producción a la hora de establecer el impacto ambiental de un producto, donde, evidentemente, los procesos de fabricación y las particularidades de cada fabricante pueden provocar que dicho impacto varíe significativamente.

En el caso de Cype, éste posee cálculos de emisiones de CO_2 hasta la fase A5, así como otras fases -rehabilitación y mantenimiento basándose en datos estadísticos de diferentes elementos arquitectónicos- dependiendo de la versión.

Para el cálculo de los kg de material, se ha tenido acceso principalmente a dos softwares, habiendo obtenido estos datos mediante tablas de planificación de Revit (véase la Figura 2) y Arquímedes. Para la reciclabilidad de los materiales también se ha acudido a las fuentes anteriormente citadas, donde para el desarrollo de la metodología se ha recopilado y clasificado dicha información para su implementación en la metodología.

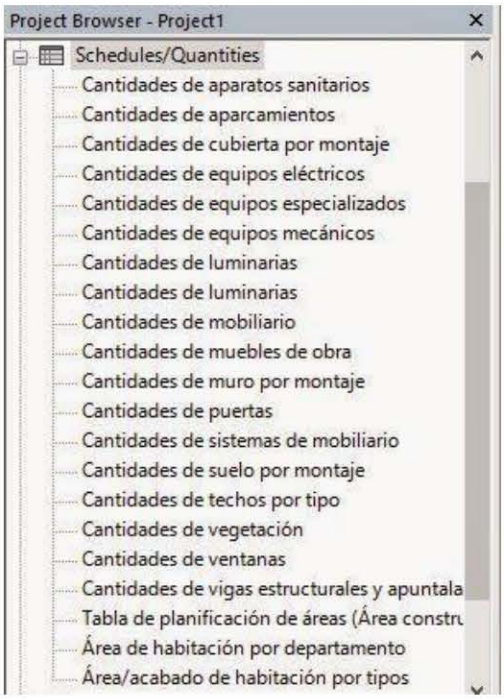

Figura 2. Ejemplo de tablas de cuantificación. Fuente: Revit.

Una vez realizadas todas estas apreciaciones, a continuación, se mostrará un ejemplo de DAP para todo su ciclo de vida, donde datos como GWP y kg de material reciclado nos serán muy útiles (véase la Tabla 2 y Tabla 3) como base de datos aplicables a la metodología.

IMPACTOS AMBIENTALES															
Parámetros	Etapa de Product	Etapa de Proceso de Construcción		Etapa de Uso							Etapa de Fin de Vida				D Potencial de Reutilización, Recuperación y Reciclaje
	A1 / A2 / A3	A4 Transporte	A5 Instalación	B1 Uso	B2 Mantenimiento	B3 Reparación	B4 Sustitución	B5 Rehabilitación	B6 Uso de energía en Servicio	B7 Uso de Agua en Servicio	C1 Deconstrucción/Demolición	C2 Transporte	C3 Tratamiento de Residuos	C4 Vertido de Residuos	
Potencial de Calentamiento global (GWP) *kg CO_2 equiv/UF*	1,89E+00	8,40E-02	9,80E-02	0	0	0	0	0	0	0	Irrelevante	1,82E-02	0	5,33E-03	MND[2]
	Contribución total de calentamiento global resultante de la emisión de una unidad de gas a la atmósfera con respecto a una unidad de gas de referencia, que es el dióxido de carbono, al que se le asigna un valor de 1.														
Agotamiento de la Capa de Ozono (ODP) *kg CFC 11 equiv/UF*	1,68E-07	5,74E-08	1,12E-08	0	0	0	0	0	0	0	Irrelevante	1,26E-08	0	1,60E-09	MND
	Destrucción de la capa de ozono estratosférico que protege a la tierra de los rayos ultravioletas (perjudiciales para la vida). Este proceso de destrucción del ozono se debe a la ruptura de ciertos compuestos que contienen cloro y bromo (clorofluorocarbonos o halones) cuando éstos llegan a la estratosfera, causando la ruptura catalítica de las moléculas de ozono.														
Potencial de Acidificación del suelo y de los Recursos del agua (AP) *kg SO_2 equiv/UF*	2,31E-02	4,90E-04	1,19E-03	0	0	0	0	0	0	0	Irrelevante	1,12E-04	0	3,16E-05	MND
	La lluvia ácida tiene impactos negativos en los ecosistemas naturales y el medio ambiente. Las principales fuentes de emisiones de sustancias acidificantes son la agricultura y combustión de combustibles fósiles utilizados para la producción de electricidad, la calefacción y el transporte.														
Potencial de Eutrofización (EP) *kg $(PO_4)^{3-}$ equiv/UF*	2,73E-03	1,33E-04	6,93E-05	0	0	0	0	0	0	0	Irrelevante	2,73E-05	0	7,75E-06	MND
	Efectos biológicos adversos derivados del excesivo enriquecimiento con nutrientes de las aguas y las superficies continentales														
Potencial de Formación de Ozono Troposférico (POPC) *Kg etano equiv/UF*	1,19E-03	1,12E-05	5,88E-05	0	0	0	0	0	0	0	Irrelevante	2,45E-06	0	1,16E-06	MND
	Reacciones químicas ocasionadas por la energía de la luz del sol. La reacción de óxidos de nitrógeno con hidrocarburos en presencia de luz solar para formar ozono es un ejemplo de reacción fotoquímica.														
Potencial de agotamiento de Recursos Abióticos para Recursos No Fósiles (ADP-elementos) *kg Sb equiv/UF*	2,66E-07	1,19E-11	1,33E-08	0	0	0	0	0	0	0	Irrelevante	2,66E-12	0	0	MND
Potencial de agotamiento de Recursos Abióticos para Recursos Fósiles (ADP-combustibles fósiles) *MJ/UF*	2,94E+01	9,80E-01	1,54E+00	0	0	0	0	0	0	0	Irrelevante	2,24E-01	0	4,91E-05	MND
	Consumo de recursos no renovables con la consiguiente reducción de disponibilidad para las generaciones futuras.														

Tabla 2. Ejemplo de impacto ambiental de paneles y rollos semirrígidos de lana mineral arena ISOVER. Fuente: ECO Platform.

OTROS FLUJOS DE SALIDA																		
	Etapa de Product	Etapa de Proceso de Construcción		Etapa de Uso										Etapa de Fin de Vida				D Potencial de Reutilización, Recuperación y Reciclaje
Parámetros	A1 / A2 / A3	A4 Transporte	A5 Instalación	B1 Uso	B2 Mantenimiento	B3 Reparación	B4 Sustitución	B5 Rehabilitación	B6 Uso de energía en Servicio	B7 Uso de Agua en Servicio	C1 Deconstrucción/Demolición	C2 Transporte	C3 Tratamiento de Residuos	C4 Vertido de Residuos				
Componentes para su reutilización *kg/FU*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				MND
Materiales para el reciclaje *kg/FU*	1,47E-03	4,06E-07	2,17E-02	0	0	0	0	0	0	0	Irrelevante	9,10E-08	0	0				MND
Materiales para valorización energética (recuperación de energía) *kg/FU*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				MND
Energía Exportada (eléctrica, térmica, ...) *MJ/FU*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Irrelevante	0	0	0				MND

Tabla 3. Ejemplo de otros flujos de salida. Paneles y rollos semirrígidos de lana mineral arena ISOVER. Fuente: ECO Platform.

CATEGORÍAS DE RESIDUOS																							
Parámetros	Etapa de Producto	Etapa de Proceso de Construcción		Etapa de Uso										Etapa de Fin de Vida						D Potencial de Reutilización, Recuperación y Reciclaje
	A1 / A2 / A3	A4 Transporte	A5 Instalación	B1 Uso	B2 Mantenimiento	B3 Reparación	B4 Sustitución	B5 Rehabilitación	B6 Uso de energía en Servicio	B7 Uso de Agua en Servicio	C1 Deconstrucción/Demolición	C2 Transporte	C3 Tratamiento de Residuos	C4 Vertido de Residuos						
Residuos peligrosos vertidos *kg/FU*	6,65E-03	2,31E-05	3,36E-04	0	0	0	0	0	0	0	Irrelevante	5,18E-06	0	0						MND
Residuos no peligrosos vertidos *kg/FU*	4,69E-01	8,40E-05	9,80E-02	0	0	0	0	0	0	0	Irrelevante	1,96E-05	0	7,70E-01						MND
Residuos radiactivos vertidos *kg/FU*	1,26E-04	1,61E-05	7,00E-06	0	0	0	0	0	0	0	Irrelevante	3,57E-06	0	0						MND

Tabla 4. Ejemplo de categorías de residuos. Paneles y rollos semirrígidos de lana mineral arena ISOVER. Fuente: ECO Platform.

De cara a futuras investigaciones en línea con este proyecto, además de la posibilidad de extrapolar esta metodología al resto de indicadores propios de un DAP y aplicarlos a UO BIM, también cabe destacar los indicadores relacionados con la categoría de residuos (véase la Tabla 4), los cuales pueden llegar a dar una visión completamente diferente sobre la sostenibilidad de un producto, el cual puede tener un GWP bajo, y sin embargo un alto contenido en residuos peligrosos. Concretamente, los siguientes residuos mencionados:

- Residuos peligrosos vertidos.

- Residuos no peligrosos vertidos.

- Residuos radiactivos vertidos.

También es importante destacar otros contenidos de esta mencionada DAP en relación a la RSL que se usará aquí como ejemplo, donde estiman la vida útil de los productos:

"La duración de los productos de lana mineral alcanza el mismo tiempo de vida media asociado al edificio en el que se instala (cuyo valor se establece habitualmente en 50 años), o el tiempo que dicho componente aislante sea parte del edificio."

Este dato resultará de vital importancia para la fase de cálculo relacionada con la rehabilitación (B5). Al igual que sucede con la categoría de residuos, es posible encontrar un material el cual posea unas bajas emisiones de CO_2 en su producción, y sin embargo tenga una RSL baja o su método constructivo produzca más emisiones de CO_2 con respecto a otros (sin entrar en otros aspectos, como la logística). Todos estos factores pueden provocar que, en el cómputo total de toda la vida útil de determinados productos, finalmente sean menos sostenibles en comparación a otros.

Por lo que respecta a la fase A4 del límite del sistema (transporte previo a la ejecución en obra) la ausencia de la identificación de la fábrica de origen provoca que el cálculo no sea exacto, así como la adopción de un medio de transporte genérico, y no el real empleado para la obra. Cualquier base de datos existente a la que se acuda actualmente, no será exacta con la realidad; es por ello que se establece unas oportunas acciones encaminadas a la exactitud en estos datos mediante la geolocalización de las fábricas de origen y su vinculación con los materiales de piedra natural empleados. Obviamente, sería necesaria una colaboración activa de las empresas para su consecución. No sería la primera que, por ejemplo, en la Región de Murcia se realiza un proyecto de geolocalización de tales magnitudes, aunque para viviendas.

Siguiendo el ejemplo de la DAP anterior -y sin pararnos, por tanto, a profundizar sobre la exactitud o no de los datos aportados en las fases donde influyen las peculiaridades de una obra en concreto- es posible hallar los siguientes datos aportados (véase la Tabla 5):

Etapas	Fases	GWP ($kgCO_2eq$)	Material reciclado (kg/kg)	Reciclabilidad %
Producto	A1/A2/A3	1,89e+0		
Ejecución	A4 Transporte	8,40e-2		
	A5 Construcción	9,8e-2		
Uso	B5 Rehabilitación	0,00	0	0
Fin de Vida	C1 Deconstrucción	0,00	0	0
	C2 Transporte	1,82e-2		

Tabla 5. Ejemplo de etapas contempladas en la metodología de cálculo por cada m2 de producto. Basado en DAP de ECO-Platform

Además, como ya se afirmó antes, su vida útil (para este ejemplo) sería al menos de 50 años o la misma que la vida útil del edificio. Es por ello, que sus emisiones de CO2eq durante las fases B5 y C1 es 0.

A este respecto, si por ejemplo la vida útil de un material o UO fuese de 20 años, y la vida útil estimada del edificio 100 años, deberían tenerse en cuenta 4 rehabilitaciones de dicho material. Este planteamiento es muy similar al empleado en la mencionada UNE-EN 15978.

Un último dato a calcular son los kg por cada m2 en el caso de productos cuya DAP venga definido por kg de producto colocado (kg/m2), de vital importancia para poder extrapolar estos resultados a cada m2 de producto.

Por lo tanto, este mismo producto para un m2, su impacto ambiental vendría del cálculo de multiplicar el GWP de cada Fase por los kg/m2 en las DAP donde la unidad de producto venga definida por los kg:

GWP Fases A1/A2/A3 x kg/m^2

GWP Fase A4 x kg/m^2

GWP Fase A5 x kg/m^2

GWP Fase B5 x kg/m^2

GWP Fase C1 x kg/m^2

GWP Fase C2 x kg/m^2

Material reciclado x kg/m^2

1.3.1.2. Bases de datos de Unidades de obra (UO)

Para este apartado en concreto, basta con mencionar que la UO que se pondrá de ejemplo consiste en una fachada de doble hoja con aislamiento térmico y acústico en su interior, donde que el aislamiento se encuentra en la cara exterior del forjado para evitar puentes térmicos y, por ende, también el resto de los materiales y elementos constructivos de la cara interior. La hoja interior se encontrará ejecutada de suelo a techo, así como el revestimiento de la misma, donde en un nivel de definición LOD500, como se verá más adelante, el modelo BIM interpretaría las intersecciones entre dos objetos BIM que tuviesen como mínimo dicho nivel de desarrollo.

Siempre teniendo presente el mencionado ejemplo teórico propuesto en este apartado donde cabe destacar que se propondrá como elementos constructivos a calcular los siguientes en su hoja exterior:

Fábrica no estructural

FFZ010M m^2 "Hoja exterior de cerramiento de fachada, de 11,5 cm de espesor de fábrica, de ladrillo cerámico hueco triple, para revestir, 24x11,5x11,5 cm, recibida con mortero de cemento confeccionado en obra, con 250 kg/m^3 de cemento, color gris, dosificación 1:6, suministrado en sacos"

Aislamientos e impermeabilizaciones

NAF020 m^2 "Aislamiento por el interior en fachada de doble hoja de fábrica para revestir formado por panel rígido de lana mineral, de superficie lisa y mecanizado lateral machihembrado, de 60 mm de espesor, fijado con pelladas de adhesivo cementoso."

Enfoscados

RPE011 m^2 "Enfoscado de cemento, a buena vista, aplicado sobre un paramento vertical interior, en el trasdós de la hoja exterior de fachada con

cámara de aire, hasta 3 m de altura, acabado superficial rugoso, con mortero de cemento M-5."

Monocapa

RQO010 m^2 "Revestimiento de paramentos exteriores con mortero monocapa para la impermeabilización y decoración de fachadas, acabado con árido proyectado, color amarillo, espesor 15 mm, aplicado manualmente, armado y reforzado con malla antiálcalis en los cambios de material y en los frentes de forjado."

En esta hoja exterior, hay una serie de elementos que -pensando en el modelo BIM por facilidad de dibujo y su extrapolación al presupuesto- podrían encontrarse dibujados y presupuestados en UO distintos, como por ejemplo la colocación de una lámina impermeabilizante y/o un chapado:

RCP015 m^2 "Chapado en paramento vertical, hasta 1 m de altura, con placas de Piedra Cabezo Gordo, acabado pulido, 40x40x2 cm, pegadas con adhesivo cementoso mejorado, C2 TE, con deslizamiento reducido y tiempo abierto ampliado; y rejuntado con mortero de juntas cementoso, CG1, para junta mínima (entre 1,5 y 3 mm), con la misma tonalidad de las piezas."

Retomando el caso anterior sobre el aislamiento térmico (con nota clave NAF020), éste se encuentra sellado y fijado mediante pelladas de adhesivo cementos. Para generar esta UO, sería necesario el sumatorio del impacto ambiental de ambos materiales una vez ejecutados en obra por cada m^2, por consiguiente, el resultado vendía de calcular ambas DAP por cada m2 (véase la Figura 3):

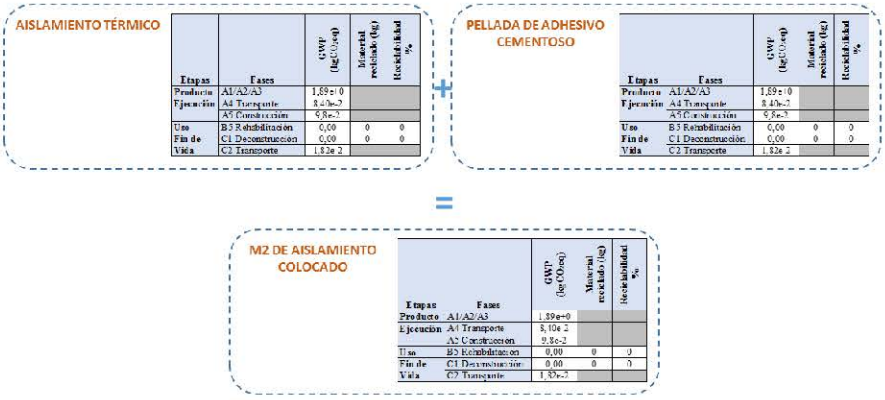

Figura 3. Ejemplo teórico de cálculo del impacto ambiental de aislamiento térmico colocado por cada m2. Elaboración propia.

Por lo tanto, habría que repetir esta misma operación para el resto de los elementos constructivos, es decir, los que se corresponden con los códigos FFZ010, RPE011 y RQO010, de modo que sea posible obtener el impacto ambiental y la cuantificación de recursos por m^2 de cada uno de ellos.

Como se puede observar, éstos se corresponden con los precios de descompuestos de una obra, y ya de por sí formarían una UO como entidades propias. Pero con la intención de facilitar el dibujo en BIM, estos elementos constructivos podrían formar una única UO, de lo contrario habría que dibujar cada una de estas "capas" y se ralentizaría el proceso proyectual. En consecuencia, esta hoja exterior tendría la siguiente descripción como UO:

FFZ010NAF020 m^2 Cerramiento de fachada formado por fabrica de 1/2 pie de espesor de ladrillo hueco triple de 24x11,5x11,5 cm, sentada con mortero de cemento CEM II/A-P 32,5 R, y dosificación 1:6 (M-40), enfoscado interiormente con mortero de cemento y 1:4, y exteriormente con monocapa para la impermeabilización y decoración de fachadas, acabado con árido proyectado, color amarillo, espesor 15 mm, aplicado manualmente, armado y reforzado con malla antiálcalis en los cambios de material y en los frentes de forjado. Aislamiento formado lana mineral de superficie lisa y mecanizado lateral machihembrado, de 60 mm de espesor, fijado con pelladas de adhesivo cementoso, i/p.p. aplomado, nivelación, roturas, remates y piezas especiales, s/NTE-FFL, PTL y MV-201. A deducir huecos.

Una vez calculado el impacto ambiental por cada m^2 de los diferentes elementos constructivos (precios de descompuestos) que conforman una UO, se procederá al sumatorio de todos y cada uno de ellos (véase la Figura 4).

Esto dará como resultado el impacto ambiental, la cuantificación de recursos y la reciclabilidad de este UO, donde para el caso práctico que nos atañe -m^2 de fachada- sería el que procede a continuación (véase la Tabla 6 el resultado final y el anexo II para su cálculo completo), teniendo en cuenta únicamente las fases A1 a A5 a modo de ejemplo, y pudiendo éstas ser extrapoladas en su metodología de cara a futuras líneas de investigación:

HFaseA4FachT m² Unidad de obra completa. KgCO2eq por cada m2 de fachada.
esis

Cerramiento a la capuchina de fachada formada por fábrica de 1/2 pie de espesor de ladrillo hueco triple de 24x11,5x11,5 cm, sentada con mortero de cemento CEMII/A-P 32,5 R, y dosificación 1:6 (M-40), enfoscado interiormente con mortero de cemento y 1:4, y exteriormente con monocapa para la impermeabilización y decoración de fachadas, acabado con árido proyectado, color amarillo, espesor 15 mm, aplicado manualmente, armado y reforzado con malla antiálcalis en los cambios de material y en los frentes de forjado. Aislamiento formado por panel compacto de lana mineral Arena de alta densidad, Arena "ISOVER", según UNE-EN 13162, de 60 mm de espesor, no revestido, resistencia térmica 1,55 m^2K/W, conductividad térmica 0,035 W/(mK). Hoja interior de cerramiento de fachada de 7 cm de espesor, de fábrica de ladrillo cerámico hueco doble, para revestir, 24x11,5x7 cm, recibida con mortero de cemento confeccionado en obra, con 250 kg/m^3 de cemento, color gris, dosificación 1:6, suministrado en sacos. i/p.p. aplomado, nivelación, roturas, remates y piezas especiales, s/NTE-FFL, PTL y MV-201. A deducir huecos.

Enlace web del UO BIM	Descomp. /Nota Clave	Ud	Unidad de obra completa
url propuesta	HFaseA4Fach Tesis	m2	Cerramiento a la capuchina de fachada formada por fábrica de 1/2 pie de espesor de ladrillo hueco triple de 24x11,5x11,5 cm, enfoscado interiormente con mortero de cemento y exteriormente con monocapa para la impermeabilización, aislamiento formado Aislamiento formado por panel compacto de lana mineral Arena de alta densidad. Hoja interior de cerramiento de fachada de 7 cm de espesor, de fábrica de ladrillo cerámico hueco doble, para revestir, 24x11,5x7 cm.

Código LER	Residuos generados	Peso (kg)
17 01 02	Ladrillos	17,9
01 04 08	Residuos de grava y rocas trituradas distintos de los mencionados en el código 01 04 07	0,325
17 01 01	Hormigón (hormigones, morteros y prefabricados)	1,774
17 06 04	Materiales de aislamiento distintos de los especificados en los códigos 17 06 01 y 17 06 03	0,121
17 02 03	Plástico.	0,253

Consumo		Etapa del ciclo de vida: Fabricación A1-A2-A3	Construcción A4 Transporte
Materiales	Peso (kg)	Emisiones CO2eq. (kg)	Emisiones CO2eq. (kg)
Material cerámico	127,859	43,152	0,420
Áridos	53	0,281	0,070
Cemento	41,821	7,790	0,631
Lana mineral	2,52	3,230	0,143
Plástico	0,025	0,259	0,000
Agua	8,000	0,008	0,000
Fibra de vidrio	0,047	0,111	0,001
Emisiones materiales	233,272	54,831	1,265

Envases					
15 01 01	Envases de papel y cartón	0,067		0,088	0,002
17 02 03	Plástico	0,211		2,186	0
17 02	Madera	1,848		0,161	0,006
Transporte al vertedero		22,5			
		TOTAL	233,272	57,266	1,273
				64,339	

Tabla 6. Unidad de obra completa. $KgCO_2eq$ por cada m² de fachada. Elaboración propia mediante recopilación de datos.

Por cada elemento constructivo se debería analizar la reciclabilidad del mismo. Es decir, se ha de analizar el % de reciclabilidad, puesto que es evidente que un material por sí mismo puede ser reciclable e incluso reutilizable, sin embargo, debido a su combinación con otros materiales en su proceso de ejecución puede originar que éste deje de serlo en parte o totalmente, provocando, de este modo, que un material que en potencia podría ser reciclable, acabe en el vertedero debido a la ejecución seleccionada.

Una vez sumados todos los elementos constructivos, como se ha visto en los párrafos anteriores, esto mismo tendría que llevarse a cabo para la UO, considerando el grado de reciclabilidad de ésta en función al método constructivo seleccionado.

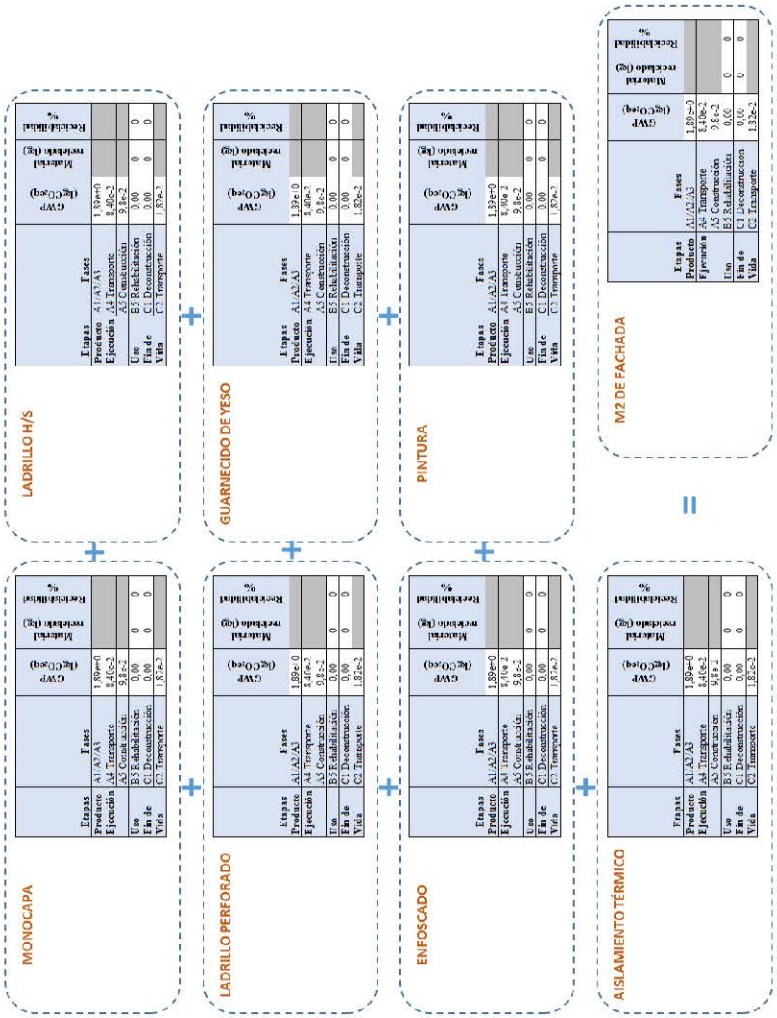

Figura 4. Ejemplo teórico de cálculo del impacto ambiental por cada UO. Ejemplo de fachada. Elaboración propia.

1.3.2. Escalas de la aplicación ecoeficiente

La aplicación de las tecnologías BIM en la sociedad contribuirá a un control más fácil y completo del impacto medioambiental de las construcciones, así como la mejora en la calidad y gestión de las edificaciones durante todo el ciclo de vida.

Son innumerables los desarrollos realizados en este campo en relación a la eficiencia energética de los edificios, encontrándose las tecnologías BIM plenamente integradas en este campo. Sin embargo, en la eficiencia desde el punto de vista de los materiales se encuentra menos avanzada y todavía queda mucho por hacer e incluso por implementar, debido a la constante evolución del mercado de los productos de construcción y, por ende, el aumento de la complejidad para los profesionales de la AIC.

En este estrecho control a través de BIM, las partes interesadas en el sector de la construcción serán mucho más conscientes de la importancia de utilizar materiales y sistemas de construcción respetuosos con el medio ambiente, promoviendo así un cambio definitivo en la percepción de los aspectos medioambientales.

Como un primer paso a esta adaptación, en la Directiva 2014/24/UE analizada, se apuesta por la modernización de las normas europeas de contratación pública recomendando el uso de herramientas electrónicas para los contratos de obras públicas y concursos de diseño. Igualmente, conviene recordar que esta directiva propugna la necesidad de analizar las licitaciones no sólo desde el momento de su adjudicación, sino también sus costes asociados a todo el ciclo de vida, marcando la UE, de este modo, un claro camino a seguir en cuanto a la gestión eficiente de los edificios durante todas sus etapas.

Como ya se ha mencionado anteriormente, las Declaraciones Ambientales de Producto se encuentran reguladas en la Norma Internacional UNE-EN ISO 14025:2010, de modo que puedan ser empleadas éstas para valorar el impacto ambiental durante todo el ciclo de vida de los productos de una forma cuantificada y verificable. En el caso de los productos y servicios relacionados con la construcción, las RCP necesarias para desarrollar un determinado DAP se encuentran recogidas en la UNE-EN 15804: 2012+A1:2014. En el apartado ENTRADA DE DATOS se ha explicado la metodología de aplicación de las DAP en el método desarrollado en esta investigación, donde también se explicó que ante la ausencia de determinadas DAP -debido a que su desarrollo dista aún de alcanzar su plenitud-, se emplearán otras bases de datos de ACV, y, en consecuencia, basándonos en ejemplos ya citados.

Por lo tanto, se parte del empleo de las DAP para generar el MCD con especificaciones técnicas de impacto ambiental y, así, completar la definición de un nuevo LOD de categoría 600 aplicado a una UO, y determinar, de este modo, los kgCO2eq/m2 y su grado de reciclabilidad desde la escala BIM, tal y como se verá en el siguiente apartado 2.1. Modelo de materiales de construcción digitales.

Desde el punto de vista edificatorio se debería analizar cómo la correcta definición de la UO BIM será crucial para que ésta sea exportada correctamente a un software de cálculo presupuestario compatible con formatos bc3, donde la UO del modelo BIM y la UO del presupuesto se corresponderán a un mismo conjunto de materiales y/o métodos constructivos.

De este modo, dicha UO deberá encontrarse perfectamente parametrizada y definida para su correcta vinculación con la UO del presupuesto. La forma de vincular automáticamente estos diferentes elementos será a través de las Notas Clave que permiten varios softwares en el mercado.

En el futuro, también se estudiará la posibilidad de la interoperabilidad entre BIM y SIG, con el objetivo de traducir los indicadores de impacto ambiental calculados y diseñados en IFC a formatos GML o CityGML, donde las aplicaciones a través de análisis Big Data serán innumerables para el desarrollo de la triple hélice.

En resumen, este futuro estudio consistirá en la transposición de la metodología explicada en este proyecto al modelo BIM y SIG pasando por todas las escalas para la estimación del impacto ambiental y la eficiencia de recursos en los desarrollos y rehabilitaciones urbanísticos para los indicadores establecidos:

- Escala material/producto: MCD (Material de Construcción Digital).
- Escala edificatoria: UO BIM (Unidad de Obra BIM).
- Escala urbana: Interoperabilidad BIM-SIG.
- Escala territorial: Macrodatos.

Cada uno de éstos se ajustará a un único modelo informático, entendiéndose por éste las herramientas electrónicas y estándares de formatos necesarios para llevar a cabo toda la transmisión de información a todas las escalas de análisis.

1.3.2.1. Modelo de materiales de construcción digitales

En este apartado se definirá el material de construcción digital necesario para llevar a cabo el modelo de escala BIM: Producto / Edificio / Ciudad / Territorio. Realmente, se trata de un viaje de ida y vuelta. Con esto, lo que se pretende resaltar es la repercusión medioambiental que puede llegar a tener la

elección de un material a escala urbanística. Con el modelo propuesto, podría optarse por diferentes materiales con el fin de obtener un grado de reciclabilidad o de emisiones de CO_2 que no sobrepasasen un umbral límite por cada m^2. Como se verá más adelante, esas decisiones cruciales vendrán dadas por el urbanista y, por lo tanto, estas decisiones podrán afectar a la elección de los materiales, completando de este modo el mencionado viaje de ida y vuelta en el diseño de un proyecto arquitectónico: Material/Territorio.

Entrando en materia, merece la pena recordar que, sólo es necesario realizar un ACV completo sobre la fabricación del producto (etapa A1-A3) en el caso de las Declaraciones Ambientales de Producto, por lo tanto, para la presente investigación, y dada la situación inicial en la que se encuentran actualmente las DAP realizadas en nuestro país -que aun siendo varias, todavía faltan varios productos de construcción por declarar con todos los indicadores necesarios-, se tomará en primer lugar como referencia éstas, y ante la ausencia de Declaración de un determinado producto de construcción, se optará por las de Etiqueta tipo II y I cuando sean compatibles, en ese orden, y siempre que se faciliten los indicadores necesarios de cálculo, continuando a su vez con los criterios facilitados en el subapartado 1.1. Bases de datos de materiales en ausencia de éstos (artículos, investigación y otras bases de datos).

Por otro lado, la mencionada UNE-EN 15978 admite dicha situación, y, por lo tanto, ante la ausencia de DAP completamente definidas, recomienda el uso de otras fuentes, siempre que estas se encuentren debidamente justificadas y se cuente con el caso más desfavorable ante dos o más datos de productos similares.

Para lograr este objetivo, es necesario en primer lugar definir las características de impacto ambiental de los materiales de construcción digitales a partir de las DAP (véase la mencionada Tabla 5), introduciendo estos datos a través de un software BIM y gestionándolo para la creación paulatina de una base de datos con dicha información medioambiental.

En consecuencia, la parametrización de un material BIM será posible a escala producto en función a la DAP de estudio. Generalmente, las DAP se encuentran definidas por kg de material y, en ocasiones, esto permite su parametrización. Sin embargo, en determinados casos, a pesar de tratarse de un kg de un determinado producto, su impacto medioambiental no es parametrizable, puesto que estas declaraciones pueden estar definidas para un producto de unas determinadas características y dimensiones, cambiando, de este modo, su proceso de producción, embalaje y transporte, afectando no sólo

significativamente a las etapas A1-A3 del ACV, sino también a su proceso de transporte a obra, manipulación y ejecución.

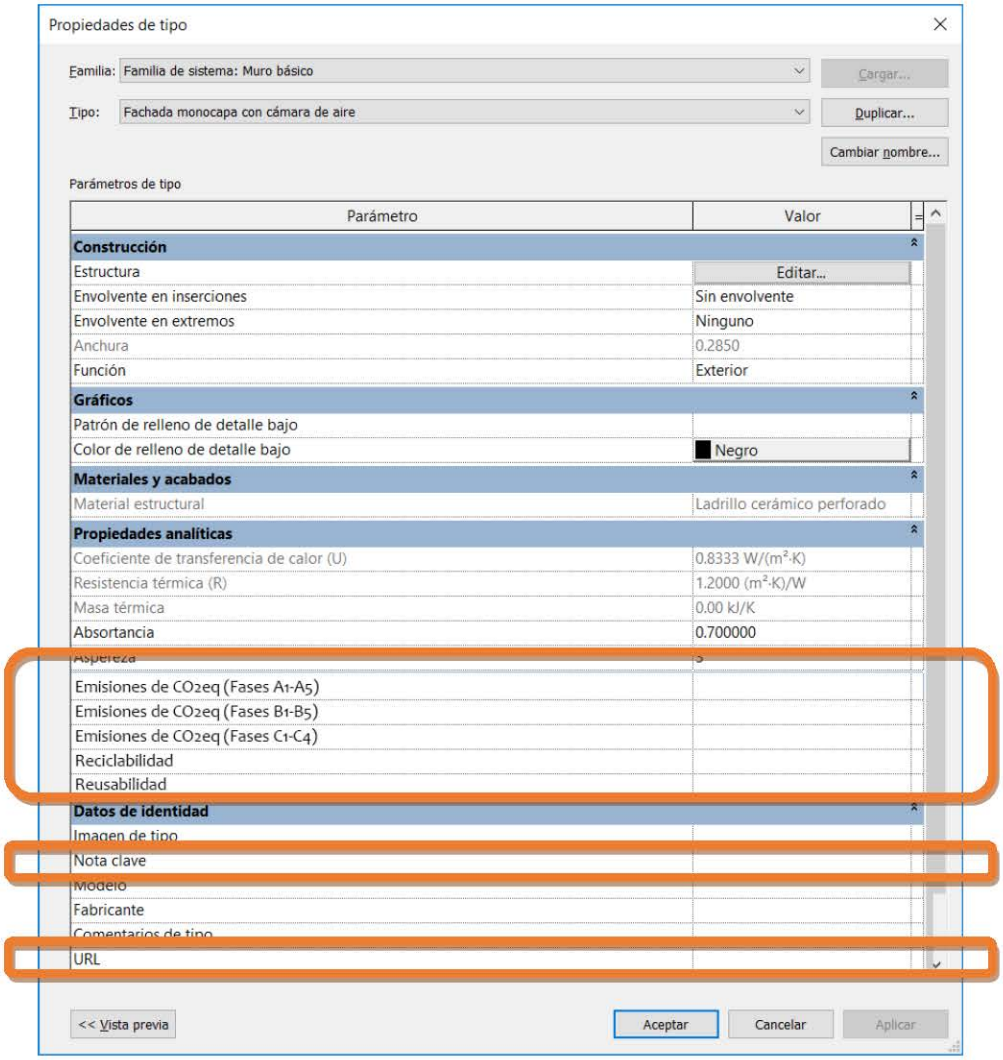

Figura 5. Ejemplo de integración de datos de impacto ambiental en un material BIM. Elaboración propia a partir de Revit de Autodesk.

En la Figura 5 se puede observar un ejemplo de esta transposición de datos del impacto ambiental desde una DAP a un MCD en BIM. También se puede observar en ésta la opción de Nota Clave, la cual nos permitirá su vinculación directa con el software de cálculo presupuestario. Una de las novedades en esta metodología estriba en la participación activa de las empresas fabricantes puesto que se propone su vinculación mediante las siguientes acciones:

- Geolocalización de los puntos de suministro de los productos.

- Inclusión de datos relativos a las DAP de sus productos (de todas las etapas disponibles).

- Vinculación en línea de los productos no sólo de sus características presupuestarias, sino también medioambientales.

El cambio propuesto podría nacer de una exigencia normativa, sin embargo, el impacto que estos productos digitales tendrían podría ser muy amplio, puesto que facilitaría mucho la labor de los profesionales, lo cual puede ser un poderoso reclamo para su utilización y una buena estrategia de marketing.

Para este tipo de material de construcción digital se propondrá que se elabore en el sistema de archivo estándar IFC, el cual es promovido por Building Smart International (véase el subapartado I.2.2.A. BIM. Building Information Modelling de la memoria de justificación del proyecto BIMpiedra) y actualmente tiene desarrollada una norma ISO.

1.3.3. Estrategias de implantación

En este apartado se desarrollarán las estrategias de implementación necesarias para poder lograr la máxima excelencia en el método teórico propuesto para la generación de una aplicación ecoeficiente de los productos de piedra natural. En los capítulos previos se ha realizado un estudio de las regulaciones que afectan directamente o pueden llegar a tener cierta influencia, creando así una serie de actuaciones de implementación a nivel teórico. Por lo tanto, se vincularán éstas en los siguientes subapartados de modo que mediante las líneas futuras de la presente investigación se llevarán a cabo.

El modelo, que fue explicado en el apartado anterior, entrañó una serie de problemáticas de cara a su implementación que serán analizadas en este apartado, este también posee una estructura dividida en escalas de actuación, Producto / Edificio / Territorio:

- En el primer apartado (Implantación a escala producto) serán descritas aquellas actuaciones necesarias para llevar a cabo el adecuado desarrollo los MCD con información necesaria al impacto ambiental.

- En el segundo apartado (Implantación a escala edificio) la implantación de BIM a todos los niveles en la triple hélice será imprescindible como eje de unión para el fortalecimiento entre las dos otras escalas.

- En el tercer y último apartado (Implantación a escala urbana y territorial. La ciudad digital) se analizarán las posibilidades que entraña la construcción de la ciudad digital, y cómo esto será posible gracias a una acción paulatina de todos los agentes del sector.

En consecuencia, en la mencionada Figura 6 se muestra esta vinculación del presente apartado 3 con el anterior 2, dándole especial importancia a todas aquellas acciones de implementación que son necesarias para llevar a buen puerto esta aplicación ecoeficiente. Por lo tanto, se desgranarán todos y cada uno de estos apartados para justificar la aplicabilidad de la investigación proponiendo las oportunas estrategias de implementación.

1.3.3.1. Implantación a escala producto. Producto digital

1.3.3.1.1. Indicadores de sostenibilidad y ecorresponsabilidad

El Reglamento (UE) nº 305/2011 fue muy importante para establecer las disposiciones específicas para la puesta en práctica del marcado CE de productos, donde merece la pena recordar la siguiente consideración:

"La Comisión y los Estados Miembros, en colaboración con los agentes interesados, deben realizar campañas de información para informar al sector de la construcción, en especial a los operadores económicos y a los usuarios de los productos de construcción, con miras a la introducción de un lenguaje técnico común, la distribución de responsabilidades entre cada uno de los agentes económicos y los usuarios, la colocación del marcado CE en los productos de construcción, la revisión de los requisitos básicos de las obras de construcción, y los sistemas de evaluación y verificación de la constancia de las prestaciones."

Esta consideración, en combinación a la ya citada, nos está marcando una clara hoja de ruta para los años venideros:

"Para la evaluación del uso sostenible de los recursos y el impacto medioambiental de las obras de construcción deben utilizarse, cuando estén disponibles, las declaraciones medioambientales de productos."

En conclusión, resulta imprescindible que fabricantes y suministradores se involucren activamente en la certificación de sus productos, de modo que la base de datos necesaria para aplicar el método teórico de la presente investigación sea factible para la ejecución de un edificio al completo usando únicamente DAP procedentes de suministradores participantes en dicha edificación.

1.3.3.1.2. Productos de piedra natural digitales

Tal y como se explicó en el apartado 4.4.2. Modelo edificatorio BIM, la definición de un MCD y un UO BIM en LOD 600 permitiría poder configurar los objetos BIM con datos de impacto ambiental, así como reciclabilidad. Y su conexión online definida en esta investigación (LOD 700), permitiría la actualización continua de dichos objetos BIM. Una vez más, sería muy importante la participación de las empresas fabricantes y suministradoras en este sentido.

Actualmente, es complicado -por no decir casi imposible-, encontrar en las principales plataformas online de descarga de objetos BIM un grado de desarrollo LOD 600, siendo lo habitual hasta un LOD 400 para elementos constructivos. Por ejemplo, se muestra a este respecto la plataforma colaborativa BIM&CO (véase la Figura 7).

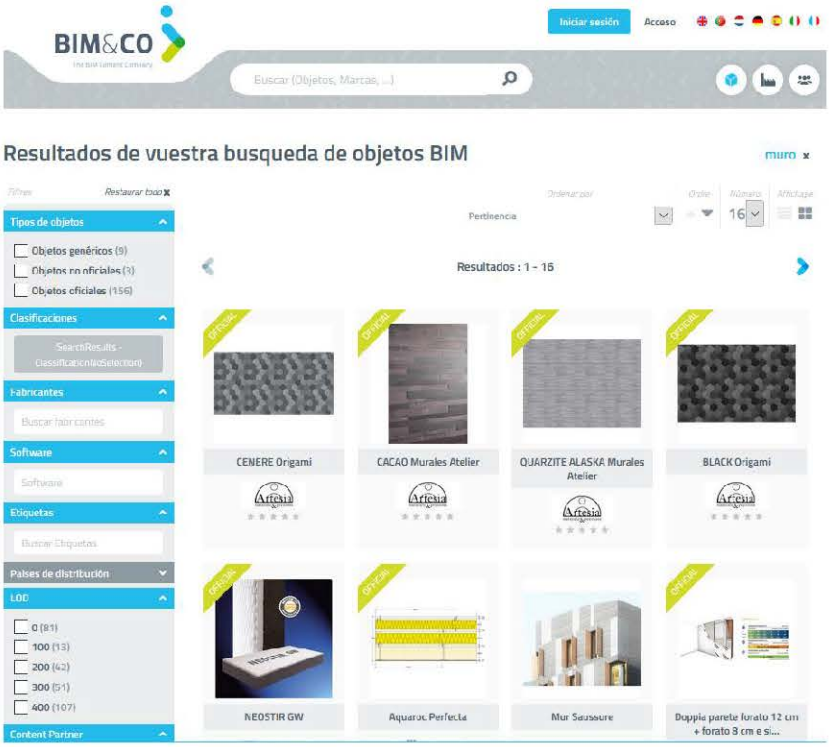

Figura 7. Ejemplo de plataforma colaborativa de intercambio de objetos BIM con niveles LOD. Hasta LOD 400 para término de búsqueda "muros". Último acceso 2017/05/21. Fuente: BIM&CO.

La conectividad en la nube a través de UO BIM en LOD700 permite un modelo de negocio diferente para las empresas fabricantes y suministradores, las cuales se verán forzadas a desarrollar por sí mismas este avance, donde tecnología y medio ambiente comparten un mismo camino, es decir, la digitalización de sus productos y la exactitud de la información en relación a su impacto ambiental.

En consecuencia, una de las novedades en esta metodología estriba en la participación activa de las empresas fabricantes (véase el apartado **¡Error! No s e encuentra el origen de la referencia.**), puesto que se propone su vinculación mediante las siguientes acciones:

- Geolocalización de los puntos de suministro de los productos.

- Inclusión de datos relativos a las DAP de sus productos (de todas las etapas disponibles).

- Vinculación en línea de los productos no sólo de sus características presupuestarias, sino también medioambientales.

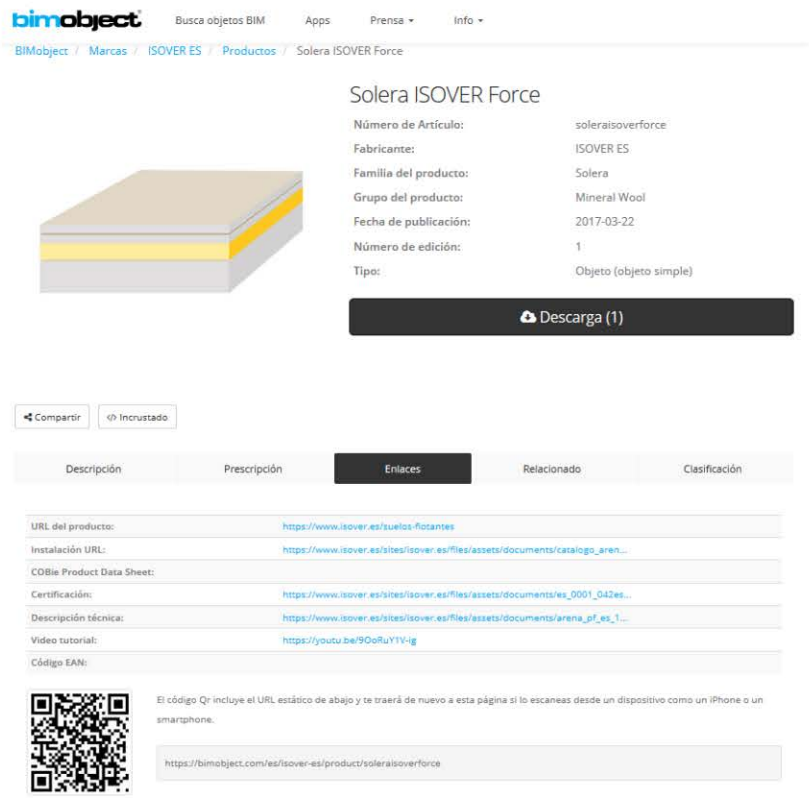

Figura 8. Ejemplo de información online contenida en un objeto BIM del fabricante.

Fuente: bimobject.

Otra vía de desarrollo que permitiría su implementación en este modelo de objetos BIM ubicados en una dirección 'url' (véase la Figura 8), sería el desarrollo de informes continuos de control de la producción, y, de este modo, conocer el stock de un determinado producto gracias el Internet de las Cosas y los estándares relacionados. Sin embargo, éste no ha sido desarrollado y se presenta en esta investigación como una futura línea de desarrollo.

Este concepto -en referencia al empleo de las url- mediante el desarrollo del software oportuno, permitiría el alojamiento de un material y, cuando éste fuese actualizado por el suministrador o el fabricante

(cambio de precio, agotamiento del stock, renovación de una DAP, etc.), éste se actualizaría automáticamente en el modelo BIM del prescriptor a través de su autorización previa. Como vía futura de investigación, ésta tendría una marcada índole comercial.

Como ya se ha mencionado anteriormente -aunque a través de una plataforma y no mediante el concepto aquí desarrollado de vinculación mediante 'url'-, esta conexión entre prescriptores y suministradores es el caso de BIMMATE, donde, por ejemplo, los profesionales que usan esta plataforma pueden solicitar presupuesto online de los materiales a los suministradores que han usado para su proyecto arquitectónico. Únicamente es posible para los materiales de dicha plataforma, y mediante el plug-in desarrollado por BIMMATE para Revit. Sin embargo, no es una vinculación automática.

1.3.4. Referencias

ALONSO MADRID, "Nivel de desarrollo LOD. Definiciones, innovaciones y adaptación a España", *Spanish journal of BIM*, 2015, Nº 15/01, págs. 40-58.

BIMMATE. https://m1.bimmate.com/magento1/

DAVE, KUBLER, FRÄMLING y KOSKELA, "Opportunities for enhanced lean construction management using Internet of Things standards", *Automation in Construction*, 2016, Nº 61, págs. 86-97.

ECO Platform. http://www.environdec.com/en/Detail/epd759

Geoportal de Información de Vivienda: sivmurcia. Unidad de Información Territorial de la Región de Murcia. Dirección General de Ordenación del Territorio, Arquitectura y Vivienda. http://sitmurcia.es/visor/?config=sivmurcia.xml

GETULI, VENTURA, CAPONE y CIRIBINI, "A BIM-based Construction Supply Chain Framework for Monitoring Progress and Coordination of Site Activities", *Procedia Engineering*, 2016, Nº 164, págs. 542-549.

ISOVER. ECO Platform. http://www.environdec.com/en/Detail/epd759

MARTÍNEZ ROCAMORA, Evaluación económica y ambiental del uso y mantenimiento de edificios, Universidad de Sevilla, 2016.