



UCAM

UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE MURCIA

ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO
Programa de Doctorado en Urbanismo

Viabilidad para generar territorios sostenibles. Aplicación
ecoeficiente de materiales y sistemas constructivos en los
desarrollos y rehabilitaciones urbanísticos.

Autor:

David Caparrós Pérez

Directores:

Dr. D. Cesáreo Gil de Pareja Otón

Dr. D. Francisco Victoria Jumilla

Murcia, mayo de 2017



UCAM

UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE MURCIA

ESCUELA INTERNACIONAL DE DOCTORADO
Programa de Doctorado en Urbanismo

Viabilidad para generar territorios sostenibles. Aplicación
ecoeficiente de materiales y sistemas constructivos en los
desarrollos y rehabilitaciones urbanísticos.

Autor:

David Caparrós Pérez

Directores:

Dr. D. Cesáreo Gil de Pareja Otón

Dr. D. Francisco Victoria Jumilla

Murcia, mayo de 2017



UCAM
UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE MURCIA

**AUTORIZACIÓN DE LOS DIRECTORES DE LA TESIS
PARA SU PRESENTACIÓN**

El Dr. D. Cesáreo Gil de Pareja Otón y el Dr. D. Francisco Victoria Jumilla como Directores de la Tesis Doctoral titulada “Viabilidad para generar territorios sostenibles. Aplicación ecoeficiente de materiales y sistemas constructivos en los desarrollos y rehabilitaciones urbanísticos” realizada por D. David Caparrós Pérez en el Departamento de Ciencias Politécnicas, **autoriza su presentación a trámite** dado que reúne las condiciones necesarias para su defensa.

Lo que firmo, para dar cumplimiento al Real Decreto 99/2011, 1393/2007, 56/2005 Y 778/98, en Murcia a 26 de mayo de 2017.

Dr. D. Cesáreo Gil de Pareja Otón

Dr. D. Francisco Victoria Jumilla

UCAM



EIDUCAM
Escuela Internacional
de Doctorado

RESUMEN

El desarrollo actual de la interoperabilidad entre los metadatos generados por las emergentes tecnologías BIM (Building Information Modelling) en los SIG (Sistemas de Información Geográfica) llegará a suponer una revolución para el modo en el que los profesionales de los campos de la AIC (Arquitectura, Ingeniería y Construcción) desarrollan su trabajo día a día, ya que toda la información podrá ser volcada en estos sistemas y reinterpretada para el conocimiento exhaustivo de los desarrollos y rehabilitaciones urbanísticos desde el punto de vista medioambiental, donde su integración en la triple hélice será crucial para su implementación. Por lo tanto, se plantea en este estudio una metodología para el cálculo de emisiones de CO₂ y la reciclabilidad de los materiales de construcción mediante BIM, así como las oportunas estrategias de implantación a todos los niveles mediante la interoperabilidad con SIG.

Palabras clave: BIM, SIG, CO₂, interoperabilidad, datos masivos, construcción, urbanismo.

ABSTRACT

The current development of interoperability among metadata which is generated by the emerging BIM technologies (Building Information Modelling) for GIS (Geographic Information Systems) will come to be a revolution for the way in which the professionals of the fields of AEC (Architecture, Engineering and Construction) developing their work day by day, since all the information can be transferred in these systems and reinterpreted for the accurate knowledge of urban and rehabilitation developments and from the environmental point of view, where its integration in triple helix will be crucial for its implementation. Therefore, a methodology for the calculation of CO₂ emissions and recyclability of construction materials through BIM is proposed in this study, as well as appropriate implementation strategies at all levels through GIS interoperability.

Keywords: BIM, GIS, CO₂, interoperability, Big Data, construction, urbanism.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, dar las gracias a mi familia, tanto a los que están como a los que ya se fueron, por apoyarme con paciencia y dedicación en los momentos más duros, en especial a mi mujer Yulin y a mis hijos Manu y Nina. Muchos de los logros son debidos a vosotros, en los que incluyo este. Espero devolveros el tiempo perdido cuando termine de subir esta montaña llamada "Tesis".

A mis directores de tesis, Dr. Cesáreo Gil de Pareja y Dr. Francisco Victoria Jumilla, sobre los cuales sólo se me ocurren palabras de gratitud y alabanza, por sus consejos, paciencia y sobre todo por su amistad.

A mis compañeros de andanzas en este cansado viaje, Pedro Ángel Martínez Martínez y Moisés Martínez Rubio, soportando juntos con paciencia la arrítmica, aparatosa y precipitada forma de trabajar en nuestras tesis fruto del devenir de la vida y la necesidad de centrarse en otros avatares.

A mis compañeros del Centro Tecnológico del Mármol, Piedra y Materiales, en especial a Diego Marín Baquero y a mi director Francisco Javier Fernández Cortés, así como a Laura Robles Martínez y Juana María Torrecilla Abril, sin las cuales estos últimos meses hubiesen sido aún más duros.

También quisiera agradecer a todos los profesionales que he conocido fruto de buscar financiación en proyectos europeos basados en esta tesis -OERCO2, FootBIM, UrbanBIM, EConstruction, etc.-, destacando a los investigadores de las universidades de Sevilla, de Ciencias Aplicadas de Saimaa, la Sapienza de Roma y Transilvania de Brasov, y a otros tantos profesionales de importantes entidades como Steven Borncamp de Green Building Council o Benjamín González Cantó de Cype Ingenieros, puesto que sin ellos esta investigación nunca hubiese podido mejorar.

Mamá, papá, gracias por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad. Me formasteis con ciertas reglas y libertades, pero igualmente, me motivasteis con constancia para alcanzar mis anhelos. Ahora creo que podré dormir algo más, así que podéis dejar de decirme que me cuide más.

“La clave no radica en reducir la industria y los sistemas humanos, como propugnan los abogados de la eficiencia, sino en diseñarlos para que sean mayores y mejores de un modo tal que reponga, repare y alimente al resto del mundo”.

McDonough y Braungart,
Cradle to cradle (de la cuna a la cuna), 2005.

ÍNDICE GENERAL

SIGLAS Y ABREVIATURAS	17
I. INTRODUCCIÓN.....	21
1.1. HIPÓTESIS	23
1.2. OBJETIVOS	23
1.2.1. Objetivo principal	23
1.2.2. Objetivos específicos	24
1.3. JUSTIFICACIÓN	25
1.3.1. Consumo y crecimiento	25
1.3.2. Sostenibilidad.....	30
1.4. CONTENIDO GENERAL DE LA TESIS.....	33
1.4.1. Planteamiento.....	33
1.4.2. Alcance	37
1.4.3. Contenido general	40
BLOQUE 1. ESTADO DE LA CUESTIÓN.....	43
II – MARCO NORMATIVO.....	45
2.1. ESCALA PRODUCTO	48
2.1.1. Derecho comunitario en la escala producto	49
2.1.2. Declaraciones Ambientales de Producto	50
2.2. ESCALA EDIFICIO	54
2.2.1. Derecho comunitario en la escala edificio.....	54
2.2.2. BIM. Building Information Modelling.....	58
2.2.3. Rehabilitación: ITE/IEE	64
2.3. ESCALA URBANA Y TERRITORIAL.....	67
2.3.1. Derecho comunitario en la escala edificio.....	67
2.3.2. SIG. Sistema cartográfico actual	72
2.4. CONCLUSIONES SOBRE EL MARCO NORMATIVO	78
BLOQUE 2. MODELO DE VIABILIDAD TERRITORIAL.....	81

III – METODOLOGÍA	83
IV – DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN	89
4.1. INDICADORES Y MÉTODOS DE CÁLCULO	92
4.1.1. Actuales indicadores de cálculo	92
4.1.2. Elección del indicador y método de cálculo	101
4.2. ENTRADA DE DATOS	106
4.2.1. Bases de datos de materiales.....	107
4.2.2. Bases de datos de Unidades de obra (UO).....	116
4.3. MEJORAS TEÓRICAS PARA LA PRECISIÓN DEL CÁLCULO.....	121
4.3.1. Etapa de producto	124
4.3.2. Etapa de construcción de obra nueva.....	124
4.3.3. Etapa de rehabilitación	124
4.3.4. Etapa de deconstrucción.....	127
4.3.5. Etapa de reciclado o vertido.....	127
4.4. ESCALAS DE LA APLICACIÓN ECOEFICIENTE	128
4.4.1. Modelo de materiales de construcción digitales.....	132
4.4.2. Modelo edificatorio BIM.....	135
4.4.3. Modelo cartográfico BIM-SIG.....	141
4.4.4. Modelo BIG DATA aplicado a los desarrollos y rehabilitaciones urbanísticas.....	148
4.5. ESTRATEGIAS DE IMPLANTACIÓN TERRITORIAL.....	151
4.5.1. Implantación a escala producto. Producto digital	153
4.5.1.1. Indicadores de sostenibilidad y ecorresponsabilidad	153
4.5.1.2. Materiales de construcción digitales	154
4.5.2. Implantación a escala edificio. Edificio en BIM	157
4.5.2.1. Certificaciones en edificación sostenible	158
4.5.2.2. Obra nueva exigida en BIM.....	161
4.5.2.3. IESE (Informe de Evaluación de la Sostenibilidad de Edificios).....	163
4.5.3. Implantación a escala urbana y territorial. La ciudad digital	167
4.5.3.1. Construcción de la Ciudad Digital	167
4.5.3.2. Integración de la Ciudad Digital en la Economía Circular..	171
BLOQUE 3. CONTINUACIÓN DE LA TESIS	177

V – CONCLUSIONES	179
ANEXOS	195
ANEXO 1: DOCUMENTACIÓN GRÁFICA.....	197
ANEXO 2: TABLAS DE CÁLCULO	204
ANEXO 3: LÍNEAS PREVIAS DE INVESTIGACIÓN PREVIAS	208
Proyecto BELIEFF	208
Proyecto SMARTe	210
Proyecto CLOUD-HERITAGE.....	211
Proyecto TransCITY	212
ANEXO 4: PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN CONCEDIDOS RELACIONADOS CON LA TESIS.....	215
Proyecto STONEPLACING.....	215
Proyecto OERCO2	215
Proyecto ECOstruction.	216
ANEXO 5: LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN ABIERTAS	218
Proyecto BIMCLAY	218
Proyecto BIMUSE/EcoBIM	219
Proyecto FootBIM.....	221
ANEXO 6: TRANSFERENCIA DE LOS RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN	223
Proyecto UrbanBIM.....	223
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y FUENTES	229
A. BIBLIOGRAFÍA	231
B. NORMATIVAS, REGLAMENTOS Y COMUNICACIONES	236
C. GUÍAS E INFORMES.....	242
D. WEBS CONSULTADAS.....	243
E. SOFTWARE Y APLICACIONES ONLINE CONSULTADAS	245
ÍNDICE DE FIGURAS	247
ÍNDICE DE TABLAS	251
ÍNDICE DE ANEXOS	253

SIGLAS Y ABREVIATURAS

3D: Tres dimensiones

7PM: Séptimo Programa Marco. Véase FP7.

ACV: Análisis del Ciclo de Vida.

AEN/CTN: Asociación Española de Normalización y Certificación / Comité Técnico de Normalización.

EIA: Evaluación de Impacto Ambiental.

AIC: Arquitectura, Ingeniería y Construcción.

ADP: Potenciales de Agotamiento Abiótico, del inglés Abiotic Depletion Potentials.

BIM: Modelado de información para la edificación, del inglés Building Information Modelling.

DGC: Dirección General del Catastro.

CENER: Centro Nacional de Energías Renovables.

CityGML: City Geography Markup Language.

CO₂: Dióxido de Carbono.

CO₂eq: Dióxido de Carbono equivalente.

COAMU: Colegio Oficial de Arquitectos de la Región de Murcia.

CODIIGE: Consejo Directivo de la Infraestructura de Información Geográfica de España.

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

CTN: Comité Técnico de Normalización

DAP: Declaración Ambiental de Producto.

DXF: Drawing Exchange Format.

EDP: Environmental Product Declaration, Véase DAP.

EE: Eficiencia Energética.

EEA: Agencia Europea del Medioambiente.

EECN: Edificios de Energía Casi Nula. Véase nZEB.

EN: Norma Europea, del inglés European Normative.

ESL(j): Vida útil estimada del producto “j”.

EPBD: Directiva de Eficiencia Energética de los Edificios, el inglés Energy Performance of Buildings Directive.

EU: European Union. Véase UE.

FP7: Framework Programme 7th. Véase 7PM.

GEI: Gases de Efecto Invernadero.

GIS: Geological Information System. Véase SIG.

GML: Geography Markup Language.

ITE: Inspección Técnica de Edificios.

IEE: Informe de Evaluación de Edificios.

IFC: Industry Foundation Classes.

IGN: Instituto Geográfico Nacional.

ISO: Organización Internacional de Normalización, del inglés International Organization for Standardization.

KW: Kilovatios

LCA: Life Cycle Analysis. Véase ACV.

LoD: Niveles de Detalle, del inglés Level of Detail.

LOD: Niveles de Desarrollo, del inglés Level Of Development.

MCD: Material de Construcción Digital.

MJ: Megajulios

MTD: Mejores Tecnologías Disponibles.

nZEB: Nearly Zero Energy Building. Véase EECN.

OGC: Consorcio Geoespacial Abierto, del inglés Open Geospatial Consortium.

ONU: Organización de las Naciones Unidas

PERI: Plan Especial de Reforma Interior.

PGMO: Plan General Municipal de Ordenación.

RCP: Reglas de categoría de producto.

RSL: Vida Útil de Referencia, del inglés Reference Service Life.

RSP: Periodo de estudio de referencia del edificio.

ReqSL: Vida útil requerida del edificio.

SIG: Sistemas de Información Geográfica. Véase GIS.

UE: Unión Europea, véase EU.

UNE: Una Norma Española.

UO: Unidad de Obra.

UO BIM: Unidad de Obra BIM.

XML: Lenguaje de Marcado Extensible, del inglés eXtensible Markup Language.

I. INTRODUCCIÓN

I. INTRODUCCIÓN

1.1. HIPÓTESIS

En la presente tesis se plantea la siguiente hipótesis: ¿cómo debería abordarse la viabilidad para la generación de territorios sostenibles desde el punto de vista de la ecoeficiencia a escala producto y constructiva en los desarrollos y rehabilitaciones urbanísticos mediante el uso de aplicaciones y herramientas informáticas?

Para dar respuesta a la pregunta generada por esta hipótesis, se definirá un indicador para establecer un parámetro cuantificable y tener de este modo unos baremos de viabilidad territorial, a continuación, un modelo de cálculo centrado en el indicador y por último, se desarrollará la base teórica para la producción de una aplicación de cálculo informatizada, así como las estrategias de implantación, todo ello, sin dejar de lado en ningún momento el estado del arte actual, así como las posibles tendencias y caminos que tomará el urbanismo sostenible, como pieza clave de un modelo lo más realista posible.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo principal

La presente tesis tiene como objetivo principal la descripción teórica de una aplicación ecoeficiente de materiales y sistemas constructivos con el fin de generar territorios sostenibles, estableciendo estrategias de implantación para su uso en los desarrollos y rehabilitaciones urbanísticos.

Por lo tanto, esta tesis ve la necesidad de establecer las bases teóricas de una herramienta de análisis útil para los profesionales del sector de la construcción, que globalice todas las actuaciones y avances que se están realizando en estos campos a nivel de producto desde el punto de vista medioambiental y que, y por lo tanto, extrapole esta información a la ciudad y al edificio y que logre gestionarla, en la medida de lo posible, como si se tratase de un árbol -con un

metabolismo circular- y centrándonos, por ello, en el empleo de materiales y sistemas de construcción que sean biodegradables o bien tecno-degradables, es decir, que se puedan reutilizar o reciclar, y que sean menos contaminantes y más eficientes energéticamente.

Dicha aplicación se desarrollará teóricamente para ser empleada en desarrollos urbanísticos y obras de edificación, tanto en obra nueva como rehabilitación, teniendo también en cuenta criterios de autoabastecimiento por encima de los de mercados globalizados (o mejor dicho, “monopolizados”) y comenzado desde los Planes Generales la elección correcta de los materiales y sistemas constructivos a emplear, hasta la escala edificatoria.

Por lo tanto, la presente tesis se encuentra perfectamente alineada con varias de las estrategias de promoción de desarrollo sostenible a escala mundial, contenidas en el "7º Programa General de Acción de la Unión en materia de Medio Ambiente", que orienta la actual política de la UE hasta el 2020¹.

1.2.2. Objetivos específicos

Los objetivos específicos planteados son los siguientes:

- 1) Investigar un criterio común y fácilmente entendible por los profesionales de la arquitectura y el urbanismo para valorar:
 - Reciclabilidad y/o reuso de materiales en los proyectos arquitectónicos.
 - Materiales y procesos constructivos menos contaminantes y/o emisores de GEI.
 - Uso de materiales de la industria local.
- 2) Analizar un método teórico común de emisiones de CO₂eq y reciclabilidad en los procesos constructivos (durante toda la vida útil de la edificación, es decir, construcción, rehabilitación y deconstrucción) para ser aplicada en estimaciones, dando un valor cuantificable y medible para los profesionales del sector.

¹ VII PMA – Programa General de Acción de la Unión en materia de Medio Ambiente hasta 2020. <http://ec.europa.eu/environment/pubs/pdf/factsheets/7eap/es.pdf>

- 3) Definir las características del marco normativo idóneo para la concienciación e implementación de los objetivos de la tesis.
- 4) Demostrar la utilidad de herramientas informáticas basadas en BIM y SIG para el cálculo de emisiones de CO₂eq y buen uso de los recursos materiales en los desarrollos urbanísticos.
- 5) Descripción teórica de un software para el cálculo de emisiones de CO₂, buen uso de los recursos materiales y reciclabilidad en los desarrollos y rehabilitaciones urbanísticos basada en tecnología BIM y SIG.
- 6) Establecer y plantear las estrategias de implementación de las futuras líneas de investigación para el fortalecimiento de los criterios de eficiencia de los recursos materiales en los desarrollos urbanísticos y no únicamente desde el punto de vista energético.

1.3. JUSTIFICACIÓN

1.3.1. Consumo y crecimiento

Resulta complicado concienciar a la sociedad de que un planeta con una superficie en torno a 510 millones de km² posee sus limitaciones, de los cuales el 29% es superficie terrestre, y que a su vez también posee limitaciones en cuanto al aprovechamiento de sus recursos naturales y energéticos (por ejemplo, sólo el 11% de la superficie terrestre del planeta es cultivable y el 2% agua potable)².

Desde el año 1.800 aproximadamente, al 30 de octubre de 2011, la población mundial aumentó de los 1.000 millones a los 7.000 millones (actualmente, 7.200 millones³), gracias a los grandes avances en medicina unidos a la revolución científica de la química moderna, la optimización de la producción agrícola y los avances en ingeniería agrícola, así como los avances tecnológicos. La tendencia

² GREENPEACE INTERNATIONAL. <http://www.greenpeace.org/international/en/>

³ NACIONES UNIDAS. Departamento de Asuntos Económicos y Sociales. *La situación demográfica en el mundo*. Nueva York, 2014. <http://www.un.org/en/development/desa/population/publications/pdf/trends/Concise%20Report%20on%20the%20World%20Population%20Situation%202014/es.pdf>

normal de cualquier país en vías de desarrollo es el éxodo de los habitantes del campo a las ciudades, generando de este modo monstruosas urbes que poco tienen que ver con el carácter vernáculo de los pequeños asentamientos. Esto ha generado que en los últimos 100 años el ser humano haya multiplicado su consumo energético 16 veces y multiplicado por 5 la contaminación del aire y originado una fragmentación de hábitats y ecosistemas naturales sin precedentes.

Además, el modelo capitalista alimentado por una sociedad de consumo que crea satisfactores y no necesidades en el ciudadano, tiene su razón de ser en el mismo consumo y su consecuencia en la obsolescencia programada, y, por lo tanto, un estancamiento de estos procesos originan cíclicas depresiones económicas con una preocupante vinculación a los recursos energéticos y materiales de los territorios. Para añadirle más dramatismo a la situación, el propio modelo capitalista necesita de un crecimiento de la población continuo para evitar su estancamiento, con el fin de retroalimentar el mencionado consumo desenfrenado. Los recursos energéticos y materiales han sido consumidos sin considerar su cénit de inicio de agotamiento, su renovabilidad o no, o bien su gestión como residuos. Hoy día, para la mayoría de los productos ‘cuesta’ menos tirar que ‘arreglar’, ya que en la práctica se superpone el coste de producción al coste medioambiental.

La EEA sostiene que la economía europea está basada en un elevado consumo de recursos. Entre ellos se incluyen las materias primas (metales, minerales para construcción o madera) y energía. En 2014, la cantidad total de residuos generados en la EU-28 por la totalidad de actividades económicas y hogares ascendió a 2.598 millones de toneladas. A estas cifras el sector de la construcción contribuyó situándose en primer lugar con un 33,5 % del total (871 millones de toneladas), seguidas de las industrias extractivas (29,8 % o 774 millones de toneladas) y donde cabe descartar los hogares (8,1 % o 209 millones de toneladas)⁴, lo cual se puede observar gráficamente en la Figura 1.

⁴ EUROSTAT. Statistics Explained. Waste statistics http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Waste_statistics

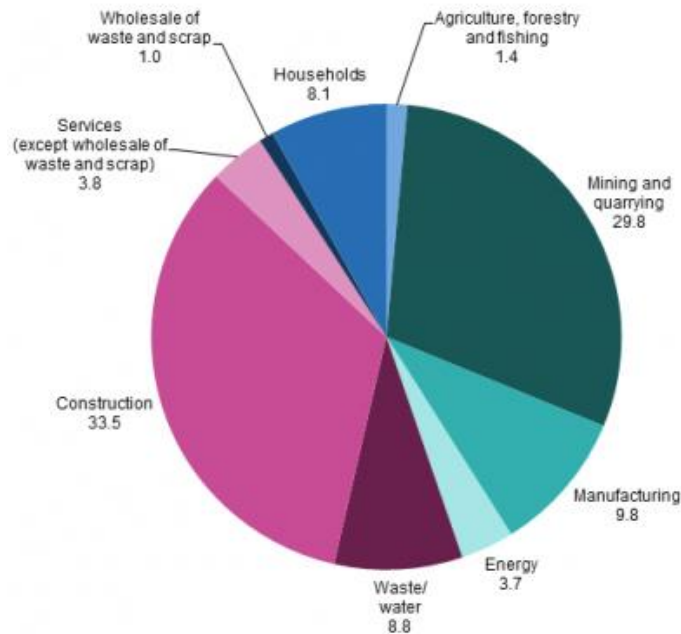


Figura 1. Generación de residuos por actividad económica y hogares (Waste generation by economic activities and households, EU-28, 2014). Fuente: Eurostat.

De acuerdo con el Libro Verde de la Comisión Europea⁵, el 50% de la energía primaria consumida en Europa era importada del exterior en el año 2000, lo cual poco ha variado con respecto a los datos más actuales hasta la fecha, un 53,4%⁶ -72,9% en el caso de España-, lo que origina un riesgo para la estabilidad económica del continente. Además, la Directiva 2002/91/CE⁷ -ya derogada- situaba en más del 40% del total de energía primaria consumida en Europa la utilizada en edificios residenciales y corporativos, cifra que también se mantiene

⁵ LIBRO VERDE DE LA COMISIÓN, de 29 de noviembre de 2000, «Hacia una estrategia europea de seguridad del abastecimiento energético» <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=URISERV%3A127037>

⁶ EUROSTAT. News release. Energy dependency in the EU. <http://ec.europa.eu/eurostat/documents/2995521/7150363/8-04022016-AP-EN.pdf/c92466d9-903e-417c-ad76-4c35678113fd>

⁷ DIRECTIVA 2002/91/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, de 16 de diciembre de 2002, relativa a la eficiencia energética de los edificios.

en la Directiva 2010/31/UE⁸. El 80% de esta energía es empleada en calefacción y climatización del edificio, donde los sistemas de cerramiento son un aspecto crítico para una gestión energética eficiente. Esta directiva, a su vez, constituye la base legal del pasaporte energético, el cual ya se aplica en varios países europeos para nuevas construcciones y para la rehabilitación de los edificios existentes y que tiene el fin de valorar la eficiencia energética de los edificios residenciales.

La ONU estima que en año 2.025 el 80% de la población mundial vivirá en ciudades, donde se calcula que la población crecerá hasta los 8.100 millones en ese año⁹. El metabolismo urbano de las ciudades actuales con un modelo de desarrollo difuso que se ha generado principalmente por el desenfrenado aumento de la población y del denominado, hoy en día, bienestar social y la aparición del coche como método de transporte principal de la unidad familiar, tiene además en los edificios los grandes responsables de generar el 50 % de los GEIs.

A este respecto se puede añadir, y más concretamente en el caso de España, que en los compromisos adquiridos en cumplimiento al Protocolo de Kioto en el periodo del 2008 al 2012, España no debía aumentar sus emisiones en más de un 15% respecto al año 1990, sin embargo, se incrementaron al 22%, tal y como puede observarse en la Figura 2¹⁰.

⁸ DIRECTIVA 2010/31/UE de 19 de mayo de 2010, relativa a la eficiencia energética de los edificios.

⁹ NACIONES UNIDAS. Departamento de Asuntos Económicos y Sociales. *La situación demográfica en el mundo*. Nueva York, 2014. <http://www.un.org/en/development/desa/population/publications/pdf/trends/Concise%20Report%20on%20the%20World%20Population%20Situation%202014/es.pdf>

¹⁰ VICTORIA JUMILLA, MOROTE MORATÓN, CAMPILLO MATEO y PALAZÓN PÉREZ, "Las emisiones de gases de efecto invernadero en la Región de Murcia", *Evaluación basada en indicadores. Trabajos del Observatorio Regional del Cambio Climático*, Consejería de Agua, Agricultura y Medio Ambiente. Oficina de Impulso Socioeconómico del Medio Ambiente, Murcia (España), 2015, págs. 199-233.



Figura 2. Emisiones de CO₂eq (kt) en España. Fuente: "Las emisiones de gases de efecto invernadero en la Región de Murcia" (2015).

Concretamente las exigencias marcadas por la Unión Europea fueron de reducir las emisiones en un 20% de cara al 2020 y un 40% de cara a 2030. Para los sectores difusos¹¹ -aquellos que no están incluidos en la Ley 1/2005¹² y modificada por la Ley 13/2010, emisores de GEI-, donde se encuentra el sector de la construcción, "los esfuerzos deben centrarse en la reducción de emisiones de los sectores difusos con el fin que España cumpla con sus compromisos de reducción de emisiones difusas para el año 2020, así como en la aplicación de medidas de adaptación a los efectos del cambio climático¹³".

Por lo tanto, respecto a 2005, los objetivos anteriormente mencionados del 20% y 40% se ajustaron estableciendo que las reducciones de emisiones para el caso de España en los sectores difusos deberán ser de un 10% para el 2020 y de un

¹¹ Edificación, Movilidad y Transporte, Sector Agrario, Sector Residuos, Industrial no sujeto a ETS y Gases fluorados.

¹² LEY 1/2005, de 9 de marzo, por la que se regula el régimen del comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero.

¹³ LEY 13/2010, de 5 de julio, por la que se modifica la Ley 1/2005, de 9 de marzo, por la que se regula el régimen del comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero, para perfeccionar y ampliar el régimen general de comercio de derechos de emisión e incluir la aviación en el mismo.

26% para el 2030¹⁴. Esto quiere decir que el sector de la construcción debería contribuir con su correspondiente porcentaje de cara a cumplir con estas exigencias medioambientales.

Habida cuenta del panorama en el que se haya el macro-urbanismo de hoy en día -que nos obliga a replantearnos los modelos actuales de desarrollo y rehabilitación de las urbes a diferentes escalas (material, producto, ciudad e, incluso, planeta) y planos de trabajo (económico, social, medio ambiental, etc.)-, es imposible abstraerse de la realidad que rodea los profesionales del sector para tratar de solucionar los cada vez más graves problemas que se avecinan para gestionar las ciudades.

Esta investigación nace con la intención de analizar la importancia y, sobre todo, la necesidad de concienciar a la sociedad sobre el buen uso y eficiencia de los recursos naturales en la construcción, totalmente contraria a la era desenfrenada del consumismo actual de productos perecederos y que a la vista del consumidor resultan aparentemente irreparables y no reutilizables. Por eso, se desea lograr esto abarcando todas estas escalas, puesto que en la suma de las pequeñas acciones (elección de los materiales) es donde se ven los grandes resultados (desarrollos urbanísticos).

1.3.2. Sostenibilidad

Está claro que el recurso más barato es aquel que no se consume, y actualmente las estrategias de la Unión Europea van encaminadas en este respecto como fundamentos para una mayor competitividad en los mercados internacionales, como las iniciativas emblemáticas orientadas al Horizon2020, comenzando, de este modo, a encontrarnos un escenario favorable en el sector de la edificación para la reducción de emisiones de CO₂eq, cuyas acciones radican en reinventarse a sí mismo.

Por otro lado, el Comité Europeo de Normalización a través de su Comité Técnico de Normalización 350 sobre Construcción Sostenible, ha desarrollado y continúa también actualmente desarrollando una serie de Normas encaminadas a

¹⁴ VICTORIA JUMILLA, Competitividad y Cambio Climático. Informe para el Consejo Económico y Social de la Región de Murcia, Compobell, S.L., 2016.

evaluar la sostenibilidad de edificios. Éstas se basan en tres pilares de la sostenibilidad: la vertiente social, económica y de ciclo de vida: “uno de los desarrollos más destacables del grupo de normas desarrollado es la UNE-EN 15804¹⁵ que establece las Declaraciones Ambientales de Producto y sus reglas de desarrollo”¹⁶. También cabe destacar las dos partes de la UNE-EN 15643¹⁷, enfocadas a la evaluación de la sostenibilidad.

Por lo que respecta a España, el CTE “representa un paso más en el camino que llevará al uso intensivo en España de las fuentes renovables de energía, al aumento de la eficiencia energética en el consumo y a la disminución del uso de combustibles fósiles y emisiones de CO₂, según el objetivo del Protocolo de Kioto”¹⁸. Sin embargo, sin contar con los actuales certificados de sostenibilidad, todavía no se ha desarrollado en nuestro país una normativa específica de obligado cumplimiento para la eficiencia de recursos materiales.

Hoy en día, las palabras sostenibilidad y eficiencia están de moda en el mundo del diseño (eco-diseño, eco-vivienda, eco-urbanismo, eco-..., etc.), donde es muy común el planteamiento del ciclo total de vida de los productos, es decir, desde el proceso de fabricación, hasta el final de la vida de un producto, tratando de crear ciclos cerrados, como en la biosfera, denominados tecnosfera¹⁹. Michael Braungart y William McDonough que el “enfoque no está únicamente en reducir los consumos, sino también en promover una nueva revolución industrial: la reinención de procesos industriales que aporten soluciones saludables” y crear

¹⁵ UNE-EN 15804:2012+A1:2014. Sostenibilidad en la construcción. Declaraciones ambientales de producto. Reglas de categoría de producto básicas para productos de construcción.

¹⁶ ALARCÓN BARRIO y CARRASCÓN ORTIZ, "La sostenibilidad en la construcción. Una visión práctica", *Cemento Hormigón*, 2012, N^o 948, págs. 66-74.

¹⁷ UNE-EN 15643-1:2012 y UNE-EN 15643-2:2012 sobre Sostenibilidad en la construcción. Evaluación de la sostenibilidad de los edificios. Parte 1: Marco general y Parte 2: Marco para la evaluación del comportamiento ambiental, respectivamente.

¹⁸ BUENO DORREGO y GARVÍA VEGA, "Nuevo código técnico de la edificación", *Anales de mecánica y electricidad*, 2006, N^o 83 (2), págs. 36-41.

¹⁹ BRAUNGART y MCDONOUGH, *Cradle to cradle (De la cuna a la cuna): Rediseñando la forma en la que hacemos las cosas*, S.A. McGraw-Hill/Interamericana de España, 2005.

una industria en la que “todo pueda reutilizarse, ya sea que el producto vuelva a la tierra como ‘nutriente biológico’ no tóxico o vuelva a la industria como ‘nutriente técnico’, es decir, que pueda ser reciclado una y otra vez”. Estos autores, en la misma publicación, definen igualmente de una manera bastante certera los objetivos que se pretenden lograr en los planteamientos de la presente tesis:

“Nos gustaría proponer un nuevo objetivo al diseño. En lugar de ir refinando la actual infraestructura destructiva, ¿por qué no se reúnen personas e industrias para empezar a crear lo que sigue?:”

- (...) “Productos que, una vez finalizada su vida útil, no se conviertan en basura inútil, sino que puedan ser devueltos al suelo para que se descompongan y se conviertan en alimentos para plantas y animales y en nutrientes para la tierra; o en caso contrario, que puedan ser reincorporados a los ciclos industriales para proporcionar materias primas de alta calidad para nuevos productos.”

- “Materiales por valor de miles de millones, incluso de billones de dólares, recuperados anualmente para usos humanos y naturales (...).”

Existe actualmente, por tanto, una tendencia ecologista desde el punto de vista del urbanismo, la arquitectura y el diseño de producto para lograr la máxima eficiencia y ahorro, pero esta tesis integrará todos estos campos abarcando todas las escalas y gestionándolas como una cadena de valor integrada con el objetivo de dotar al urbanista de una metodología de planificación de la materialidad de los desarrollos y conservación de los entornos urbanos, y no únicamente centrada en el diseño y planificación, como resulta ser la tendencia actual. Es por eso que las acciones de implementación que se propondrán, tendrán su base de acción en la triple hélice (Gobierno / universidades / empresas)²⁰.

El planteamiento de trabajo respecto a diferentes escalas, desde el uso de materiales y sistemas constructivos hasta el planteamiento de ciudades que

²⁰ CHANG CASTILLO, "El modelo de la triple hélice como un medio para la vinculación entre la Universidad y Empresa", *Revista Nacional de Administración*, 2010, Nº 1 (1), 85-94.

cierren el ciclo de la bio/tecnosfera, será la base en torno a la que deberá regirse el futuro urbanista/proyectista, y no únicamente los aspectos económicos.

Fruto de estas estas tendencias, que no tienen sino su origen en una necesidad primaria para las próximas generaciones, es fundamental para la creación de herramientas útiles para los prescriptores del sector de la construcción, cómo útil de concienciación de los materiales y procesos constructivos de desarrollos y rehabilitaciones urbanísticos, así como establecer también las estrategias para su implantación a nivel legislativo, educativo y empresarial.

1.4. CONTENIDO GENERAL DE LA TESIS

1.4.1. Planteamiento

La presente tesis doctoral abarcará la problemática de establecer un flujo información medioambiental desde el producto -obtención de la información sobre impacto ambiental de materiales de construcción- hasta el territorio -para su uso en, por ejemplo, en Evaluaciones de Impacto Ambiental-, consiguiendo, de este modo, un marco netamente teórico para la definición de las herramientas informáticas a emplear y la interoperabilidad entre éstas, así como las estrategias de implementación básicas para su consecución a través de las regulaciones a nivel normativo oportunas.

Para su consecución, se recopilará toda la documentación necesaria en relación a normativas, investigaciones y proyectos europeos y nacionales -previos o ejecutándose actualmente- con el fin de desarrollar una investigación documental sólida de base teórica.

De este modo, la presente tesis se ve forzada a abarcar hasta tres tópicos para poder desarrollar toda su base teórica, correspondientes a tres escalas de actuación -Producto / Edificación / Territorio-, originando varios ángulos de enfoque de la investigación, y dando lugar a resultados y conclusiones también de base teórica.

Dado el amplio ámbito de actuación y estudio en el que se focaliza la tesis, requerirá que se profundice en ésta más allá del final de la investigación, viéndose

abocada a forzar un cierre hasta la definición de su marco teórico y dando origen a múltiples líneas futuras que requerirán un variado equipo multidisciplinar - ingenieros, informáticos, ambientalistas, arquitectos técnicos, arquitectos, urbanistas, etc.- e incluso de financiación a través de proyectos de investigación. Por otro lado, la tesis, en su base teórica de implementación, también propondrá la idealización de determinadas acciones teóricas con el fin de llevarlas a cabo en las mencionadas líneas de investigación.

En consecuencia, según lo comentado en los párrafos anteriores, podría definirse la presente tesis según las siguientes clasificaciones:

- Por su método de investigación: Tesis de investigación documental (teórica).
- Por el tratamiento de su tema: Tesis sobre temas teóricos.
- Por el manejo de la información: Tesis de técnicas mixtas, por la forma de recopilación y tratamiento de su información.

El planteamiento expositivo de la presente tesis será sintetizante, puesto que los argumentos e ideas se expondrán en los diferentes apartados y sub-apartados para ser defendidos en sus conclusiones.

Así pues, esta tesis se centrará en la viabilidad para generar territorios sostenibles desde el punto de vista de la aplicación eficiente de materiales y sistemas constructivos en los desarrollos y rehabilitaciones urbanísticos.

En la Figura 3, se pueden observar el cauce de conocimiento seguido para la ejecución de la presente tesis, donde esta investigación partió de unas necesidades detectadas en el ámbito del sector de la construcción mencionadas en el apartado anterior.

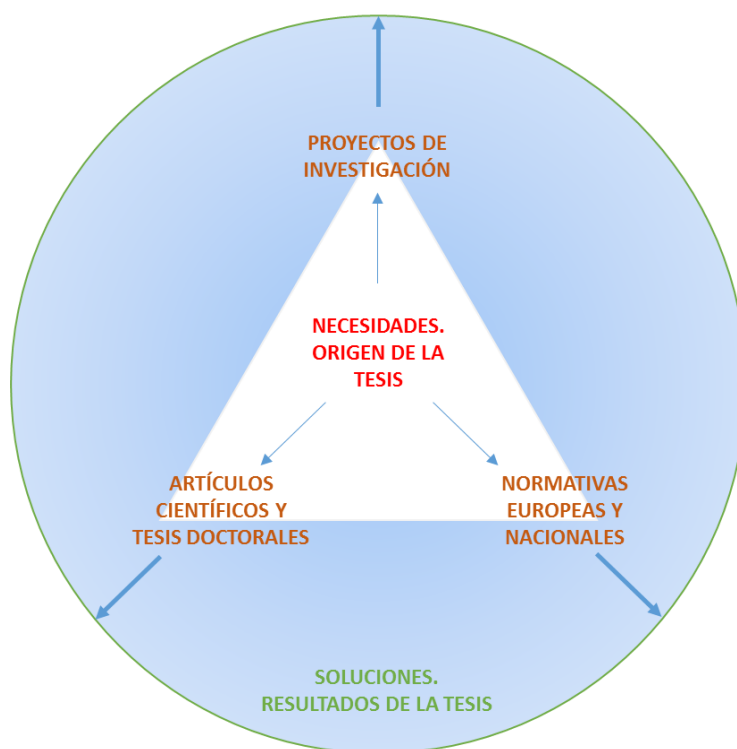


Figura 3. Triángulo de conocimiento del que se nutre la tesis. Elaboración propia.

Claramente, este triángulo de conocimiento se puede identificar fácilmente con los agentes intervinientes del sector -y más concretamente, con la denominada triple hélice-, tratando de no dejar, de este modo, ninguna vía de conocimiento sin consultar. En consecuencia:

- Los artículos científicos y tesis doctorales se identifican claramente con el ámbito educativo, y sin lugar a dudas es una de las bases de consulta, como se podrá comprobar.
- Los proyectos de investigación, en cambio, si bien es cierto que muchos parten de la investigación en universidades, hay otros que nacen de la necesidad de las empresas de ser más eficientes y, por ende, más productivas. Sin el apoyo de éstas su implementación en el ámbito profesional sería imposible y, por lo tanto, las investigaciones no podrían contar con el valor empírico obtenido de su testeo. Por lo tanto, son un valor seguro para comprobar el éxito o no de futuras implementaciones de esta tesis.

- La tercera fuente tenida en cuenta corresponde a las normativas, principalmente de ámbito europeo (específicamente, directivas, dictámenes y recomendaciones de la UE), eventualmente alguna deba ser destacada de otro país (generalmente, porque se considere que sea un acierto), y, en su mayoría, reglamentación de España. Esta fuente también resulta de vital importancia para poder detectar los aciertos o deficiencias existentes en la regulación nacional, de modo que se puedan establecer medidas de corrección o proponer alternativas. También es importante que el conocimiento de dictámenes y recomendaciones, es muy importante para conocer el camino que desea seguir la UE, y más en el aspecto de la eficiencia de recursos materiales.

La presente tesis también tratará que articular el funcionamiento de este, y el marco normativo especialización, y la implementación de la misma. Se podría afirmar que ciertos aspectos relativos a varias escalas de investigación se pondrán de manifiesto en esta Tesis Doctoral: reciclabilidad, huella de carbono, tratamiento de residuos, consumo de recursos naturales a nivel territorial hasta mundial, modelos urbanísticos, planes generales de ordenación, certificaciones de sostenibilidad, cadena de valor y ciclo de vida, etc. Pero todos estos aspectos serán tenidos en cuenta desde el punto de vista de la materialidad y los sistemas constructivos para desarrollar y/o rehabilitar las ciudades. Más concretamente:

- 1) Se estudiarán las directivas europeas relacionadas con la temática de la tesis, es decir, la eficiencia de recursos materiales, así como las recomendaciones, reglamentos, comunicaciones y directrices publicadas para analizar las futuras estrategias de la UE en materia de eficiencia de recursos materiales.
- 2) Se estudiarán las normativas nacionales relativas a productos de construcción, edificación y urbanismo analizando su enfoque desde el punto de vista de la eficiencia de recursos materiales, así como aspectos de sostenibilidad.
- 3) Se consultarán las diferentes bases de datos: fuentes estadísticas, específicas, documentación planimétrica, cartografía y cartotecas, archivos, prensa, etc., así como otros artículos y bibliografías que investigan en alguno de los temas a estudiar.

- 4) Se analizarán aquellos modelos urbanísticos, sistemas y materiales constructivos más comunes utilizados en edificación y desarrollos urbanos.
- 5) Se estudiarán iniciativas y proyectos europeos para poder indagar las investigaciones en el ámbito de las emisiones de CO₂, impacto ambiental métodos de cálculo, interoperabilidad de software y estrategias de implementación territorial de medidas medioambientales.
- 6) Se analizarán en las bases de datos existentes relacionadas con la huella de carbono en los materiales de construcción, así como certificaciones de construcción sostenible.
- 7) Se definirá a nivel teórico un método de cálculo en aplicaciones informáticas basado en BIM, y su implementación en organismos públicos mediante la interoperabilidad con SIG.
- 8) Se establecerán las líneas futuras de desarrollo de la presente tesis mediante artículos científicos, líneas estratégicas y búsqueda de financiación en proyectos europeos y nacionales.

1.4.2. Alcance

Es conveniente definir el contenido de la presente tesis, y nos bastará para analizarlo desde su título, ya desde el mismo encontramos términos que sufren una gran disparidad si los enfrentamos desde el punto de vista de la escala que manejan: “territorio”, “materiales”, “sistemas constructivos”, “urbanísticos”. Por supuesto, esto no es casualidad.

Lo más pequeño, el material, influye en lo más grande, el territorio. Es evidente que ya sea por logística, economía de plazos o reducción de costos, los recursos materiales de un territorio son la primera fuente de abastecimiento para una industria a nivel regional. Ahora bien, la globalización ha cambiado las reglas de juego, y actualmente puede ser empleado en una edificación casi cualquier material del mundo. Ni qué decir tiene que las otras dos escalas mencionadas en el título, sistema constructivo (edificio) y urbanístico (ciudad), son los engranajes necesarios para la transición que queremos analizar entre MATERIA-TERRITORIO.

Como se verá en la presente tesis, no necesariamente el tratamiento de los materiales desde el punto de vista de la ecoeficiencia han de generar territorios sostenibles. Sin embargo, el modelo teórico de viabilidad propuesto en la presente tesis, tratará de abordar soluciones que en líneas futuras podrán ser mejoradas e implementadas a nivel práctico, sin la necesidad de abarcar otros aspectos del ámbito energético, dando prioridad, como se ha mencionado anteriormente, a la ecoeficiencia desde el punto de vista de los materiales. Se hace evidente aquí la primera inquietud de ámbito personal que motivó el inicio de esta tesis, la sostenibilidad, término bastante manido por su politización, pero que no deja de ser una vía para establecer las bases del respeto al medio ambiente.

De vital importancia es también la consideración en la presente tesis sobre las rehabilitaciones urbanísticas, y no únicamente sobre los desarrollos. Según el CENER²¹, el 80% de los hogares españoles, es decir, aproximadamente unos 20 millones de un total de cerca de 25, necesitan ser sometidos a procesos de rehabilitación energética urgente, puesto que fueron construidas cuando aún no existían normativas de eficiencia energética. Esto supone en torno a un 20%²² del consumo total de energía de nuestro país, donde la dependencia energética del exterior alcanzó el 72,9%²³ en España en 2014, a pesar de los esfuerzos -a día de hoy, insuficientes o aún no implantados en comparación con nuestros vecinos europeos- en materia de energías renovables.

Debido a esto, es lógico pensar que el mercado de la construcción se centre en la rehabilitación en los próximos años, ya no sólo por criterios medioambientales, sino también económicos.²⁴

²¹ Centro Nacional de Energías Renovables (CENER). <http://www.cener.com/es/>

²² Guía práctica de la energía para la rehabilitación de edificios. IDEA, Madrid 2008. http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10501_Guia_practica_rehabilitacion_edificios_aislamiento_5266ec2a.pdf

²³ EUROSTAT. News release. Energy dependency in the EU. <http://ec.europa.eu/eurostat/documents/2995521/7150363/8-04022016-AP-EN.pdf/c92466d9-903e-417c-ad76-4c35678113fd>

²⁴ CUCHÍ y SWEATMAN, *Informe GTR 2014, Estrategia para la rehabilitación. Claves para transformar el sector de la edificación en España*, Green Building Council España, 2013.

Por último, y no menos importante, cuando la idea de esta tesis germinó en 2011 y comenzó a inicios de 2013, existían escasos estudios al respecto enfocados únicamente al impacto ambiental en el consumo de recursos, y, sin embargo, muchos desde el energético, así como la forma de abordarlos, siendo claros ejemplos de estos estudios desde el punto de vista de los materiales de construcción, las tesis del Dr. Jaime Solís Guzmán²⁵ y la Dra. María del Pilar Mercader Moyano²⁶ de la Universidad de Sevilla, siendo mencionados varios de los investigadores de esta universidad al ser un referente, y teniendo en su haber, además, varios artículos científicos respecto a esta materia. Hay, en consecuencia, una importante base teórica al respecto la cual se usará para explicar el modelo teórico de viabilidad territorial en la presente tesis.

Es por ello que de forma natural surgió el término ‘Aplicación’ en el título de la tesis. El grado de complejidad y exigencia en la arquitectura, construcción e ingeniería actuales es cada vez más alto, y los profesionales del sector, o son capaces de abarcar todo, o bien han de especializarse. Pero lo que está claro, es que también los recursos a su disposición son cada vez más amplios, facilitando su labor en el día a día, aunque es importante que estos sean los adecuados y estén a su alcance. Es, por tanto, en este punto donde surge la segunda y última inquietud a analizar en la presente tesis, las aplicaciones informáticas, y más concretamente, herramientas como BIM o SIG y la triple hélice entre universidad y centros de investigación, empresas y organismos públicos como eje vertebrador para su implantación.

Por lo tanto, la presente tesis se centra en una serie de temáticas principales apoyadas en conceptos transversales, que, si bien han ayudado a la consecución de la misma, no ha sido posible profundizar en éstos (denominados temas orbitantes en la Figura 4, previendo su desarrollo en las líneas futuras, basadas en artículos científicos y proyectos de investigación de índole nacional y europea (véanse los ANEXOS).

²⁵ SOLÍS GUZMÁN, *Evaluación de la huella ecológica del sector edificación (uso residencial) en la Comunidad Andaluza*, Universidad de Sevilla, 2011.

²⁶ MERCADER MOYANO, *Cuantificación de los recursos consumidos y emisiones de CO2 producidas en las construcciones de Andalucía y sus implicaciones en el protocolo de Kioto*, Construcciones Arquitectónicas I, Universidad de Sevilla, 2010.

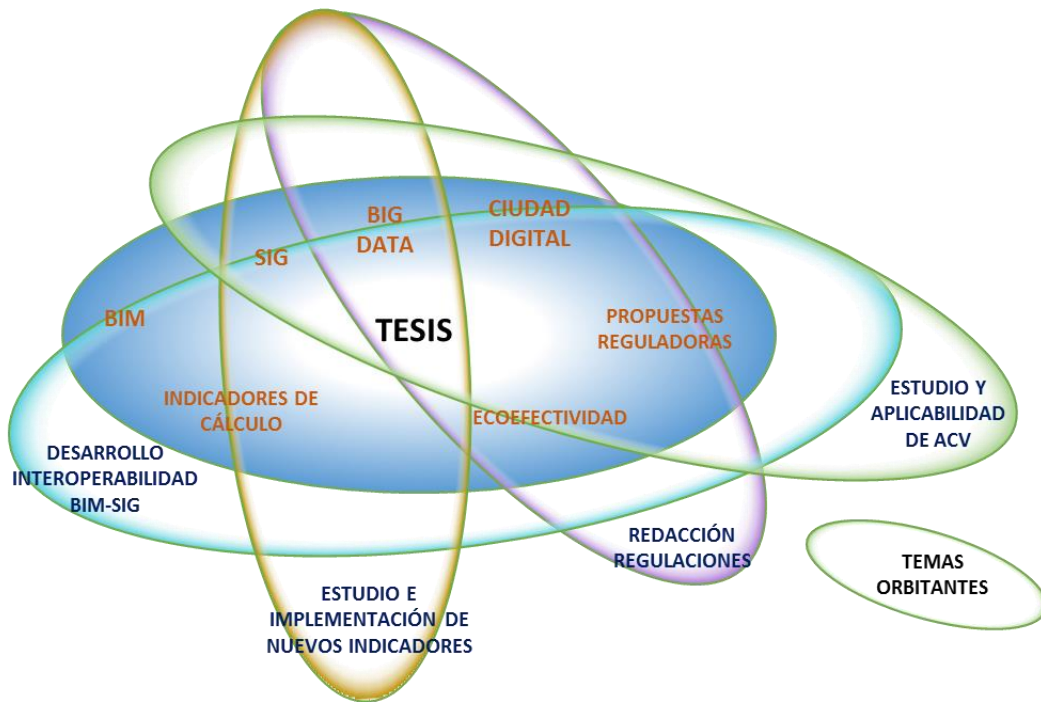


Figura 4. Alcance de la tesis. Temas orbitantes analizados. Elaboración propia.

1.4.3. Contenido general

Como ya se ha comentado anteriormente, la presente tesis tiene como objetivo principal establecer una base teórica para la aplicación ecoeficiente de materiales y sistemas constructivos en los desarrollos y rehabilitaciones urbanísticas con el fin de generar territorios sostenibles desde el punto de vista de la eficiencia de recursos materiales. Para su consecución, se hace necesario la redacción de 4 capítulos (del II al V) divididos en 3 bloques, además de este primer capítulo introductorio, los cuales desarrollarán todas y cada una de las fases de esta tesis a partir de los diferentes sub-epígrafes que los conforman hasta el capítulo V, que albergará las conclusiones, tal y como puede observarse en la Figura 5.

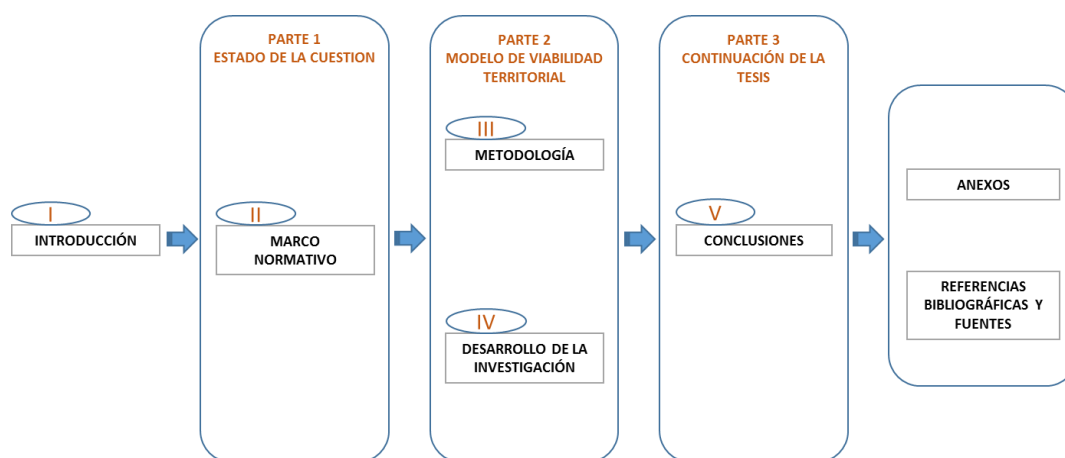


Figura 5. Estructura de la tesis. Elaboración propia.

Es por ello que, con el objetivo de mejorar las estrategias de viabilidad territorial desde el punto de vista de la eficiencia de recursos y medioambiental, resulta evidente que hay que actuar sobre los agentes intervinientes en la construcción. Por lo tanto, siendo conocedores de la necesidad, tanto a nivel académico como profesional, de dotar a los profesionales del sector de herramientas útiles y sencillas de usar, la idea es clara: asentar las bases de desarrollo para una herramienta de cálculo que facilite esta labor, la cual se fundamentará en el apartado 4.4. ESCALAS DE LA APLICACIÓN ECOEFICIENTE, sin embargo, esta tesis no sólo tiene como objetivo facilitar el uso de este conocimiento, sino también establecer las bases para su implantación a todas las escalas profesionales, tanto en el ámbito público como privado. Por lo tanto, la tesis estará formada por tres bloques necesarios para su desarrollo como si de una novela se tratase:

- Planteamiento: BLOQUE 1. ESTADO DE LA CUESTIÓN.
- Nudo: BLOQUE 2. MODELO DE VIABILIDAD TERRITORIAL.
- Desenlace: BLOQUE 3. CONTINUACIÓN DE LA TESIS.

El BLOQUE 1. ESTADO DE LA CUESTIÓN estará formado por un capítulo y se centrará en el análisis, interpretación y compilación de los datos necesarios con el fin de establecer la base necesaria para el desarrollo teórico a nivel normativo y tener de este modo un marco donde establecer unas estrategias de implementación. Por otro lado, los capítulos que conforman el BLOQUE 2.

MODELO DE VIABILIDAD TERRITORIAL desarrollará en dos capítulos metodología, el flujo de trabajo teórico y las estrategias de implantación del modelo teórico en todas las escalas de actuación. Estos dos capítulos son la base sobre la que se sustentará el capítulo V del BLOQUE 3. CONTINUACIÓN DE LA TESIS que albergarán las conclusiones y se establecerán las líneas futuras. Más concretamente, en los ANEXOS se definirán las líneas futuras de la tesis con casos concretos (proyectos nacionales y europeos de investigación presentes y futuros) además de presentar toda la documentación necesaria para la realización de la presente tesis.

BLOQUE 1. ESTADO DE LA CUESTIÓN

II – MARCO NORMATIVO

II – MARCO NORMATIVO

Este capítulo será de vital importancia para asentar las bases de la presente tesis desde un punto de vista normativo. No sólo se analizarán las regulaciones de obligado cumplimiento, tanto a nivel europeo como nacional, sino también aquellas comunicaciones, dictámenes y documentos de normalización que, aun no siendo de obligado cumplimiento, marcan las pautas de una tendencia en auge, como una segunda etapa de la sostenibilidad que comenzó con la eficiencia energética, es decir, la eficiencia de recursos materiales centrados en tres líneas básicas:

- impacto ambiental de los productos de construcción;
- su retorno a la cadena de valor;
- métodos constructivos para facilitar dicho retorno a la cadena de valor.

Pero, además de la eficiencia en el empleo de los recursos materiales, también otras dos áreas en los aspectos normativos serán analizados de cara a establecer en el apartado 4.5. ESTRATEGIAS DE IMPLANTACIÓN TERRITORIAL las oportunas estrategias de implantación. Por un lado, se estudiarán las normativas que, de una manera directa o indirecta, pudiendo ser planteadas modificaciones a las mismas a escala territorial, edificatoria y material/producto como líneas futuras de aplicación en esta tesis. Por último, se indagarán en las principales herramientas electrónicas empleadas en la administración pública para facilitar la integración de BIM y todas las posibilidades que éste lleva consigo en su metodología de trabajo, principalmente en los organismos gestores de cartografías.

En consecuencia, con el fin de analizar a nivel normativo el estudio de estas tres áreas, este capítulo se encontrará dividido en tres escalas (véase la Figura 6):

- Producto.
- Edificio.
- Territorio.

Esta misma estructura también será trasladada a los apartados 4.4 y 4.5 de la presente tesis, donde podrá observarse claramente la interrelación entre los diferentes sub-apartados en base al análisis realizado.

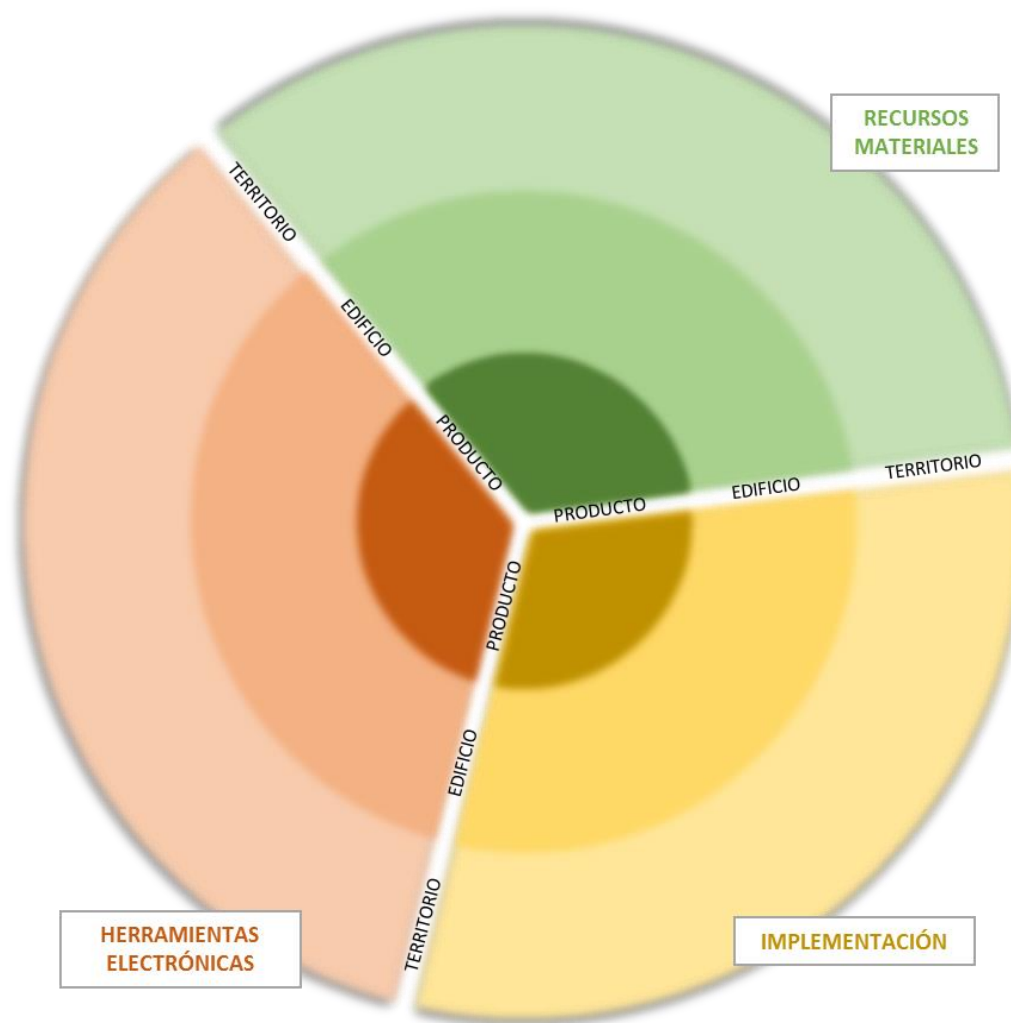


Figura 6. Análisis de las regulaciones a escalas Producto / Edificio / Territorio en las áreas de recursos materiales, herramientas electrónicas e implementación. Elaboración propia.

2.1. ESCALA PRODUCTO

En este apartado, será necesario analizar las normativas de ámbito medioambiental relacionadas con los productos de construcción, paso previo para

optar por unos indicadores específicos, así como una base de datos adecuada para su aplicabilidad en la presente tesis.

2.1.1. Derecho comunitario en la escala producto

Respecto al derecho comunitario destaca la abundancia de normativa en relación a los productos relacionados con la energía, cuyo espectro es demasiado amplio y complejo para tratar en esta tesis, no siendo tampoco necesario su desarrollo para la consecución de los objetivos propuestos. También destaca cómo la Directiva 2012/27/UE²⁷ se ha impuesto en cierta manera a todas las anteriores, mediante derogaciones y modificaciones, siendo ésta también muy importante desde el punto de vista edificatorio, como se verá en el 2.2.1. Derecho comunitario en la escala edificio, y también al ser traspuesta en España en el Real Decreto 56/2016²⁸.

Merece especial atención en este apartado el Reglamento (UE) nº 305/2011²⁹, el cual versa lo siguiente:

“(55) El requisito básico para las obras de construcción sobre la utilización sostenible de los recursos naturales debe tener especialmente en cuenta las posibilidades de reciclado de las obras de construcción, de sus materiales y partes después del derribo, de la durabilidad de las obras de construcción y

²⁷ DIRECTIVA 2012/27/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 25 de octubre de 2012 relativa a la eficiencia energética, por la que se modifican las Directivas 2009/125/CE y 2010/30/UE, y por la que se derogan las Directivas 2004/8/CE y 2006/32/CE.

²⁸ REAL DECRETO 56/2016, de 12 de febrero, por el que se transpone la Directiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de octubre de 2012, relativa a la eficiencia energética, en lo referente a auditorías energéticas, acreditación de proveedores de servicios y auditores energéticos y promoción de la eficiencia del suministro de energía.

²⁹ REGLAMENTO (UE) 305/2011 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, de 9 de marzo de 2011, por el que se establecen condiciones armonizadas para la comercialización de productos de construcción y se deroga la Directiva 89/106/CEE del Consejo.

de la utilización en las obras de construcción de materias primas y productos secundarios que sean compatibles desde el punto de vista medioambiental.”

“(56) 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.”

Y de cara a fortalecer estas consideraciones, en su anexo I, sobre los requisitos básicos de las obras de construcción, establece en su sub-apartado “7. Utilización sostenible de los recursos naturales” que:

“Las obras de construcción deberán proyectarse, construirse y demolerse de tal forma que la utilización de los recursos naturales sea sostenible y garantice en particular:”

“a) la reutilización y la reciclabilidad de las obras de construcción, sus materiales y sus partes tras la demolición;”

“b) la durabilidad de las obras de construcción;”

“c) la utilización de materias primas y materiales secundarios en las obras de construcción que sean compatibles desde el punto de vista medioambiental.”

Por lo tanto, en este reglamento crucial para el sector, ya se tenía muy en cuenta la durabilidad, reciclabilidad y reutilización de los productos y obras de construcción, estableciendo las DAP como principales herramientas de evaluación del uso sostenible de los recursos, las cuales se analizarán en la presente tesis.

2.1.2. Declaraciones Ambientales de Producto

Las Declaraciones Ambientales de Producto (DAP) se encuentran regularizadas en la Norma Internacional UNE-EN ISO 14025:2010³⁰, de modo que

³⁰ Fue adoptada por AENOR a partir de la norma internacional de referencia ISO 14025, donde el ACV debe ser realizado acorde con las Normas Internacionales “UNE-EN ISO 14040:2006 Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Principios y marco de

pueda ser empleada ésta 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 Norma UNE-EN 15804:2012+A1:2014³¹.

Se ha de mencionar que, de cara a la recopilación de una base de datos, las DAP forman parte de las Etiquetas ecológicas definidas en la Norma Internacional UNE-EN ISO 14020³², buscando favorecer a los productos que posean un menor impacto ambiental teniendo en cuenta el ciclo de vida. Actualmente, existen tres tipos:

- Etiquetado tipo I. Ecoetiquetas³³: consisten en sistemas voluntarios de calificación ambiental los cuales certifican oficialmente que determinados productos tienen sobre el medio ambiente un efecto menos nocivo sobre un área en concreto.
- Etiquetado tipo II. Autodeclaraciones³⁴: Este tipo de etiquetado los realiza el fabricante bajo la responsabilidad de cumplimiento del contenido de la información facilitada.
- Etiquetado tipo III. Declaraciones ambientales: Son cuantificaciones ambientales sobre el análisis del ciclo de vida de los productos.

Actualmente sólo es obligatorio el análisis de la Etapa de producto (A1-A3) para la obtención de un DAP. La mencionada que recoge las DAP, posee un claro

referencia” y UNE-EN ISO 14044:2006 Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Requisitos y directrices.

³¹ UNE-EN 15804:2012+A1:2014. Sostenibilidad en la construcción. Declaraciones ambientales de producto. Reglas de categoría de producto básicas para productos de construcción

³² UNE-EN ISO 14020:2002. Etiquetas ecológicas y declaraciones ambientales. Principios generales.

³³ UNE-EN ISO 14024:2001. Etiquetas ecológicas y declaraciones medioambientales. Etiquetado ecológico Tipo I. Principios generales y procedimientos.

³⁴ UNE-EN ISO 14021:2002. Etiquetas ecológicas y declaraciones medioambientales. Autodeclaraciones medioambientales.

paralelismo con la UNE-EN 15978:2012³⁵ donde en la Figura 7 se muestran todas las etapas para el análisis del ciclo de vida, siendo éstas las mismas tanto para la escala producto como la escala edificatoria, ya que éste es un aspecto básico para la metodología de cálculo de dicha UNE, la cual se tendrá presente para el desarrollo de esta tesis.

³⁵ UNE-EN 15978:2012 Sostenibilidad en la construcción. Evaluación del comportamiento ambiental de los edificios. Métodos de cálculo.

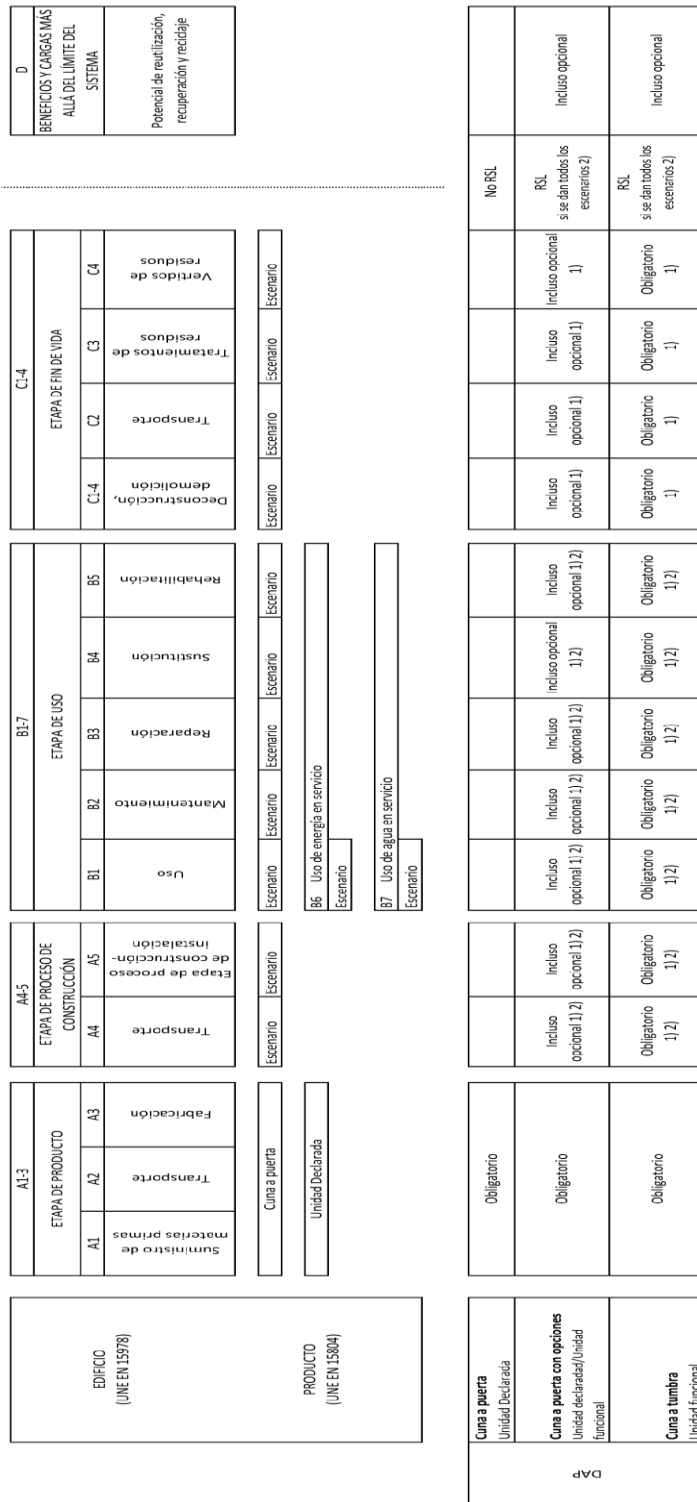


Figura 7. Etapas del ciclo de vida del edificio. Fuente: UNE-EN 15978:2012.

2.2. ESCALA EDIFICIO

En este apartado se analizarán las regulaciones que afecten principalmente a la escala edificatoria, sobre todo desde el punto de vista de la eficiencia de recursos materiales e implementación de las nuevas herramientas electrónicas aplicables al diseño edificatorio y urbano en los organismos públicos; siendo inevitable en este aspecto la mención a las relacionadas con la eficiencia energética y, más concretamente, los EECN.

2.2.1. Derecho comunitario en la escala edificio

Sin ánimo de solapar este análisis con la escala producto y la territorial, destacando en este apartado la importancia y repercusión que tendrá en el futuro ciertos dictámenes y comunicaciones de la UE, como un primer paso a la eficiencia de recursos y la economía circular en los Estados Miembros. Tal y como pudo observarse en la Figura 13, existe un dictamen³⁶ sobre eficiencia en recursos materiales en la construcción el cual tuvo su origen en otros documentos³⁷ de especial relevancia.

Sin embargo, respecto a la eficiencia de recursos materiales en la construcción no existe una directiva al nivel de la enfocada sobre eficiencia energética en la Directiva 2012/27/UE³⁸, destacando su trasposición al marco

³⁶ DICTAMEN DEL COMITÉ DE LAS REGIONES EUROPEO - Oportunidades para un uso más eficiente de los recursos en el sector de la construcción - (2015/C 195/06).

³⁷ COMUNICACIÓN DE LA COMISIÓN AL PARLAMENTO EUROPEO, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones Europeo - Oportunidades para un uso más eficiente de los recursos en el sector de la construcción - COM(2014) 445 final.

COMUNICACIÓN DE LA COMISIÓN AL PARLAMENTO EUROPEO, AL CONSEJO, AL COMITÉ ECONÓMICO Y SOCIAL EUROPEO Y AL COMITÉ DE LAS REGIONES. Hoja de ruta hacia una Europa eficiente en el uso de los recursos - COM(2011) 571 final.

³⁸ DIRECTIVA 2012/27/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 25 de octubre de 2012 relativa a la eficiencia energética, por la que se modifican las

legislativo nacional mediante el Real Decreto 56/2016³⁹. Por ello, posiblemente este dictamen es la piedra a colocar en la eficiencia de recursos materiales, si bien es cierto que también es posible hallar otros documentos de normalización como la UNE-EN 15978:2012 sobre la evaluación del comportamiento ambiental de los edificios durante todo su ciclo de vida, de la cual se nombró en el apartado anterior y será empleado en su metodología para la presente tesis.

En la Comunicación COM(2014) 445 final, previa a dicho dictamen, se enfatizó claramente en la necesidad de encaminarse “hacia un enfoque europeo común para evaluar el comportamiento ambiental de los edificios”, de este modo, se propone la necesidad de crear un marco único de indicadores clave que:

“facilitará la comunicación de información a profesionales y no profesionales, ofrecerá datos fiables y comparables sobre todo el ciclo de vida de los edificios que se utilizarán en la toma de decisiones, permitirá el establecimiento de objetivos claros, con límites del sistema, respecto al comportamiento de los edificios, completando la legislación europea ya existente al respecto, aumentará la sensibilización respecto a los beneficios de los edificios sostenibles entre los agentes que intervienen en la oferta de edificios, así como entre los clientes públicos y privados, en particular los usuarios de edificios, facilitará la transferencia efectiva de buenas prácticas de un país a otro, reducirá el coste de evaluar eficazmente y comunicar el comportamiento ambiental de los edificios, facilitará a las autoridades públicas el acceso a los indicadores clave y a una masa crítica de datos pertinentes en los que basar sus iniciativas políticas, incluida la aplicación de criterios ecológicos en la adjudicación de contratos públicos”.

Directivas 2009/125/CE y 2010/30/UE, y por la que se derogan las Directivas 2004/8/CE y 2006/32/CE.

³⁹ REAL DECRETO 56/2016, de 12 de febrero, por el que se transpone la Directiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de octubre de 2012, relativa a la eficiencia energética, en lo referente a auditorías energéticas, acreditación de proveedores de servicios y auditores energéticos y promoción de la eficiencia del suministro de energía. <https://www.boe.es/boe/dias/2016/02/13/pdfs/BOE-A-2016-1460.pdf>

Siendo las ventajas para los profesionales del sector las siguientes:

“los arquitectos, diseñadores, fabricantes de productos de construcción, constructores, promotores e inversores podrán beneficiarse de ventajas competitivas basadas en el comportamiento ambiental, los fabricantes de productos de construcción sólo tendrán que proporcionar la información necesaria para evaluar el edificio de una única manera, con el consiguiente ahorro de costes, los arquitectos y los constructores contarán con mayor información, tanto sobre los productos como sobre la construcción, lo que supondrá una reducción de los costes a la hora de incorporar aspectos de sostenibilidad, los promotores podrán comparar más fácilmente los resultados de los proyectos, los inversores, los propietarios y los aseguradores podrán mejorar la asignación de capital e integrar el riesgo ambiental en sus decisiones”.

Por lo tanto, la elección de un criterio común en la valoración del comportamiento ambiental de los edificios será uno de los aspectos a definir en la presente tesis, de modo que la aplicación ecoeficiente propuesta, se acerque lo más posible a estos criterios.

Por otro lado, el ciclo de vida es definido en la Directiva 2014/24/UE⁴⁰ -la cual marcará un hito en el inicio del uso de BIM en las administraciones públicas- de la siguiente forma en su artículo 2.20:

- “(...) todas las fases consecutivas o interrelacionadas, incluidos la investigación y el desarrollo que hayan de llevarse a cabo, la producción, la comercialización y sus condiciones, el transporte, la utilización y el mantenimiento, a lo largo de la existencia de un producto, una obra o la prestación de un servicio, desde la adquisición de materias primas o la generación de recursos hasta la eliminación, el desmantelamiento y el fin de un servicio o de una utilización.”

Como se puede observar, esta directiva es de vital importancia puesto que describe el principio de una tendencia, el uso de herramientas electrónicas para

⁴⁰ DIRECTIVA 2014/24/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 26 de febrero de 2014 sobre contratación pública y por la que se deroga la Directiva 2004/18/CE.

los contratos de obras públicas y concursos de diseño, donde los siguientes pasos irán claramente enfocados a un cambio de paradigma en la gestión de los proyectos arquitectónicos por parte de las administraciones públicas. La presente Directiva, que posee un claro objetivo de reducción de costes en contratación pública en los países de los Estados Miembros -y más específicamente, en los proyectos de construcción-, también posee un marcado carácter medioambiental, sobretodo en el mencionado concepto de ciclo de vida, tal y como puede observarse en sus consideraciones iniciales:

“(74) Las especificaciones técnicas elaboradas por los compradores públicos tienen que permitir la apertura de la contratación pública a la competencia, así como la consecución de los objetivos de sostenibilidad. Para ello, tiene que ser posible presentar ofertas que reflejen la diversidad de las soluciones técnicas, las normas y las especificaciones técnicas existentes en el mercado, incluidas aquellas elaboradas sobre la base de criterios de rendimiento vinculados al ciclo de vida y a la sostenibilidad del proceso de producción de las obras, suministros y servicios (...)”.

“(92) (...) Para determinar cuál es la oferta económicamente más ventajosa, la decisión relativa a la adjudicación del contrato no debe basarse únicamente en criterios no relacionados con los costes. Por ello, los criterios cualitativos deben ir acompañados de un criterio relacionado con los costes, el cual, a elección del poder adjudicador, podría ser el precio o un planteamiento basado en la rentabilidad, como el coste del ciclo de vida (...)”.

“(95) (...) fomentar el desarrollo y la utilización de enfoques europeos para el cálculo del coste del ciclo de vida como refuerzo para el uso de la contratación pública en apoyo del crecimiento sostenible.”

“(96) (...) debe quedar claro que, salvo cuando se evalúe únicamente sobre la base del precio, los poderes adjudicadores pueden determinar cuál es la oferta económicamente más ventajosa y el coste más bajo mediante un planteamiento basado en el coste del ciclo de vida. La noción de coste del ciclo de vida incluye todos los costes a lo largo del ciclo de vida de las obras, suministros o servicios (...)”.

Queda claro, por tanto, que la actual tendencia de reducción de costes de la UE está estrechamente relacionada con el medio ambiente y sus costes asociados durante todo el ciclo de vida, y por ende con la mitigación de los procesos que produzcan un severo deterioro del mismo. Igualmente, cabe la pena mencionar cómo ésta Directiva delimita de una forma genérica -puesto que abarca varias áreas de actuación- el cálculo del coste del ciclo de vida desde un punto de vista económico en su artículo 68.1.a:

“1. El cálculo de coste del ciclo de vida incluirá en una medida pertinente la totalidad o una parte de los costes siguientes a lo largo del ciclo de vida de un producto, un servicio o una obra”:

a) “costes sufragados por el poder adjudicador o por otros usuarios, tales como:

- i) los costes relativos a la adquisición,
- ii) los costes de utilización, como el consumo de energía y otros recursos,
- iii) los costes de mantenimiento
- iv) los costes de final de vida, como los costes de recogida y reciclado”.

Además, se vincula directamente este cálculo con los GEI, en el mismo artículo de la Directiva, apartado b:

“b) los costes imputados a externalidades medioambientales vinculadas al producto, servicio u obra durante su ciclo de vida, a condición de que su valor monetario pueda determinarse y verificarse; esos costes podrán incluir el coste de las emisiones de gases de efecto invernadero y de otras emisiones contaminantes, así como otros costes de mitigación del cambio climático.”

2.2.2. BIM. Building Information Modelling

Los software 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 desarrollados⁴¹, 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/UE⁴² 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

⁴¹ ZHAO, "A scientometric review of global BIM research: Analysis and visualization", *Automation in Construction*, 2017, Nº 80, págs. 37-47.

⁴² DIRECTIVA 2014/24/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 26 de febrero de 2014 sobre contratación pública y por la que se deroga la Directiva 2004/18/CE. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX:32014L0024>

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 sub-apartado 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 8), 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 empleadas⁴³.

⁴³ Estándares en apoyo del BIM. Informes de Normalización. AENOR, 2016.
<http://www.aenor.es/DescargasWeb/normas/informe-bim.pdf>

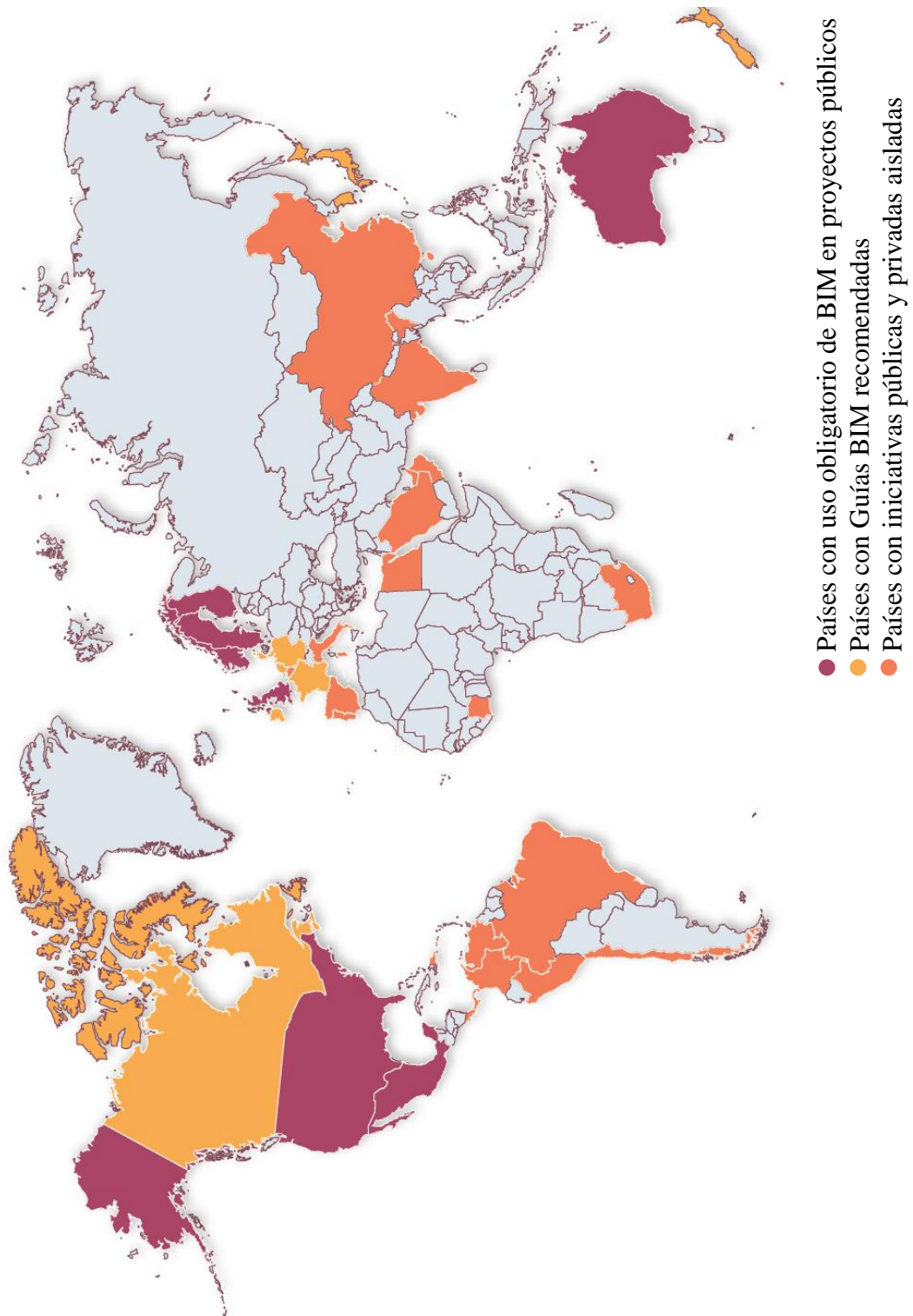


Figura 8. Implantación BIM a nivel internacional en 2014. Fuente: AENOR.

En el ámbito de la estandarización BIM, actualmente se cuenta con el Comité Técnico europeo de normalización CEN/TC 442⁴⁴, el cual también participa en el Subcomité Internacional ISO/TC 59/SC 13⁴⁵.

Los objetivos de este grupo son⁴⁶:

- “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 13⁴⁷.

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)⁴⁸.
- prEN ISO 16757-1. Data structures for electronic product catalogues for building services -- Part 1: Concepts, architecture and model⁴⁹.

⁴⁴ CEN/TC 442 - Building Information Modeling (BIM).

⁴⁵ ISO/TC 59/SC 13 – Organización de la información de los trabajos de construcción/
Organization of information about construction works.

⁴⁶ European Committee for Standardization. <https://standards.cen.eu/dyn>

⁴⁷ AEN/CTN 41/SC 13 - Organización de modelos de información relativos a la edificación y la obra civil.

⁴⁸ FprEN ISO 29481-1. Building information models - Information delivery manual - Part 1: Methodology and format (ISO 29481-1:2016).

- prEN ISO 16757-2. Data structures for electronic product catalogues for building services - Part 2: Geometry⁵⁰.
- 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)⁵¹.
- 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)⁵².

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 16739⁵³, en la presente tesis se adelanta en este que se

⁴⁹ prEN ISO 16757-1. Data structures for electronic product catalogues for building services -- Part 1: Concepts, architecture and model.

⁵⁰ prEN ISO 16757-2. Data structures for electronic product catalogues for building services -- Part 2: Geometry.

⁵¹ 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).

⁵² 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).

⁵³ Concretamente, destaca que la parte 1 de dicha norma ISO versará principalmente sobre la mejora en los esquemas IFC4 ADD1 y su implementación y la parte 2 versará

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 BIM⁵⁴.

De hecho, actualmente se encuentra en desarrollo la norma ISO para desarrollar la interoperabilidad entre BIM a GIS en la prISO/NP19166⁵⁵ a través del comité de normalización ISO/TC 211⁵⁶, 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 tesis.

2.2.3. Rehabilitación: ITE/IEE

Se pondrán de manifiesto en este sub-apartado las estrategias actuales a nivel europeo y nacional, comenzando por comentar el proyecto europeo EPISCOPE⁵⁷, donde se desarrolló un estudio comparativo entre los países de los Estados Miembros sobre los requerimientos en relación a los EECN, estableciéndose las siguientes conclusiones:

- “Todos los países de los Estado miembros están trabajando en la implementación de los requerimientos en EECN de la Directiva de Eficiencia Energética de los Edificios (EPBD)”. Por lo tanto, hay un interés de los países de los Estados Miembros en la transposición de dichos requerimientos a sus normativas nacionales.
- En el momento de la realización del informe “8 países habían establecido formalmente los requerimientos de EECN”, donde cabe destacar que 5 de

sobre la definición de los esquemas XML, ya que pasará convertirse en una serie de normas (previsiblemente, hasta 100 partes).

⁵⁴ Estándares en apoyo del BIM. Informes de Normalización. AENOR, 2016. <http://www.aenor.es/DescargasWeb/normas/informe-bim.pdf>

⁵⁵ prISO/NP19166, Geographic information. BIM to GIS conceptual mapping (B2GM).

⁵⁶ ISO/TC 211-Geographic information/Geomatics.

⁵⁷ Energy Performance Indicator Tracking Schemes for the Continuous Optimisation of Refurbishment Processes in European Housing Stocks www.episcope.eu

estos países “establecieron los mismos requerimientos tanto para los edificios nuevos como los existentes mientras que en otros tres casos (Austria, France y la Región de Bruselas-Capital) los requerimientos para grandes renovaciones de edificaciones existentes son menos estrictas que las definidas para nuevas edificaciones”.



Figura 9. Estado de la definición de EECN para nuevas edificaciones / Status of nZEB definition for new buildings. Fuente: BPIE, 2015.

En paralelo a estas afirmaciones, la normativa estatal que define el Informe de Evaluación de Edificios es el Real Decreto 233/2013⁵⁸, donde cabe destacar que éste es definido en su artículo 33.1 como “el análisis de las condiciones de accesibilidad, eficiencia energética y estado de conservación de los mismos, mediante una subvención que cubra parte de los gastos de honorarios profesionales por su emisión”, es decir, las partes I (Estado de conservación) y II (Condiciones básicas de accesibilidad) del anexo II⁵⁹ de esta normativa se corresponden a un ITE (Inspección Técnica de Edificios), establecida en el Real Decreto-ley 8/2011⁶⁰, y es en la parte III donde se incluye el Certificado de Eficiencia Energética del Edificio:

“Cuando el presente Informe tenga por objeto un edificio de tipología residencial colectiva (entendiendo por tal aquel que contenga más de una vivienda, sin perjuicio de que pueda contener, de manera simultánea, otros usos distintos del residencial) (...)”.

Si bien es cierto que dicha normativa es una herramienta útil para conocer la seguridad, habitabilidad y eficiencia energética de los edificios, realmente, no por ello ha obligado a los propietarios a cumplir con las exigencias a nivel estatal planteadas para 2020 de la Directiva 2012/27/UE. En definitiva, no deja de ser una oportunidad perdida para revitalizar con fuerza el sector de la construcción durante esta década de crisis, así como situar a España a la cabeza de las estrategias energéticas para el 2020.

Finalmente, también fruto de la ausencia de esta temática en las directivas europeas, no existe mención expresa al estudio de la reciclabilidad de dichas

⁵⁸ Real Decreto 233/2013, de 5 de abril, por el que se regula el Plan Estatal de fomento del alquiler de viviendas, la rehabilitación edificatoria, y la regeneración y renovación urbanas, 2013-2016

⁵⁹ En dicho anexo II se ofrece un “Modelo tipo de informe de evaluación de los edificios”.

⁶⁰ Real Decreto-ley 8/2011, de 1 de julio, de medidas de apoyo a los deudores hipotecarios, de control del gasto público y cancelación de deudas con empresas y autónomos contraídas por las entidades locales, de fomento de la actividad empresarial e impulso de la rehabilitación y de simplificación administrativa.

edificaciones ni a las emisiones de CO₂ que producirían la rehabilitación integral de las mismas.

2.3. ESCALA URBANA Y TERRITORIAL

Este apartado se centrará en las regulaciones de ámbito territorial que sean objeto de consideración en la presente tesis, sobre todo enfocados a los capítulos del Bloque II. Así mismo, no se analizarán regulaciones previas que ya hayan sido mencionadas en los dos apartados previos, que de una forma indirecta tienen repercusión a escala territorial, y no sólo a escala producto y edificio.

2.3.1. Derecho comunitario en la escala edificio

Por lo tanto, respecto a las regulaciones a escala urbana y territorial, en derecho comunitario destaca la Directiva 2001/42/CE⁶¹, la Directiva 2011/92/UE⁶² y la Directiva 2014/52/UE⁶³ (véase la Figura 13). Desde el punto de vista de la eficiencia en los recursos materiales, de cada una de éstas destaca lo siguiente:

- Directiva 2001/42/CE:

“(1) (...) la utilización prudente y racional de los recursos naturales, y que debe basarse en el principio de cautela”.

“(5) La adopción de procedimientos de evaluación medioambiental en relación con los planes y programas debe redundar en beneficio de los medios empresariales, ya que se creará un marco más coherente en el que podrán desempeñar sus actividades mediante la inclusión de la pertinente

⁶¹ DIRECTIVA 2001/42/CE, de 27 de junio, sobre evaluación de las repercusiones de determinados planes y programas en el medio ambiente.

⁶² DIRECTIVA 2011/92/UE, de 13 de diciembre, de evaluación de las repercusiones de determinados proyectos públicos y privados sobre el medio ambiente, que la presente ley transpone al ordenamiento interno.

⁶³ DIRECTIVA 2014/52/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 16 de abril de 2014 por la que se modifica la Directiva 2011/92/UE, relativa a la evaluación de las repercusiones de determinados proyectos públicos y privados sobre el medio ambiente.

información medioambiental en el proceso de toma de decisiones. La inclusión de una serie de factores más amplia en el marco del proceso de toma de decisiones debe contribuir a encontrar unas soluciones más sostenibles y eficaces.”

Por lo tanto, se destacaba la importancia de crear un marco para generar una información medioambiental asequible que pueda ayudar en la toma de decisiones con criterios de utilización racional de los recursos naturales.

- Directiva 2011/92/UE:

En su anexo III sobre los criterios de selección, en las características de los proyectos destaca la consideración de los mismos desde el punto de vista de la utilización de recursos naturales en su sub-apartado 1, la generación de residuos y la emisión de contaminantes y otras sustancias nocivas.

También destaca la importancia de considerar “la relativa abundancia, calidad y capacidad regenerativa de los recursos naturales del área” respecto a la ubicación de los proyectos, abogando de este modo por “la sensibilidad medioambiental de las áreas geográficas que puedan verse afectadas por los proyectos”.

- Directiva 2014/52/UE:

Afirma que “en su Comunicación de 20 de septiembre de 2011 titulada «Hoja de ruta hacia una Europa eficiente en el uso de los recursos»⁶⁴, la Comisión se comprometió a incluir consideraciones más amplias sobre la eficiencia y la sostenibilidad en el uso de los recursos en el contexto de la revisión de la Directiva 2011/92/UE.”

En el anexo II BIS de esta directiva se inserta lo siguiente sobre las emisiones: “Una descripción de todos los posibles efectos significativos del proyecto en el medio ambiente, en la medida en que la información sobre

⁶⁴ COMUNICACIÓN DE LA COMISIÓN AL PARLAMENTO EUROPEO, AL CONSEJO, AL COMITÉ ECONÓMICO Y SOCIAL EUROPEO Y AL COMITÉ DE LAS REGIONES. Hoja de ruta hacia una Europa eficiente en el uso de los recursos – COM(2011) 571 final.

esos efectos esté disponible, que sean consecuencia de (...) las emisiones y los desechos previstos y la generación de residuos”.

En su anexo III de esta directiva no se modifica lo mencionado sobre recursos naturales con respecto a la Directiva 2011/92/UE.

En cuanto a la información para el informe de EIA en su anexo IV:

“1.b) una descripción de las características físicas del conjunto del proyecto, incluidos, cuando proceda, las obras de demolición que se impongan, y de las necesidades en cuanto a uso de la tierra durante las fases de construcción y explotación;”

“1.c) una descripción de las principales características de la fase de explotación del proyecto (en particular de cualquier proceso de producción), con indicaciones, por ejemplo, sobre la demanda de energía y la energía utilizada, la naturaleza y cantidad de materiales y los recursos naturales utilizados (incluidos el agua, la tierra, el suelo y la biodiversidad);”

“1.d) una estimación de los tipos y cantidades de residuos y emisiones previstos (por ejemplo, contaminación del agua, del aire, del suelo y del subsuelo, ruido, vibraciones, emisiones de luz, calor, radiación) y cantidades y tipos de residuos producidos durante las fases de construcción y explotación.”

“6. La descripción de los métodos de previsión o de los datos utilizados para definir y evaluar los efectos significativos en el medio ambiente, incluidos detalles sobre dificultades (por ejemplo, deficiencias técnicas o falta de conocimientos) a las que se ha tenido que hacer frente al recopilar la información y las principales incertidumbres que conllevan.”

“7. Una descripción de las medidas previstas para evitar, prevenir, reducir o, si fuera posible, contrarrestar y definir los efectos adversos significativos del proyecto sobre el medio ambiente y, en su caso, de las posibles disposiciones de seguimiento (por ejemplo, la preparación de un análisis posterior al proyecto). Esa descripción debe indicar en qué medida se evitan, previenen, reducen o contrarrestan los efectos adversos

significativos en el medio ambiente y abarcar tanto la fase de construcción como la de explotación.”

Por lo tanto, lo mencionado en estas directivas es de vital importancia para que, desde el urbanismo, se puedan aplicar las acciones oportunas en relación a las emisiones de CO₂ y estrategias de economía circular.

Por ejemplo, ya en el ámbito nacional, la Ley 21/2013⁶⁵ “establece las bases que deben regir la evaluación ambiental de los planes, programas y proyectos que puedan tener efectos significativos sobre el medio ambiente, garantizando en todo el territorio del Estado un elevado nivel de protección ambiental, con el fin de promover un desarrollo sostenible”, donde destaca “la integración de los aspectos medioambientales en la elaboración y en la adopción, aprobación o autorización de los planes, programas y proyectos”.

En consecuencia, un ejemplo práctico a todas estas regulaciones previas es el que en base al artículo 30 de la mencionada Ley 21/2013, se aplicó este precepto en la modificación del plan especial del sector PERI 141 en El Palmar (Murcia) de la resolución de la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental⁶⁶, donde en su apartado sobre “consultas a las administraciones públicas afectadas y personas interesadas”, la Oficina de Impulso Socioeconómico del Medio Ambiente, concretamente el Servicio de Fomento del Medio Ambiente y Cambio Climático, realiza varias e interesantes aportaciones a dicho plan especial, de las cuales se destacan las dos siguientes en relación con esta tesis, con especial relevancia en la primera:

“A la vista de las recomendaciones y obligaciones legales sobre reducción de emisiones y a la vista de las tendencias en las variables climáticas se propone la incorporación a la Normas Urbanísticas para esta modificación del PLAN de las siguientes medidas preventivas, correctoras y compensatorias:”

⁶⁵ LEY 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental. <https://www.boe.es/boe/dias/2013/12/11/pdfs/BOE-A-2013-12913.pdf>

⁶⁶ RESOLUCIÓN DE LA DIRECCIÓN GENERAL DE CALIDAD Y EVALUACIÓN AMBIENTAL por la que se determina que la modificación del plan especial del sector PERI 141 en El Palmar, Murcia, no tiene efectos significativos sobre el medio ambiente.

1. “Reducción y/o compensación del 26 % de las emisiones de alcance 1 de directa responsabilidad del promotor (por las obras de urbanización, edificio y zonas de aparcamiento) y de las emisiones generadas por movilidad obligada que inducirá el proyecto y por el funcionamiento del edificio.”

“(…) se propone incorporar en las Normas Urbanísticas la obligación de presentar un proyecto de reducción y/o compensación de emisiones que deberá ser aprobado junto con el proyecto de obras. El proyecto tendrá como objetivo conseguir una reducción o compensación del 26%⁶⁷ de las emisiones estimadas para el alcance 1 de proyecto más el 26% de las estimadas por movilidad obligada a 2030.”

“El proyecto de reducción y/o compensación de emisiones será aprobado por la administración regional competente en materia de cambio climático (Servicio de Fomento del Medio Ambiente y Cambio Climático) con carácter previo a la licencia de obras.”

“El proyecto de reducción y/o compensación de emisiones incluirá la estimación de la huella de carbono que generarán las obras de urbanización, edificio y zonas de aparcamiento y la asociada a la movilidad obligada (a partir de un estudio del tráfico generado). Igualmente, se estimará la huella de carbono resultante del funcionamiento del edificio que habrá de ser de emisiones casi nulas. A partir de la cuantificación de la huella de carbono se concretará, por el promotor, cómo se propone alcanzar la reducción y/o compensación del 26% de las emisiones resultantes.”

“A partir del primer año de funcionamiento del edificio se presentará informe justificativo del cumplimiento de las medidas correctoras y/o compensatorias. La correcta ejecución de la reducción y/o compensación serán aprobadas por la propia administración regional (administración regional competente en materia de cambio climático).”

2. “Aplicación del objetivo de "consumo de energía casi nulo" al edificio proyectado en el ámbito de esta modificación del PLAN.”

⁶⁷ Puesto que para el caso de España es necesaria la reducción de un 26% de las emisiones de CO₂ en los sectores difusos.

“(…) se propone incorporar en las Normas Urbanísticas de esta modificación del PLAN la obligación de la Disposición adicional segunda del Real Decreto 235/2013 al edificio comercial proyectado.”

“Para garantizar el cumplimiento de esta obligación la licencia de obras del edificio quedará condicionada a que el proyecto constructivo incluya los aspectos del diseño y demás elementos necesarios que permitan justificar que se cumplirá con el objetivo de consumo de energía casi nulo.”

“Para facilitar el objetivo anterior se incorporará al proyecto, un estudio que relacione la orientación y localización del edificio y el aprovechamiento energético.”

“Para el cumplimiento de esta obligación se tomará en consideración la normativa de desarrollo en relación con el Real Decreto 235/2013 y el Real Decreto 56/2016, de 12 de febrero, por el que se transpone la Directiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de octubre de 2012, relativa a la eficiencia energética que, establece en la disposición adicional cuarta la definición de edificio de consumo de energía casi nulo.”

Por consiguiente, este es un ejemplo claro sobre cómo desde el urbanismo, es posible abogar por unas estrategias territoriales basadas en la eficiencia de recursos.

2.3.2. SIG. Sistema cartográfico actual

Para el modelaje, transporte y almacenamiento de información geográfica se encuentran los formatos GML⁶⁸, los cuales consisten en un sub-lenguaje de XML⁶⁹. Fue producida por el grupo OpenGIS -actualmente, OCG⁷⁰ - y desarrollada a través de la serie de normativas ISO 19100⁷¹.

⁶⁸ XML con contenido geográfico.

⁶⁹ Meta-lenguaje utilizado para almacenar datos de forma legible.

⁷⁰ VITTURINI y FILLOTTRANI, *Interoperabilidad y Estándares de Datos para Información Geográfica*, Universidad Nacional del Sur, 2008.

⁷¹ Normas ISO 19100 para la producción y manejo de geoinformación.

Conviene recordar que la Directiva 2007/2/CE⁷² -comúnmente denominada, INSPIRE-, y la cual posee su transposición a la legislación española en la Ley 14/2010⁷³ -comúnmente denominada, LISIGE-, establece dos tipos de formatos:

- CP (Cadastral Parcel) para parcelas catastrales, cumpliendo con el estándar definido en “INSPIRE Data Specification on Cadastral Parcels”⁷⁴.
- BU (Building) para edificios. El programa oficial de validación de los GML de parcela es posible encontrarlo en la sede electrónica del Catastro, sin embargo, a día de hoy no se encuentra desarrollado el de edificios.

Los formatos GML⁷⁵ están muy extendidos actualmente, de hecho, en el séptimo requisito de la Resolución de 29 de octubre de 2015⁷⁶, de la Subsecretaría, sobre los “requisitos que ha de cumplir la descripción técnica y la representación gráfica alternativa de las fincas que se aporte al Registro de la Propiedad”, en su apartado “b” versa lo siguiente:

“b) Deberá contenerse en el fichero informático, en formato GML (...), cuyos datos deberán corresponderse con los datos descriptivos y de superficie de la parcela o parcelas resultantes cuya inscripción se solicita. El citado fichero

⁷² DIRECTIVA 2007/2/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, de 14 de marzo de 2007, por la que se establece una infraestructura de información espacial en la Comunidad Europea.

⁷³ LEY 14/2010, de 5 de julio, sobre las infraestructuras y los servicios de información geográfica en España.

⁷⁴ INSPIRE Data Specification on Cadastral Parcels - Guidelines version 3.0.1. http://inspire.ec.europa.eu/documents/Data_Specifications/INSPIRE_DataSpecification_CP_v3.0.1.pdf

⁷⁵ DIRECCIÓN GENERAL DEL CATASTRO. Formato GML de parcela catastral. http://www.catastro.minhap.es/documentos/formatos_intercambio/Formato%20GML%20parcela%20catastral.pdf

⁷⁶ RESOLUCIÓN de 29 de octubre de 2015, de la Subsecretaría, por la que se publica la Resolución conjunta de la Dirección General de los Registros y del Notariado y de la Dirección General del Catastro, por la que se regulan los requisitos técnicos para el intercambio de información entre el Catastro y los Registros de la Propiedad. https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2015-7046.

habrá de estar firmado electrónicamente, en su caso, por el técnico que haya intervenido en su elaboración, y autenticado con firma electrónica o por otros medios fehacientes por el propietario o autoridad competente según proceda”.

Esta resolución conjunta trata de dar respuesta a los requisitos técnicos originados por las reformas que la Ley 13/2015⁷⁷ ha incorporado a la Ley Hipotecaria y al TR Ley del Catastro en materia de intercambio de información entre el Catastro y los Registros de la Propiedad. También se desarrolla en ésta cómo han de operar entre sí los registradores, funcionarios del Catastro, particulares y técnicos.

Debido a esta ley, los técnicos que tengan que modificar una cartografía para su presentación en el órgano competente, ésta deberá ser presentada en formato GML y firmada digitalmente por dicho técnico. Es por ello, que en el COAMU⁷⁸ hay a disposición de sus profesionales un software online de cambio de formato de DXF⁷⁹ a GML (véase la Figura 10). Por este motivo -y a falta de desarrollar plenamente las normas ISO, EN y UNE explicadas en el sub-apartado 2.2.2. BIM. Building Information Modelling-, se propondrá en la presente tesis la interoperabilidad con BIM a través de este tipo de formato, desarrollando también el CityGML como un paso más a la evolución cartográfica en los organismos públicos, como se verá más adelante.

⁷⁷ LEY 13/2015, de 24 de junio, de Reforma de la Ley Hipotecaria aprobada por Decreto de 8 de febrero de 1946 y del texto refundido de la Ley de Catastro Inmobiliario, aprobado por Real Decreto Legislativo 1/2004, de 5 de marzo.

⁷⁸ Aplicación web del COAMU para generar GML desde DXF. Colegio Oficial de Arquitectos de la Región de Murcia. <http://www.coamu.es/gml/>

⁷⁹ Formato de intercambio de archivos de dibujo realizados mediante diseño asistido por computadora.

The image shows a web interface for COAMU (Colegio Oficial de Arquitectos Región de Murcia). At the top, there is a navigation menu with links for NOTICIAS, AGENDA, CURSOS, CONCURSOS, CULTURA, CAT, and FORO. Below this, there are sub-links for + COAMU, REVISTA, CALIDAD, PRENSA, A.PERITOS, A.URBANISTAS, and COAMU TV. The main content area is titled 'GML COAMU' and contains the following text: 'Generación de fichero GML de una parcela catastral. (Versión Beta)'. Below this, it states: 'Para añadir las coordenadas debe adjuntar un fichero DXF según explicamos en el Manual'. There are several input fields: a dropdown menu for '* Huso (que uso elijo):' with the option 'Seleccione un huso.....'; a text field for 'Referencia catastral:' with the placeholder 'No introducir espacios'; a text field for 'Denominación de parcela:' with the placeholder 'No introducir espacios'; a text field for '* Superficie de parcela (m2):'; and a button 'Adjuntar fichero DXF' next to the instruction '* Subir un fichero DXF dibujado según Manual:'. At the bottom, there are two large text input fields labeled 'Coordenadas X' and 'Coordenadas Y'. On the left side, there is a vertical sidebar with various service icons and labels: Colegio, Secretaría, Ventanilla Única, Orientación y Empleo, Colegiados, Boletines / Circulares, Intercat, Visado, Biblioteca, Informática, Enlaces de Interés, Correo Web, Documentos, Buzón de Sugerencias, Empresas Colaboradoras, APLICACIÓN WEB COAMU genera GML desde DXF, ENCUESTA FORMACIÓN, CONSULTAS CAT, and BOLETINES CAT.

Figura 10. Generación de fichero GML de una parcela catastral. Fuente: COAMU.

En relación a este *desarrollo* mencionado en el párrafo anterior, la Dirección General del Catastro ha implementado ciertas mejoras en los últimos años, donde es posible acceder al portal mediante firma electrónica para la descarga masiva de datos y cartografías en los formatos SIG más comúnmente usados (véase la Figura 11⁸⁰), así como en XML, legibles mediante editores de texto plano.

En la Figura 12 se puede observar las diferentes capas disponibles, donde una de las aplicabilidades de la presente tesis sería la inclusión en esta lista de datos de impacto ambiental relacionados con el ciclo de vida. En consecuencia, a través de estos formatos sería posible la adición de más información sensible sobre indicadores de impacto ambiental desde un punto de vista edificatorio, con una clara finalidad a escala territorial, tal y como se explicará en los apartados 4.4.3. Modelo cartográfico BIM-SIG y 4.5.3. Implantación a escala urbana y territorial. La ciudad digital.

⁸⁰ Sede Electrónica del Catastro. <https://www.sedecatastro.gob.es/>



Figura 11. Lista de servicios al ciudadano. Fuente: Sede Electrónica del Catastro.

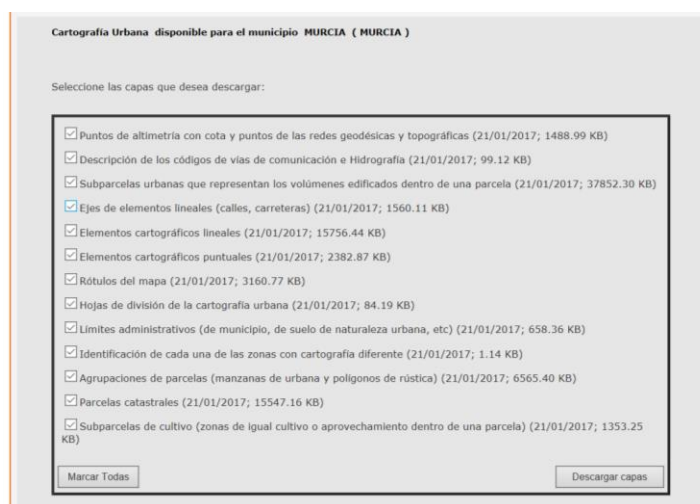


Figura 12. Cartografía Urbana disponible para el municipio de Murcia. Fuente: Sede Electrónica del Catastro.

Por otro lado, la Open Geospatial Consortium⁸¹ también promueve el estándar LoD2 de CityGML⁸² -nivel de detalle: distritos urbanos, proyectos, etc.-, donde merece la pena destacar que CityGML posee los siguientes 5 niveles de detalle:

⁸¹ OGC, 2013. CityGML standard. <http://www.opengeospatial.org/standards/citygml>

⁸² Wikipedia. CityGML. <https://es.wikipedia.org/wiki/CityGML>

- LoD 0: Regional, paisaje
- LoD 1: Ciudad, región
- LoD 2: Distritos urbanos, proyectos
- LoD 3: Modelos arquitectónicos (exterior), lugares de interés.
- LoD 4: Modelos arquitectónicos (interior)

Para la integración de datos de impacto ambiental y cuantificación de recursos propuestos en esta tesis en los desarrollos y rehabilitaciones urbanísticos sería suficiente con un GML⁸³, lo cual facilitaría su implementación en los organismos gestores de cartografías, no siendo necesaria actualmente la actualización a CityGML, como también se verá en los apartados 4.4.3. Modelo cartográfico BIM-SIG y 4.5.3. Implantación a escala urbana y territorial. La ciudad digital.

En cuanto a la interoperabilidad entre BIM y SIG, merece la pena recalcar en este sub-apartado lo mencionado respecto a la Directiva 2014/24/UE⁸⁴ sobre 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, ya debidamente analizado en el sub-apartado 2.2.2. BIM. Building Information Modelling. También es importante recordar de este sub-apartado lo mencionado sobre uno de los principales objetivos del Comité Técnico europeo de normalización CEN/TC 442 sobre estandarización de BIM a este respecto:

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

Por último, destacar que el comité ISO/TC 59/SC 13 está actualmente colaborando con el comité ISO/TC 211 en el proyecto “ISO/ NP19166, Geographic information. BIM to GIS conceptual mapping (B2GM)”, precisamente sobre el desarrollo de la interoperabilidad entre ambos. Por lo tanto, se tendrá muy presente esta ISO de cara a futuras líneas de investigación de esta tesis.

⁸³ GML es el estándar XML de la OGC, es decir, a través del empleo de metadatos.

⁸⁴ DIRECTIVA 2014/24/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 26 de febrero de 2014 sobre contratación pública y por la que se deroga la Directiva 2004/18/CE.

Así pues, sobran los motivos para afirmar que la interoperabilidad entre BIM y SIG se ha convertido en una prioridad en los últimos años coincidiendo con el periodo de realización de esta tesis, el cual se prevé que supondrá una gran revolución para las administraciones públicas (véase el proyecto UrbanBIM en el ANEXO 6), donde se puede afirmar que los tipos de formatos SIG existentes son capaces de soportar la información que se pudiese introducir sobre impacto ambiental y otros indicadores.

2.4. CONCLUSIONES SOBRE EL MARCO NORMATIVO

Habida cuenta de los aspectos tratados en este capítulo, se muestra la Figura 13, donde se puede observar la evolución en derecho comunitario explicada sobre las principales directivas, dictámenes y comunicaciones del parlamento europeo y del consejo. Clasificadas las áreas temáticas por diferentes gamas cromáticas, se han establecido los siguientes grupos:

1. Condiciones armonizadas para la comercialización de productos de construcción: Las cuales establecen y fortalecen los criterios de las normas ISO y UNE sobre etiquetas ecológicas.
2. Productos relacionados con la energía, también vinculada a edificios.
3. Eficiencia energética de los edificios. Si lugar a dudas, es el área en el que más normativas se han desarrollado.
4. Promoción de los edificios de consumo de energía casi nulo.
5. Uso de nuevas tecnologías en la administración pública (BIM, CAD,...).
6. Evaluación de las repercusiones de determinados proyectos públicos y privados sobre el medio ambiente.
7. Economía circular y eficiencia de recursos materiales en la construcción.

Esta figura ha sido analizada y desgranada paso a paso en los anteriores apartados -concretamente, 2.1.1. Derecho comunitario en la escala producto, 2.2.1. Derecho comunitario en la escala edificio, 2.3.1. Derecho comunitario en la escala edificio- en función a las citadas escalas, y profundizando en su contenido, específicamente las que son de especial relevancia para los objetivos de esta tesis.

Así pues, queda patente el esfuerzo de la UE en relación a la eficiencia energética, teniendo su origen en las exigencias del protocolo de Kioto sobre la reducción de emisiones de CO₂eq, situándose actualmente en un 30% a nivel europeo hasta 2030 para los sectores difusos (véase el sub-apartado 1.3.1. Consumo y crecimiento). Pero esta excesiva preocupación por los efectos del calentamiento global y querer cumplir con dichas exigencias, han dejado de lado otros aspectos igual de importantes, donde a partir de esta década han comenzado a redactarse las regulaciones necesarias. Como se puede observar, en las iniciativas del punto 7 sobre economía circular y eficiencia de recursos materiales en la construcción de la mencionada Figura 13, donde aún estas materias no han llegado a materializarse en directivas, si bien es cierto que, en el marco normativo nacional y determinadas actuaciones, se han propuesto algunas, las cuales serán referenciadas más adelante en las estrategias de implantación de la presente tesis. En definitiva, queda patente la intención de materializarlas en directivas europeas en un futuro no muy lejano.

Conceptos como economía circular, eficiencia de recursos materiales, ciclo de vida de los productos, etc. están comenzando a integrarse en el sector de la construcción y a surgir en recomendaciones y dictámenes, pasos previos a futuras directivas, donde la eficiencia energética fue el Caballo de Troya para introducir esta revolución medioambiental en este sector, en ocasiones, demasiado tradicional.

BLOQUE 2. MODELO DE VIABILIDAD TERRITORIAL

III – METODOLOGÍA

III – METODOLOGÍA

La metodología propuesta dará respuesta a los objetivos establecidos en esta tesis, planteando las herramientas necesarias de trabajo y abordando de forma más efectiva las contingencias que puedan surgir en la investigación para el desarrollo del modelo teórico, puesto que el método de síntesis que se planteará, permitirá la agrupación racional de referencias dispersas en la materia para el estudio en su totalidad en la presente tesis.

Por consiguiente, en la Figura 14 se observa cómo en el capítulo IV se desarrolla la investigación del modelo teórico y se articulan los engranajes fase a fase, para la creación de un modelo de implantación, el cual se nutrirá de artículos científicos, proyectos de investigación, normativas y software de cálculo para poder vincular la escala producto con la escala territorio.

Cada fase o paso a desarrollar en la metodología se corresponde con un apartado del desarrollo de la investigación, cumpliendo cada uno de estos con los objetivos propuestos y pudiendo ser analizados estos en su conjunto como un todo indisoluble al llegar al final de dicho desarrollo investigador.

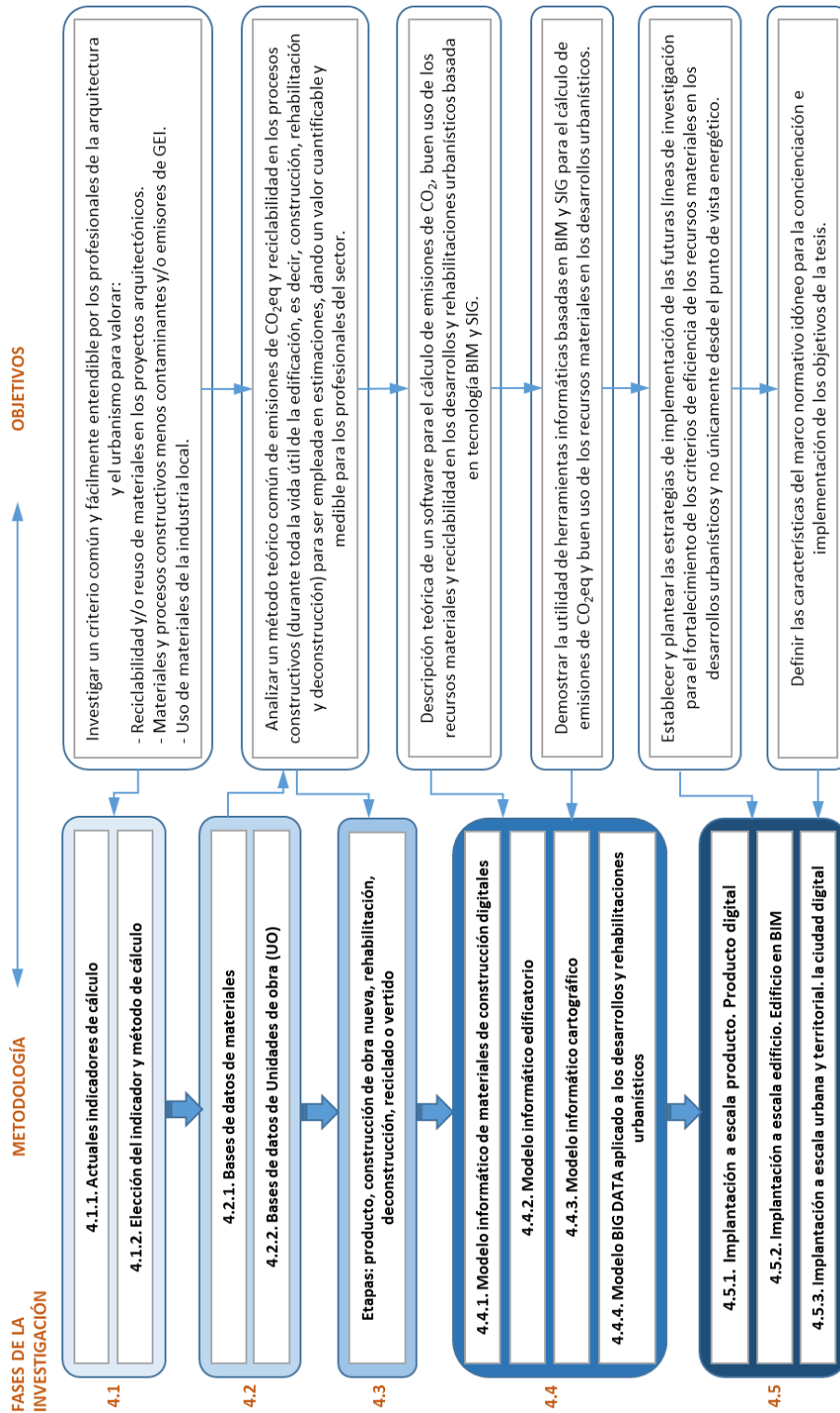


Figura 14. Esquema metodológico de la tesis

En la siguiente tabla, se puede observar más concretamente la metodología a aplicar en cada apartado:

FASES DE LA METODOLOGÍA	INVESTIGACIÓN A DESARROLLAR
4.1. INDICADORES Y MÉTODOS DE CÁLCULO	<p>En este apartado se investigará sobre los indicadores de cálculo existentes mediante el estudio de la normativa de eficiencia energética, así como referencias bibliográficas, optando finalmente por la elección del más adecuado para desarrollar el modelo teórico de impacto ambiental a escala Producto / Edificio / Territorio.</p> <p>Finalmente, se optará por un método de cálculo ya establecido, teniendo en cuenta los siguientes criterios:</p> <ul style="list-style-type: none"> · Mayor posibilidad de armonización en futuras normativas. · Simplicidad en el cálculo y alto grado de vinculación con otros métodos de cálculo. · Facilidad de extrapolación de los indicadores de impacto ambiental elegidos al modelo BIM de productos digitales y documentación gráfica del proyecto arquitectónico.
4.2. ENTRADA DE DATOS	<p>Se investigarán en este apartado las bases de datos existentes a emplear, donde sea posible su empleo tanto para los indicadores de impacto ambiental seleccionados como para el modelo de cálculo escogido, donde, para cada material de construcción, se disponga de los impactos ambientales necesarios.</p> <p>Se realizará el método de transposición de estos datos de impacto ambiental desde los materiales de construcción hasta Unidades de Obra (UO).</p> <p>En ambas fases de investigación, se tendrá en cuenta bibliografía de referencia, así como la forma más idónea en la que esta información ha de estructurarse en los objetos BIM.</p>

FASES DE LA METODOLOGÍA	INVESTIGACIÓN A DESARROLLAR
4.3. MEJORAS TEÓRICAS PARA LA PRECISIÓN DEL CÁLCULO	Se analizarán y propondrán nuevas vías de mejoras en el método de cálculo y adquisición de datos en base a bibliografía de referencia, así como aportaciones del autor de esta tesis.
4.4. ESCALAS DE LA APLICACIÓN ECOEFICIENTE	A través de las mencionadas 3 escalas de actuación del proyecto y siempre en base a referencias y proyectos de investigación analizados, se desarrollará en profundidad las etapas del modelo teórico desde el producto hasta el territorio para la estimación de la eficiencia de recursos materiales y el impacto ambiental de los desarrollos y rehabilitaciones urbanísticas.
4.5. ESTRATEGIAS DE IMPLANTACIÓN TERRITORIAL	En base a la fase de desarrollo de la investigación del apartado 4.4 y la normativa analizada en el capítulo II, se estudiarán y propondrán medidas de implementación necesarias para poder llevar a la práctica el modelo teórico en futuras líneas de investigación, igualmente, también en las 3 principales escalas de actuación: Producto / Edificio / Territorio.

Tabla 1. Metodología de aplicación en el desarrollo de la investigación. Elaboración propia.

IV – DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

IV – DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

Una vez analizado el estado de la cuestión en el capítulo II y la metodología de la presente tesis, en este capítulo se asentarán las bases de cálculo, las cuales se extrapolarán al modelo BIM, y finalmente al SIG, en el apartado 4.4. ESCALAS DE LA APLICACIÓN ECOEFICIENTE, siendo también necesario establecer las estrategias oportunas en el apartado 4.5. ESTRATEGIAS DE IMPLANTACIÓN TERRITORIAL.

Se ha de tener también en cuenta, que los modelos empleados en relación al cálculo de la huella de carbono se han desarrollado ampliamente en los últimos 10 años a través de un proceso importante de procedimentación, normalización y regulación⁸⁵.

En consecuencia, es posible adelantar que esta tesis estará fundamentada en los criterios de la UNE-EN 15978⁸⁶ para el método de cálculo, pero dándole prioridad a la definición de la transposición de los datos de DAP a BIM, por lo que para la presente tesis se ha optado por simplificar la metodología de cálculo y acotar los indicadores, así como las etapas del ciclo de vida consideradas, referenciando, de esta forma, a otros estudios que han tenido los medios -tanto materiales e inmateriales- y capacidad necesarios de desarrollarlos en profundidad, con el fin de dar cabida al amplio modelo teórico de diferentes escalas de actuación que se pretende desarrollar en esta tesis.

Será objeto de líneas futuras de esta tesis su pleno estudio en base a la citada UNE, desarrollando plenamente su cálculo y contando con la amplia experiencia

⁸⁵ VICTORIA JUMILLA, *La huella de carbono y otras iniciativas públicas de interés relacionadas con la mitigación y adaptación al cambio climático*, 2015a, págs. 183-205.

SERRANO LÓPEZ, VICTORIA JUMILLA y ALARCÓN GARCÍA, *Derecho ambiental en la región de Murcia*, Editorial Civitas, S.A., 2011.

⁸⁶ UNE-EN 15978. Sostenibilidad en la construcción. Evaluación del comportamiento ambiental de los edificios. Métodos de cálculo.

de un equipo multidisciplinar de expertos y colaboradores e, igualmente, con el apoyo de entidades pertenecientes a la triple hélice⁸⁷.

Por lo tanto, como se ha afirmado anteriormente, será importante tener presente el modelo BIM a la hora de establecer este método simplificado de cálculo, puesto que la definición de una UO respecto a los materiales que la componen y su método de ejecución, definirán el resto del mencionado modelo hasta la escala territorial.

4.1. INDICADORES Y MÉTODOS DE CÁLCULO

4.1.1. Actuales indicadores de cálculo

En el presente apartado se darán a conocer los diferentes indicadores empleados en el marco normativo europeo, tanto desde el punto de vista de la eficiencia energética, como desde la eficiencia de materiales.

Cabe destacar que al igual que a inicios del año 2.000, el cálculo de las emisiones de CO₂ relacionadas con la certificación energética de los edificios se encontraba en un plano a nivel de investigación mediante doctorados y artículos científicos y, sin embargo, actualmente forma parte del día a día en el ámbito profesional, donde en los últimos 10 años desde la fecha de publicación de esta tesis, todos estos avances se han precipitado debido a las regulaciones establecidas en los Estados Miembros. Por lo tanto, actualmente está instaurado tanto a nivel legislativo como académico. En consecuencia, ha de darse el mismo salto académico, profesional y legislativo para el cálculo de las emisiones en las construcciones o definir otros indicadores de sostenibilidad teniendo en cuenta el ciclo de vida de los productos y los procesos constructivos más eficientes.

⁸⁷ En los ANEXOS 4, 5 y 6 se desarrollan plenamente las líneas de investigación abiertas en los cuales participa activamente el redactor de esta tesis, principalmente como el generador de la idea principal en varios casos y en otros involucrando a expertos altamente cualificados con los que, si no fuese por ellos, sería imposible implementar, ejecutar y mejorar el planteamiento inicial de estos proyectos de investigación, siendo además crucial la composición de equipos multidisciplinarios para la continua evolución y mejora de las investigaciones propuestas.

A este respecto, en el Dictamen 2015/C 195/06⁸⁸, cuyo documento de referencia es el COM(2014) 445 final⁸⁹, se establece que se ha de:

- “desarrollar un enfoque europeo común para evaluar el comportamiento ambiental de los edificios, ya que debe establecerse un marco común de indicadores clave centrados en los aspectos más importantes de los impactos ambientales”;
- “entre los aspectos que la Comisión considera claves, figuran el consumo total de energía, incluida la energía de funcionamiento y la energía contenida en los productos y procesos de construcción, el uso de materiales y sus impactos ambientales, la durabilidad de los productos de construcción, la planificación de la demolición, la gestión de residuos de construcción y de demolición, el contenido reciclado de los materiales de construcción, la posibilidad de reciclado y reutilización de los materiales y productos de construcción, el agua utilizada en los edificios, la intensidad de uso de los edificios (principalmente públicos), etc.”;
- todo ello con el objetivo de que estos aspectos claves “permitirán la comparabilidad y proporcionarán a los consumidores y a los responsables políticos un acceso más fácil a información fiable y coherente.”

Queda patente en este dictamen de la Comisión Europea que han de definirse el/los indicador/es para el comportamiento y los impactos ambientales de los edificios. Como se verá a continuación, existe una gran disparidad entre el avance generado entre indicadores relacionados con la eficiencia energética y los relacionados con la eficiencia de recursos materiales.

En relación a las directivas europeas sobre eficiencia energética, éste ha sido un reto de candente actualidad para la Unión Europea desde la Directiva 2002/91/CE, pero tal y como versa en el Dictamen 2015/C 195/06 mencionado

⁸⁸ DICTAMEN DEL COMITÉ DE LAS REGIONES EUROPEO - Oportunidades para un uso más eficiente de los recursos en el sector de la construcción - (2015/C 195/06).

⁸⁹ COMUNICACIÓN DE LA COMISIÓN AL PARLAMENTO EUROPEO, AL CONSEJO, AL COMITÉ ECONÓMICO Y SOCIAL EUROPEO Y AL COMITÉ DE LAS REGIONES EUROPEO - Oportunidades para un uso más eficiente de los recursos en el sector de la construcción - COM(2014) 445 final.

anteriormente, así como en la Directiva 2010/31/UE, no se define la obligatoriedad de qué tipo indicador/es se han de emplear para estimar la eficiencia energética de los edificios, quedando de este modo al libre albedrío de cada país de la UE.

Esta necesidad de la definición de un indicador común europeo en cuanto a eficiencia energética quedó patente en el proyecto europeo EPISCOPE⁹⁰ (mencionado en el apartado 2.2.3. Rehabilitación: ITE/IEE), donde se desarrollaba un estudio comparativo entre los diferentes indicadores usados en Europa⁹¹ en 2015, con el objetivo de, posteriormente, establecer unos indicadores de rendimiento energético a nivel europeo, llegando incluso a “proponer procedimientos de monitoreo de cara a comprobar la efectividad de los indicadores establecidos: bases de datos de certificaciones energéticas, encuestas representativas, censos regionales o nacionales, facturas de calefacción o energéticas, desarrollo de activos estratégicos, gestión energética, etc.”

A destacar, en este informe se realizaba una comparativa de las diferentes definiciones de EECN, donde también son comparados los diferentes tipos de indicadores calculados para medir la eficiencia energética, donde es interesante mencionar que en España se emplea el CO₂ como principal indicador. En las siguientes dos tablas⁹² (más una tercera con la leyenda) se puede observar los diferentes indicadores empleados en cada país de los Estados Miembros (véase la Tabla 2, Tabla 3, Tabla 4):

⁹⁰ Energy Performance Indicator Tracking Schemes for the Continuous Optimisation of Refurbishment Processes in European Housing Stocks www.episcope.eu

⁹¹ Nearly Zero Energy Buildings Definitions Across Europe (BPIE, 2015), elaborado por Buildings Performance Institute Europe en el marco del proyecto europeo EPISCOPE. El objetivo estratégico global del proyecto EPISCOPE era “hacer transparentes y eficaces los procesos de renovación energética en el sector inmobiliario europeo”, concretamente, en viviendas.

⁹² Tabla 2, Tabla 3, Tabla 4: Visión global de los principales aspectos relacionados con las definiciones nacionales del EECN en la UE28 (y Noruega); Cross-country overview of the main aspects related to national nZEB definitions in EU28 (and Norway). Fuente: Nearly Zero Energy Buildings Definitions Across Europe (BPIE, 2015) en el proyecto EPISCOPE.

Country	Status of the definition	Main reference(s)	Year of enforcement		EPBD scope of nZEB definition [1]	Numerical indicator	nZEB definition for new buildings		Share of renewable energy	Other indicators	nZEB definition for existing buildings	
			Public	Non-public			Maximum primary energy kWh/m ²	Non-residential buildings			Status of the definition	Maximum primary energy kWh/m ²
Austria	✓	OIB Guidelines 6	1/01/2019	1/01/2021	✓ [7]	✓	160	170 (from 2021)	Minimum share proposed in the draft of OIB guidelines for all buildings	EP, CO ₂	200	250 (from 2021)
Belgium - Brussels	✓	Amended Decree of 21/12/2007	1/01/2015	1/01/2015	✓	✓	45	~90 [2]	✓ Qualitative	EP, OH	54	~108 [2]
Belgium - Flanders	✓	Regulation of 29/11/2013	1/01/2019	1/01/2021	✓	✓	30% PE [5]	40% PE [5]	✓ Quantitative [4]	EP, OH		
Belgium - Wallonia	Under development	Consolidated report to EC	1/01/2019	1/01/2019	✓	Under development			Quantitative	EP		
Bulgaria	Still to be approved	National nZEB Plan, <u>EPBE study</u>	1/01/2019	1/01/2021	✓	Still to be approved	~30-50	~40-60	Quantitative	EP	~30-50	~40-60
Croatia	✓	Regulation OG 97/14, National nZEB Plan	1/01/2019	1/01/2021	✓	✓	33-41[3]	Under development	Minimum share in current requirements for all buildings	EP		
Cyprus	✓	Decrease 366/2014, Law 210(I)/2012	1/01/2019	1/01/2021	✓	✓	100	125	✓ Quantitative	EP	100	125
Czech Republic	✓	Regulation 78/2013 Coll.	2016-2018 depending on size	2018-2020 depending on size	✓	✓	75-80% [2,5]	90% [5]	✓ Quantitative	EP, TS	75-80% [2,5]	90% [5]
Denmark	✓	Building Regulations 2010	1/01/2019	1/01/2021	✓	✓	20	25	✓ Qualitative	EP, OH, TS	20	25
Estonia	✓	Regulation 68:2012	1/01/2019	1/01/2021	✓ [7]	✓	50-100 [2]	90-270 [2]	✓ Qualitative			
Finland	Under development	Consolidated report to EC	1/01/2018	1/01/2021	✓ [7]	ND			ND			
France	Definition of Positive Energy Buildings under development [8]	Thermal Regulation 2012, National nZEB Plan	28/10/2011	1/01/2013	✓	✓	40-65 [2,3]	70-110 [2,3]	✓ Quantitative [4]	EP, OH, TS	80 [3]	60% PE [2]
Germany	Under development	KfW Efficiency House, National nZEB plan	1/01/2019	1/01/2021	✓	Under development	40% PE [5]		Minimum share in current requirements for all buildings	EP		55% PE [5]
Greece	Under development	Law 4122/2013	1/01/2019	1/01/2021	ND	ND			Minimum share in current requirements for all buildings			
Hungary	Under development	Amended decree 7/2006, study by University of Debrecen	1/01/2019	1/01/2021	✓	Under development	50-72 [2]	60-115 [2]	✓ Quantitative	EP		
Ireland	✓	Draft definition in National nZEB Plan	1/01/2019	1/01/2021	✓	✓	45	~60% PE [5]	✓ Quantitative [4]	CO ₂	75-150	

Tabla 2. Visión global de los principales aspectos relacionados con las definiciones nacionales del EECN en la UE28 (y Noruega). Definiciones 1. Fuente: proyecto EPISCOPE.

Country	Status of the definition	Main reference(s)	Year of enforcement		EPBD scope of nZEB definition [1]	Numerical indicator	nZEB definition for new buildings		Share of renewable energy	Other indicators	nZEB definition for existing buildings	
			Public	Non-public			Maximum primary energy [kWh/m ²]	Non-residential buildings			Status of the definition	Maximum primary energy [kWh/m ²]
Italy	Still to be approved (under publication)	Draft of the new EPBD decree	1/01/2019	1/01/2021	✓	Still to be approved	Included in the upcoming updated version of the National nZEB Plan [2,3]	Quantitative	EP, TS	As for new buildings	Included in the upcoming updated version of the National nZEB Plan [2,3]	
Latvia	✓	Regulation 383/2013	1/01/2019	1/01/2021	✓	✓	95	✓ Quantitative	EP	As for new buildings	95	
Lithuania	✓	Regulation STR 2.01.09-2012	1/01/2019	1/01/2021	✓	✓	Included in the calculation; building needs to comply with class A++	✓ Quantitative	EP	As for new buildings	Included in the calculation; building needs to comply with class A++	
Luxembourg	✓ Details to be fixed	National nZEB Plan	1/01/2019	1/01/2021	✗ [6]	✓	Included in the calculation; building needs to comply with class A-A-A	✓ Qualitative	EP, CO ₂	ND	ND	
Malta	Under development	National nZEB Plan	1/01/2019	1/01/2021	✓	Current values to be revised	40	Qualitative	EP	ND	ND	
Netherlands	✓	National nZEB Plan	1/01/2019	1/01/2021	✓	✓	Included in the calculation; building needs to comply with energy performance coefficient = 0	✗	EP	ND	ND	
Norway	Under development	Presentation by Research Centre on Zero Emission Buildings	1/01/2021	1/01/2021	✓	Under development		Minimum share in current requirements for all buildings	CO ₂ (main indicator), EP, TS	ND	ND	
Poland	Under development	Consolidated report to EC	1/01/2019	1/01/2021	✓	Under development	60-75 [2]	✗		ND	ND	
Portugal	Under development	Law 118/2013	1/01/2019	1/01/2021	✓	In current requirements for buildings		✗		ND	ND	
Romania	✓	National nZEB Plan	1/01/2019	1/01/2021	✓	✓	93-217 [2,3]	✓ Quantitative	CO ₂	ND	ND	
Slovakia	✓	Decree 364/2012	1/01/2019	1/01/2021	✗ [6]	✓	32-54 [2]	✓ Quantitative	EP	ND	ND	
Slovenia	Still to be approved	Official Journal 17/14, National nZEB Plan	1/01/2019	1/01/2021	✓	Still to be approved	45-50 [2]	Under development	EP	Still to be approved	70-90 [2]	
Spain	Under development	Decree 235/2013	1/01/2019	1/01/2021	✓	Under development	Included in the calculation; it is foreseen that buildings will need to comply with class A	Minimum share in current requirements for all buildings	CO ₂ (main indicator)	Under development		
Sweden	Under development	National nZEB Plan	1/01/2019	1/01/2021	✓	Under development	30-75 [2,3]	✗		ND	ND	
UK (England)	✓ Details to be fixed	National nZEB Plan, presentation by Zero Carbon Hub	1/01/2018 (from 2016 for residential buildings) [9]	1/01/2019 (from 2016 for residential buildings) [9]	✓	✓	~44 (2)	✓ Qualitative	CO ₂ (main indicator), EP, TS	ND	ND	

Tabla 3. Visión global de los principales aspectos relacionados con las definiciones nacionales del EECN en la UE28 (y Noruega). Definiciones 2. Fuente: proyecto EPISCOPE.

LEGEND OF TABLE 1		
✓	definition included in an official document	✗ no definition available ND - no data
Other indicators: CO ₂ - Carbon emissions, EP - Envelope performance, OH - Overheating indicator, TS – Performance of technical systems		
[1]	For residential buildings, the EPBD takes into account the following energy services: heating, cooling, domestic hot water, air conditioning, and, for non-residential buildings, lighting is considered in addition	
[2]	Depending on the reference building	
[3]	Depending on the location	
[4]	Requirement depending on the RES measures adopted	
[5]	Maximum primary energy consumption defined as a percentage of the primary energy consumption (PE) of a reference building. In the Czech Republic, the non-renewable primary energy is considered instead of the primary energy	
[6]	No cooling for residential buildings	
[7]	Energy consumption of appliances is included in addition in the definition (both for residential and non-residential buildings)	
[8]	In the National nZEB Plan, BBC / "Bâtiments Basse Consommation" (buildings which comply with the Thermal Regulation 2012) are defined as buildings with an energy consumption close to zero, but it is foreseen that buildings will be positive energy buildings from 2020	
[9]	Apart from England, the targets for the other UK countries are different and expected to be reviewed. Northern Ireland is trying to promote the UK government's goal that all new homes should reach a zero carbon standard by 2016.	

Tabla 4. Visión global de los principales aspectos relacionados con las definiciones nacionales del EECN en la UE28 (y Noruega). Leyenda. Fuente: proyecto EPISCOPE.

Tomando o no como base este proyecto europeo, lo cierto es que al año siguiente de la presentación de dicho informe, se publicó en el Diario Oficial de la Unión Europea la RECOMENDACIÓN (UE) 2016/1318 DE LA COMISIÓN⁹³, la cual versa lo siguiente:

- "La mayor parte de los Estados Miembros utiliza ya, de conformidad con el anexo I, un indicador de uso de energía primaria en kWh/(m²/año)". También se aclara que "es frecuente, además, que los Estados Miembros empleen otros parámetros, como, por ejemplo, los valores U (Coeficiente de transmisión del material en w/m² °C) de los componentes de la envolvente de los edificios, la energía neta y final para calefacción y refrigeración o las emisiones de CO₂."
- "En casi seis de cada diez Estados Miembros se ha recogido con detalle en un documento legal (por ejemplo, en las reglamentaciones de la construcción y en los decretos de energía) sobre la aplicación que se da a la definición de EECN."
- "La aplicación concreta que los Estados Miembros den en la práctica a la definición de EECN tiene que incluir un indicador numérico del uso de

⁹³ RECOMENDACIÓN (UE) 2016/1318 DE LA COMISIÓN de 29 de julio de 2016, sobre las directrices para promover los edificios de consumo de energía casi nulo y las mejores prácticas para garantizar que antes de que finalice 2020 todos los edificios nuevos sean edificios de consumo de energía casi nulo

energía primaria expresado en kWh/(m²/año), y esa aplicación concreta debe integrarse en las disposiciones de transposición nacionales o en el plan nacional adoptado para aumentar el número de EECN.”

En España, las transposiciones de dichas directivas han dado lugar a varias normativas, ya sean de ámbito nacional, autonómico o municipal, donde se definieron las certificaciones energéticas, cuyo indicador era el CO₂ -con el fin de que las emisiones de los siete tipos de GEI⁹⁴ fuesen comparables entre sí-. Actualmente, en España también se ha adoptado el indicador numérico del uso de energía primaria expresado en kWh/(m²/año).

Queda patente en los párrafos previos, por tanto, los esfuerzos de la UE en materia de eficiencia energética y definición de EECN, así como en España, independientemente de haber tardado algo más de tiempo que la mayoría de los países de la zona euro. Sin embargo, cabe destacar que, llegados a este punto, se pone de manifiesto una de las principales premisas de esta tesis: la necesidad de inclusión de un criterio común de indicadores de sostenibilidad y eficiencia de recursos materiales, tal y como se recomienda en el mencionado Dictamen 2015/C 195/06, es decir, indicadores enfocados a parámetros de impactos ambientales sobre los procesos constructivos y materiales de construcción, y no sólo en relación a la tendencia mayoritaria actual de consumo energético de edificios. Concretamente:

- “energía contenida en los productos y procesos de construcción”;
- “el uso de materiales y sus impactos ambientales”;
- “la durabilidad de los productos de construcción”;
- “la planificación de la demolición, la gestión de residuos de construcción y de demolición”;
- “el contenido reciclado de los materiales de construcción”;
- “la posibilidad de reciclado y reutilización de los materiales y productos de construcción”;

⁹⁴ Gases de efecto invernadero: Dióxido de Carbono (CO₂), metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), hidrofluorocarbonados (HFCs), perfluorocarbonos (PFCs), hexafluoruro de azufre (SF₆) y trifloruro de nitrógeno (NF₃).

- “el agua utilizada en los edificios”;
- “la intensidad de uso de los edificios (principalmente públicos), etc.”;

Más concretamente, en la norma UNE-EN 15978⁹⁵, elaborada por el comité técnico AEN/CTN 198 Sostenibilidad en la construcción, se propone el cálculo de una serie de indicadores para todas las fases del ciclo de vida de un edificio, clasificadas en 5 grandes módulos:

- A1 a A3. Etapa de producto.
- A4 y A5. Etapa de construcción.
- B1 a B7. Etapa de uso.
- C1 a C4. Etapa de fin de vida.
- D. Beneficios y cargas más allá del límite del sistema.

En base a estos módulos, los indicadores para los impactos ambientales que se proponen calcular en dicha UNE son los siguientes:

Indicadores para los impactos ambientales	Unidades del indicador
Potencial de calentamiento global, GWP	kgCO ₂ eq
Potencial de agotamiento de la capa de ozono estratosférica, ODP	kgCFC11eq
Potencial de acidificación de tierra y agua, AP	kgSO ₂ eq
Potencial de eutrofización, EP	kg(PO ₄) ³⁻ eq
Potencial de formación de oxidantes fotoquímicos del ozono troposférico, POCP	kg Etileno eq
Potencial de agotamiento de recursos abióticos para elementos, ADP_elementos	kg Sb eq
Potencial de agotamiento de recursos para combustibles fósiles, ADP_combustibles fósiles	MJ

Tabla 5. Indicadores de la tabla de resultados de impactos ambientales según UNE-EN 15978.

⁹⁵ UNE-EN 15978. Sostenibilidad en la construcción. Evaluación del comportamiento ambiental de los edificios. Métodos de cálculo.

Por otro lado, y también en base a estos módulos mencionados, en el uso de recursos que se proponen calcular en dicha UNE se emplean los siguientes indicadores:

Indicadores para los impactos ambientales	Unidades del indicador
Uso de energía primaria renovable excluyendo los recursos de energía utilizados como materia prima	MJ, valor calorífico neto
Uso de recursos energía primaria renovable utilizados como materia prima	MJ, valor calorífico neto
Uso de energía primaria no renovable excluyendo los recursos de energía utilizados como materia prima	MJ, valor calorífico neto
Uso de recursos energía primaria no renovable utilizados como materia prima	MJ, valor calorífico neto
Uso de materiales secundarios	kg
Uso de combustibles secundarios renovables	MJ
Uso de combustibles secundarios no renovables	MJ
Uso neto de agua corriente	m ³

Tabla 6. Indicadores de la tabla de resultados de uso de recursos según UNE-EN 15978.

Por lo que respecta a la categoría de residuos, la unidad del indicador principal empleado es el kg para los impactos ambientales siguientes:

- Residuos peligrosos vertidos.
- Residuos no peligrosos vertidos.
- Residuos radioactivos vertidos.

Por último, los flujos de salida también poseen como indicador el kg, salvo en el caso de la energía exportada, donde se usa el MJ:

- Componentes para reutilización.
- Materiales de reciclaje.
- Materiales para valorización energética (recuperación de energía).
- Energía exportada.

Como se verá en el apartado “4.1.2. Elección del indicador y método de cálculo”, tanto la elección de los indicadores de cálculo como la metodología, se

basarán en esta UNE, puesto que el AEN/CTN⁹⁶ que la elaboró quiso, de una forma acertada, dar continuidad a las UNE EN 15804, lo cual facilita el cálculo en este sentido, si bien sería positivo que en el futuro se estudiase la posibilidad de inclusión de nuevos indicadores.

4.1.2. Elección del indicador y método de cálculo

En el presente apartado, se optará por el/los indicador/es de cálculo que se emplearán en esta tesis, teniendo en cuenta los principales referentes en el estado del arte, tanto en relación a investigaciones y proyectos de índole nacional o internacional, como en el marco normativo.

Independientemente del tipo de indicador empleado, respecto a las investigaciones enfocadas desde el punto de vista de la ejecución de edificios, destacan las siguientes consultadas para la presente tesis:

- La tesis *Cuantificación de los recursos consumidos y emisiones de CO2 producidas en las construcciones de Andalucía y sus implicaciones en el protocolo de Kioto*⁹⁷ desarrolla los dos indicadores mencionados en su título, y que tuvo su extensión en un artículo científico⁹⁸.
- En la tesis *Evaluación de la huella ecológica del sector edificación (uso residencial) en la Comunidad Andaluza*⁹⁹, donde se desarrolla “un modelo teórico de cálculo de la huella del sector edificación residencial para la fase de construcción”, y fue elegido dicho indicador, puesto que “la huella

⁹⁶ COMITÉ TÉCNICO DE NORMALIZACIÓN AEN/CTN 198 Sostenibilidad en la construcción.

⁹⁷ MERCADER MOYANO, *Cuantificación de los recursos consumidos y emisiones de CO2 producidas en las construcciones de Andalucía y sus implicaciones en el protocolo de Kioto*, Construcciones Arquitectónicas I, Universidad de Sevilla, 2010.

⁹⁸ MERCADER MOYANO, RAMÍREZ DE ARELLANO y OLIVARES, "Modelo de cuantificación de las emisiones de CO2 producidas en edificación derivadas de los recursos materiales consumidos en su ejecución", *Informes de la Construcción*, 2012, N^o 64 (527), págs. 401-414.

⁹⁹ SOLÍS GUZMÁN, *Evaluación de la huella ecológica del sector edificación (uso residencial) en la Comunidad Andaluza*, Universidad de Sevilla, 2011.

ecológica es capaz de definir, de forma empírica y visual, el grado de impacto de la edificación sobre el territorio". Posteriormente, este estudio fue ampliado y explicado el modelo teórico a aplicar para poder vincular la huella ecológica a la edificación¹⁰⁰, así como a nivel urbanístico¹⁰¹.

Desde el punto de vista de la demolición, también cabe destacar otras investigaciones que tienen en cuenta desde el ámbito edificatorio para la cuantificación y gestión de los residuos, tanto durante la construcción como deconstrucción¹⁰², pero igualmente, también a escala urbanística¹⁰³.

En consecuencia, teniendo en cuenta estos estudios previos y como punto de partida el mencionado Dictamen 2015/C 195/06¹⁰⁴, para poder definir los indicadores que se emplearán, se tendrá que pensar en primer lugar en los objetivos de la presente tesis, así como el alcance de la misma, puesto que

¹⁰⁰ SOLÍS GUZMÁN, MARRERO y RAMÍREZ DE ARELLANO, "Methodology for determining the ecological footprint of the construction of residential buildings in Andalusia (Spain)", *Ecological Indicators*, 2013, N° 25, págs. 239-249.

¹⁰¹ MARRERO, FREIRE GUERRERO, SOLÍS GUZMÁN y RIVERO CAMACHO, "Estudio de la huella ecológica de la transformación del uso del suelo", *Seguridad y medio ambiente*, 2014, N° 136, págs. 6-14.

MERCADER MOYANO, OLIVARES y GARRIDO, "El impacto ambiental en edificación y su relación con las tipologías edificatorias residenciales: el diseño urbano y el estudio de la ciudad como estrategia de sostenibilidad", *Workshop on Environmental Impact of Buildings*, 2013.

¹⁰² SOLÍS GUZMÁN, MARRERO, MONTES DELGADO y RAMÍREZ DE ARELLANO, "A Spanish model for quantification and management of construction waste", *Waste Management*, 2009, N° 29 (9), págs. 2542-2548.

MARRERO y RAMÍREZ DE ARELLANO, "The building cost system in Andalusia: application to construction and demolition waste management", *Construction Management and Economics*, 2010, N° 28 (5), págs. 495-507.

¹⁰³ MARRERO, PUERTO, RIVERO CAMACHO, FREIRE GUERRERO y SOLÍS GUZMÁN, "Assessing the economic impact and ecological footprint of construction and demolition waste during the urbanization of rural land", *Resources, Conservation and Recycling*, 2017, N° 117, Part B, págs. 160-174.

¹⁰⁴ Véase el apartado "4.1.1. Actuales indicadores de cálculo".

conviene acotarlos bien de modo que la presente investigación sea abarcable. Concerniente a este dictamen, los 5 aspectos claves que se abarcarán -de los 8 citados anteriormente- serán los siguientes¹⁰⁵:

- “energía contenida en los productos y procesos de construcción”;
- “la durabilidad de los productos de construcción”;
- “(...) la gestión de residuos de construcción y de demolición”;
- “el contenido reciclado de los materiales de construcción”;
- “la posibilidad de reciclado y reutilización de los materiales y productos de construcción”.

Y más concretamente, también se tendrá presente lo definido en ese mismo apartado sobre la norma UNE-EN 15978, la cual servirá no sólo de base para definir los módulos a calcular, sino también una clara referencia para la metodología de cálculo y los indicadores empleados.

Actualmente, dado el número reducido de declaraciones ambientales de producto para los materiales de construcción -y con reducido, realmente se pretende afirmar a que no existe una representación suficiente para poder definir mediante DAP nacionales un proyecto de ejecución al completo- así como la ausencia en el cálculo de los módulos A4-A5, B, C y D, los cuales definen el límite del sistema, en la gran mayoría de éstas -puesto que únicamente es obligatorio su cálculo en las fases de producto A1-A3-, no quedaría más remedio que acudir a emplear programas de ACV para poder acceder a todos estos resultados de indicadores por cada material de construcción.

¹⁰⁵ Otros aspectos citados en dicho dictamen, que son ciertamente complejos de definir y abarcar, no son definidos en los indicadores, siendo éstos considerados en algunos sellos de calidad en relación a la sostenibilidad. Sin embargo, estos aspectos clave no contemplados en la tesis son tenidos en cuenta en las líneas futuras, así como en diferentes proyectos en los que el autor de la presente tesis se encuentra inmerso en su actividad profesional diaria. Son las siguientes: “la planificación de la demolición (...)”, “el uso de materiales y sus impactos ambientales”, “el agua utilizada en los edificios” y “la intensidad de uso de los edificios (principalmente públicos)”, etc.

Merece la pena recordar en este punto, que la presente tesis tiene como objetivo establecer una metodología para que desde la escala de material de construcción BIM, poder llegar a establecer un modelo de cálculo del impacto ambiental a escala urbana. En líneas futuras de esta tesis en conjunción con el avance y desarrollo de nuevas DAP, se podrá llegar a incorporar todos estos indicadores en los modelos BIM. Por lo tanto, a modo de representación y efectividad del modelo propuesto, se centrará únicamente en las emisiones de CO₂, concretamente el mencionado GWP, cuyo indicador es kgCO₂eq, ya que sin lugar a dudas es el tipo de indicador del que más datos se dispone, y donde la Unión Europea presta más atención debido al protocolo de Kyoto¹⁰⁶. Actualmente, existen buenos ejemplos de este tipo de estudios en profundidad.

Igualmente, desde los kgs de producto, se propondrá una metodología de cálculo para la reciclabilidad de los materiales desde el modelo digital de unidad de obra BIM teniendo en cuenta también su método constructivo, definiendo de este modo su LOD. Este dato podrá ser reinterpretado en porcentaje (%) para establecer finalmente un grado de reciclabilidad de la edificación.

Por lo tanto, dos indicadores que podrían abarcar estos aspectos claves, serían el kgCO₂eq y % de reciclabilidad, los cuales tienen un origen común de cálculo, es decir, los kgs de material, donde esta elección será justificada en los siguientes apartados y sub-apartados. Se prevé la inclusión de nuevos indicadores en modelos BIM en líneas futuras de esta tesis. En consecuencia, el cálculo de estos indicadores se compondría de los siguientes elementos generales a calcular (“véase la Figura 15”).

¹⁰⁶ VICTORIA JUMILLA, "Economía baja en carbono" *Derecho Ambiental en la Región de Murcia*, Civitas, 2011, págs. 725-766.

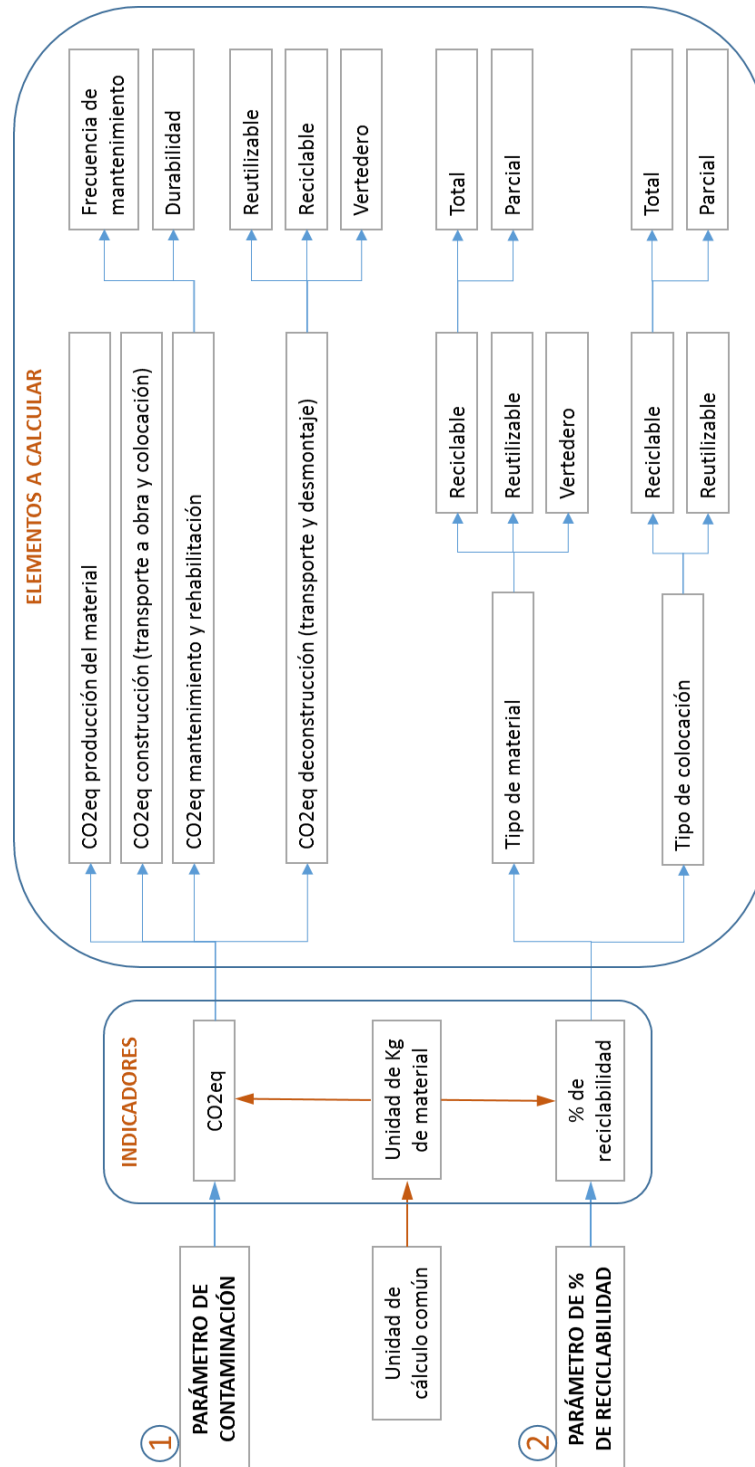


Figura 15. Elementos a calcular de los indicadores de CO₂eq y % de reciclabilidad.

Elaboración propia.

Respecto a la figura anterior, se ha de mencionar que el mantenimiento no se ha introducido en el ejemplo de cálculo de la presente tesis, dada su complejidad. A este respecto, cabe mencionar la tesis de Alejandro Rocamora¹⁰⁷ y un artículo científico al respecto¹⁰⁸, donde ampliamente se desarrolla la correspondiente metodología de cálculo. Sucede lo mismo con el complejo ámbito de las instalaciones para calcular las emisiones de CO₂ desde la perspectiva de su ciclo de vida, de donde también existen otras referencias del mismo grupo de investigación de la Universidad de Sevilla.

4.2. ENTRADA DE DATOS

En los dos siguientes sub-apartados 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 7 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:

¹⁰⁷ MARTÍNEZ ROCAMORA, Evaluación económica y ambiental del uso y mantenimiento de edificios, Universidad de Sevilla, 2016.

¹⁰⁸ MARTÍNEZ ROCAMORA, SOLÍS GUZMÁN y MARRERO, "Toward the Ecological Footprint of the use and maintenance phase of buildings: Utility consumption and cleaning tasks", *Ecological Indicators*, 2016, N° 69, págs. 66-77.

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) <i>kg CO₂ eq</i>	kg CO ₂ eq en las fases A1, A2, A3	kg CO ₂ eq en la fase A4	kg CO ₂ eq en la fase A5	kg CO ₂ eq en la fase B5	kg CO ₂ eq en la fase C1	kg CO ₂ 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 7. 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.

4.2.1. Bases de datos de materiales

En referencia al sub-apartado 2.1.2. Declaraciones Ambientales de Producto, 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 materiales 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 de construcción, 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 tesis:

- “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 la presente tesis también se tendrán en cuenta otras bases de datos, como por ejemplo las alojadas en OpenDAP¹⁰⁹ y otras bases de datos, principalmente gratuitas, así como en las tesis y artículos analizados, así como otras mencionadas en el en el ANEXO 2.

Algunas de las mencionadas bases de datos tienen su origen en los software de ACV Ecoinvent y Gabi, así como varias de las DAP que se emplearán. En líneas futuras de la presente tesis 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 software.

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

¹⁰⁹ OPENDAP. <http://www.opendap.es/>

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 CO₂ 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 kgs de material, se ha tenido acceso principalmente a dos software, habiendo obtenido estos datos mediante tablas de planificación de Revit (véase la Figura 16) y Arquímedes¹¹⁰. 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.

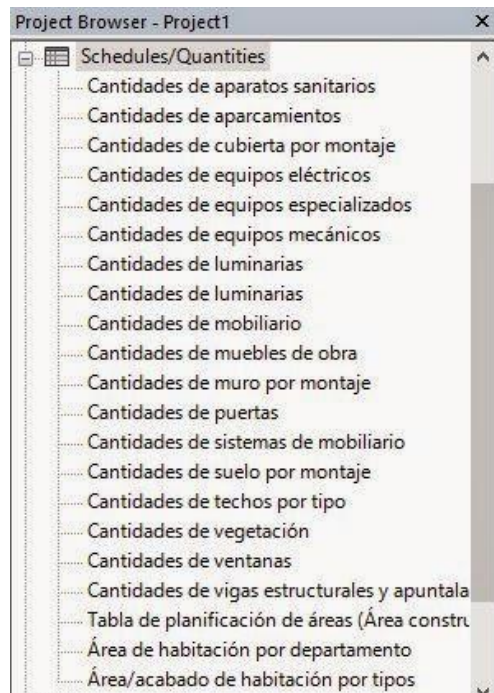


Figura 16. Ejemplo de tablas de cuantificación. Fuente: Revit.

Una vez realizadas todas estas apreciaciones, a continuación, se mostrará un ejemplo de DAP para todo su ciclo de vida, donde en el caso práctico de esta tesis,

¹¹⁰ Cype. Versión 2016o de Arquímedes.

datos como GWP y kg de material reciclado nos serán muy útiles (véase la Tabla 8 y Tabla 9)¹¹¹ como base de datos aplicables a la metodología.

¹¹¹ Paneles y rollos semirrígidos de lana mineral arena ISOVER. Fuente: ECO Platform.
<http://www.environdec.com/en/Detail/epd759>

IMPACTOS AMBIENTALES																
Parámetros	Etapa de Producto		Etapa de Construcción		Etapa de Uso							Etapa de Fin de Vida				
	A1 / A2 / A3	A4	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	C2 Transporte	C3 Tratamiento de Residuos	C4 Vertido de Residuos	D Potencial de Reutilización y Reciclaje
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	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	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	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	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	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	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	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 8. Ejemplo de impacto ambiental de paneles y rollos semirrígidos de lana mineral arena ISOVER. Fuente: ECO Platform.

Parámetros	OTROS FLUJOS DE SALIDA																
	Etapa de Producto		Etapa de Construcción		Etapa de Uso							Etapa de Fin de Vida				D Potencial de Reutilización, Reciclaje 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 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	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	0	Irrelevante	0	0	0	0	MND

Tabla 9. 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				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	D Potencial de Reutilización, Reciclaje
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 10. Ejemplo de categorías de residuos. Paneles y rollos semirrígidos de lana mineral arena ISOVER. Fuente: ECO Platform.

De cara a líneas futuras de esta tesis, 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 10), 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), como se verá más adelante en el apartado 4.3.3. Etapa de rehabilitación. Al igual que sucede con la categoría de residuos, es posible encontrar un material el cual posea unas bajas emisiones de CO₂ en su producción, y sin embargo tenga una RSL baja o su método constructivo produzca más emisiones de CO₂ 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 en el capítulo 4.3. MEJORAS TEÓRICAS PARA LA PRECISIÓN DEL CÁLCULO se

establece unas oportuna acciones encaminadas a la exactitud en estos datos mediante la geolocalización de las fábricas de origen y su vinculación con los materiales de construcción 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.¹¹²

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 11):

Etapas	Fases	GWP (kgCO₂eq)	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 11. Ejemplo de etapas contempladas en la metodología de cálculo por cada m² de producto. Basado en DAP de ECO Platform¹¹³

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

¹¹² 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>

¹¹³ Ejemplo de impacto ambiental de paneles y rollos semirrígidos de lana mineral arena ISOVER. ECO Platform. <http://www.environdec.com/en/Detail/epd759>

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 kgs.:

$$\text{GWP Fases A1/A2/A3} \times \text{kg/m}^2 \quad (2)$$

$$\text{GWP Fase A4} \times \text{kg/m}^2$$

$$\text{GWP Fase A5} \times \text{kg/m}^2$$

$$\text{GWP Fase B5} \times \text{kg/m}^2$$

$$\text{GWP Fase C1} \times \text{kg/m}^2$$

$$\text{GWP Fase C2} \times \text{kg/m}^2$$

$$\text{Material reciclado} \times \text{kg/m}^2$$

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

El caso práctico propuesto se encuentra definido en los anexos¹¹⁴. 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 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.

¹¹⁴ Para la presente tesis, el ejemplo práctico vendrá definido para un m² de fachada de una vivienda ubicada en el término municipal de Alhama.

Siempre teniendo presente el mencionado ejemplo teórico propuesto en este apartado y ampliado en los anexos 1 y 2, donde cabe destacar que se propondrá como elementos constructivos¹¹⁵ a calcular los siguientes en su hoja exterior:

Fábrica no estructural

FFZ010M m² “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/m³ de cemento, color gris, dosificación 1:6, suministrado en sacos”

Aislamientos e impermeabilizaciones

NAF020 m² “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 m² “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 m² “Revestimiento de paramentos exteriores con mortero monocapa para la impermeabilización y decoración de fachadas, acabado con árido proyectado, color amarillo, espesor 15 mm, aplicado

¹¹⁵ La descripción de estos elementos constructivos (incluso los códigos) ha sido tomada de la base de presupuestos del software Arquímedes, habiendo sido modificado únicamente el FFZ010 (de hecho, se ha modificado su código a FFZ010M con el objetivo de diferenciar el precio descompuesto original), concretamente: “formación de dinteles mediante vigueta prefabricada, revestida con piezas cerámicas, colocadas con mortero de alta adherencia”, puesto que se correspondería con parte proporcional de cargaderos. Se ha decidido que los cargaderos deberían estar en un epígrafe aparte o bien en el capítulo de carpinterías, pero no como parte de esta UO.

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 chapado¹¹⁶:

RCP015 m² “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 del sub-apartado “4.2.1. Bases de datos de materiales” 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 m², por consiguiente, el resultado vendría de calcular ambas DAP por cada m² (véase la Figura 17):

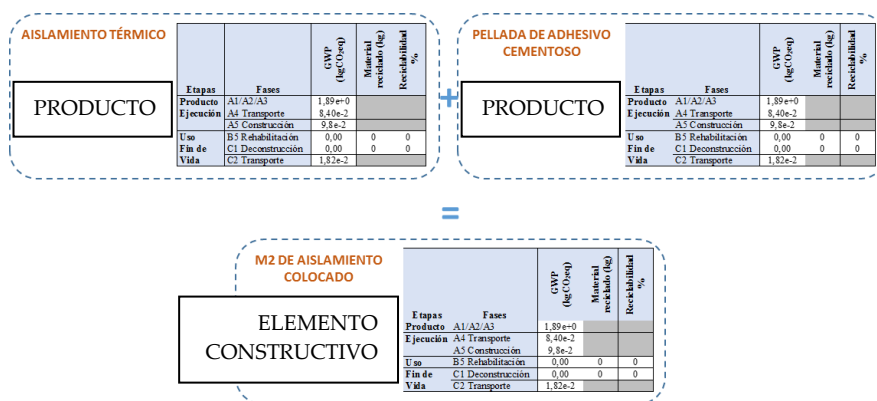


Figura 17. Ejemplo teórico de cálculo del impacto ambiental de aislamiento térmico colocado por cada m². Elaboración propia.

¹¹⁶ Según la zona en la que está ubicado el caso práctico, es obligatorio según su PGMO la ejecución de chapados de al menos 50 cm de altura en las plantas bajas (véanse los anexos 1 y 2).

Por lo tanto, habría que repetir esta misma operación para el resto de 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 m² 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 m² 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 m² 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 18).

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 -m² de fachada- sería el que procede a continuación (véase la Tabla 12 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:

Enlace web del UO BIM	Descomp. /Nota Clave	Ud	Unidad de obra completa	Código LER	Residuos generados	Peso (kg)	Consumo		Etapa del ciclo de vida		
							Materiales	Peso (kg)	Fabricación		Construcción
									A1-A2-A3	A4 Transporte	
url propuesta	HFaseA4FachTesis	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 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.	17 01 02	Ladrillos	17,9	Material cerámico	127,859	43,152	0,420	
				01 04 08	Residuos de grava y rocas trituradas distintos de los mencionados en el código 01 04 07	0,325	Áridos	53	0,281	0,070	
				17 01 01	Hormigón (hormigones, morteros y prefabricados)	1,774	Cemento	41,821	7,790	0,631	
				17 06 04	Materiales de aislamiento distintos de los especificados en los códigos 17 06 01 y 17 06 03	0,121	Lana mineral	2,52	3,230	0,143	
				17 02 03	Plástico.	0,253	Plástico	0,025	0,259	0,000	
							Agua	8,000	0,008	0,000	
							Fibra de vidrio	0,047	0,111	0,001	
							Emissiones 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 03	Madera	1,848			0,161	0,006	
					Transporte al vertedero	22,5					
							TOTAL	233,272	57,266	1,273	
									64,339		

Tabla 12. Unidad de obra completa. KgCO₂eq 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.

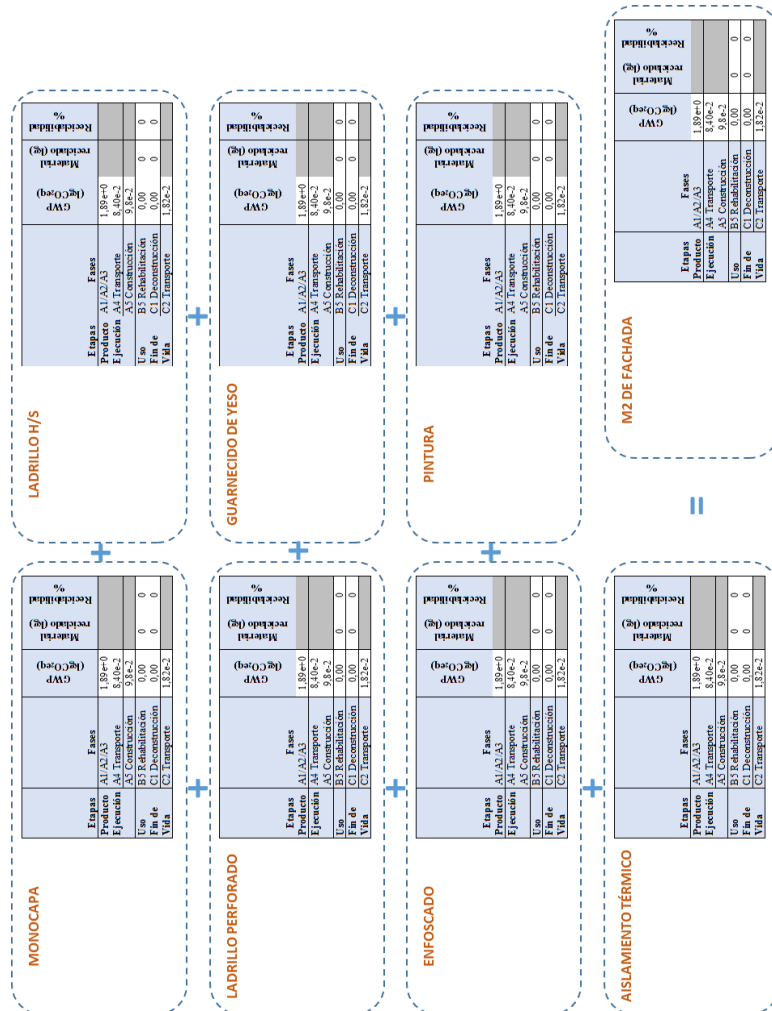


Figura 18. Ejemplo teórico de cálculo del impacto ambiental por cada UO. Ejemplo de fachada. Elaboración propia.

4.3. MEJORAS TEÓRICAS PARA LA PRECISIÓN DEL CÁLCULO

En el anterior apartado se ha establecido la obtención de los datos de entrada y cómo aplicarlos a la metodología de cálculo, donde en el caso de poseer las DAP correspondientes, el cálculo se simplificaría bastante aplicando de una forma sencilla la UNE-EN 15978.

Ahora bien, en este apartado se reflexionará sobre una serie de apreciaciones que, con el fin de lograr un cálculo más preciso, se deberían tener en cuenta para marcar el camino de próximas mejoras, puesto que la aplicación de algunas de éstas supondría en sí mismas objeto de nuevas tesis. Para ello, se referenciarán a numerosos estudios previos y software con el fin de mejorar la metodología de cálculo en las líneas futuras, si bien se ha de advertir que para el ejemplo práctico de la presente tesis se ha optado por simplificar los cálculos obteniendo el mayor número posible de DAP definidas en todas sus etapas (o al menos en las fases aquí contempladas: A1-5, B4-5, C1-2).

Se analizarán los métodos de cálculo existentes de cara a implementar mejorar en las fases de cálculo explicadas en el anterior apartado, donde varias de éstas se encuentran alineadas en un alto grado, aunque en este caso se planteará abarcar todo el ciclo de vida y con el apoyo de las estrategias de implantación a nivel administrativo mediante herramientas informáticas BIM y SIG, tal y como se verá en el capítulo 4.4. ESCALAS DE LA APLICACIÓN ECOEFICIENTE.

Tal y como se ha podido observar en el apartado anterior, el indicador de cálculo estará centrado en todo el ciclo de vida de los materiales, influenciado evidentemente por los procesos constructivos de producción, nueva obra, rehabilitación, deconstrucción y reciclado. Al igual que esto es calculable a escala producto, las pretensiones de esta tesis se basan en trasladarlas a escala edificatoria y, finalmente, a escala urbanística.

En la Figura 19, la cual será desgranada etapa a etapa en los siguientes sub-apartados, se puede observar la metodología propuesta para vincular el modelo BIM con el cálculo del impacto ambiental en base a la mencionada UNE-EN 15978 y la metodología explicada en el anterior apartado, concretamente para las etapas A1-A5, B5 y C1-C2 (definiendo éstas los límites del sistema de nuestro estudio), explicando aquí las posibles erratas o cálculos a incluir o mejorar en el sistema.

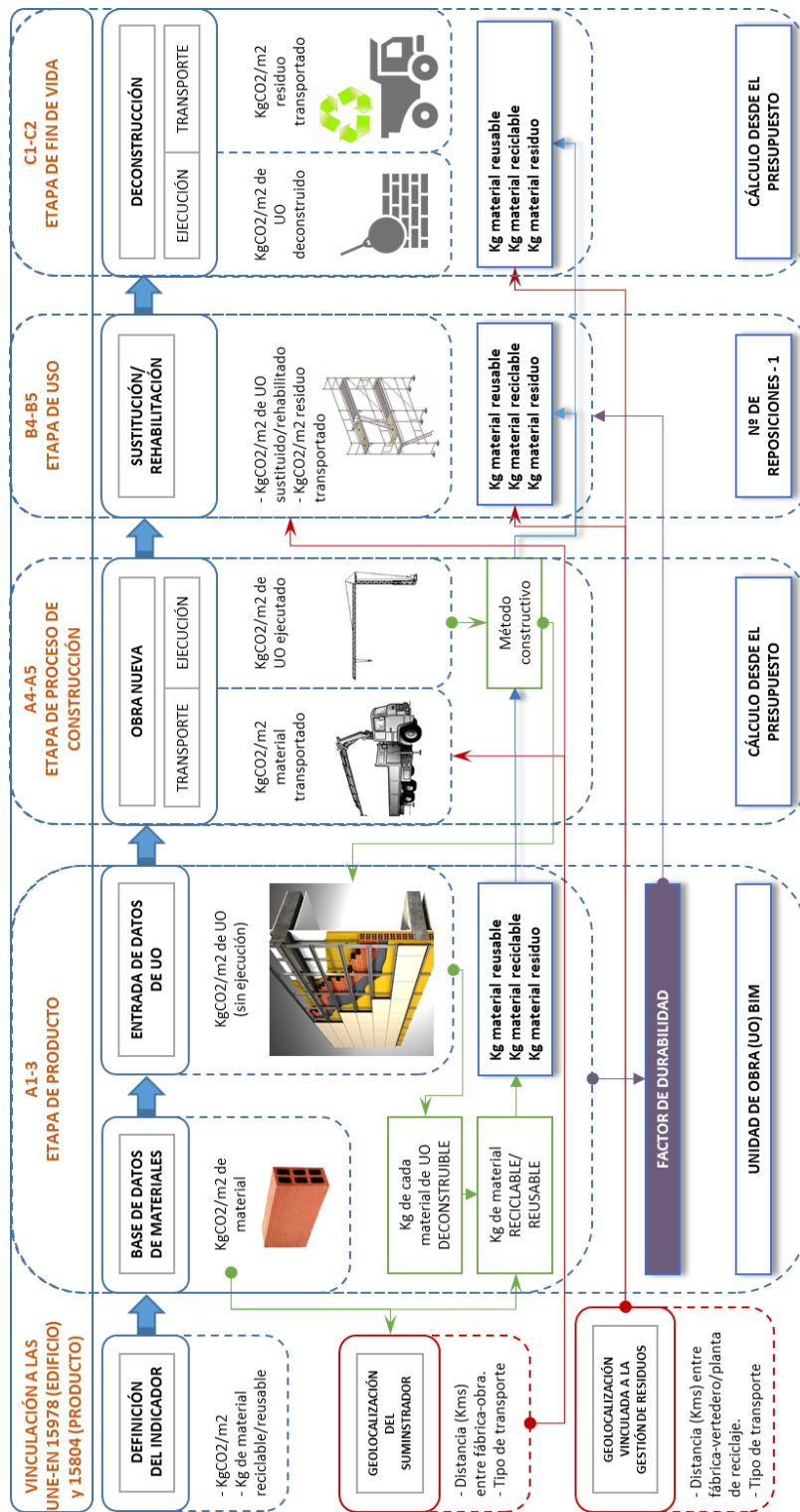


Figura 19. Esquema de metodología de ACV a través del modelo BIM. Elaboración propia.

4.3.1. Etapa de producto

Por lo que respecta a esta etapa, poco se puede añadir a lo explicado anteriormente. Las DAP serán las fuentes principales de información, puesto que para aquellos productos que se les ha realizado, está establecido su análisis del ciclo de vida en al menos esta etapa, y actualmente existe bastante información en el mercado sobre estas 3 fases. Ahora bien, ante la ausencia de estos datos para un determinado producto, se deberá recurrir a otras etiquetas ecológicas, software de ACV e investigaciones previas.

También se ha de recalcar la posibilidad de geolocalizar los puntos de suministro de los materiales en un futuro (véase la Figura 19), así como los medios de transporte empleados y añadir esta información a los MCD, tal y como se explicará en los sub-apartados posteriores. Esto será importante para realizar un cálculo más exacto de la fase A4.

4.3.2. Etapa de construcción de obra nueva

Además de lo comentado sobre la geolocalización de los productos a través de los suministradores, también se ha de tener en cuenta el empleo de maquinaria y elementos auxiliares (fase A5).

Es muy común que las DAP sólo se encuentren definidas hasta la fase A3, es por ello que en la presente tesis se ha nutrido de otras bases de datos para poder completar estas fases, principalmente, del generador de precios de Cype¹¹⁷.

En consecuencia, en esta Etapa la correcta definición de la UO BIM será crucial para su interoperabilidad con un software de cálculo presupuestario, incluyendo no sólo estas dos fases, sino también el resto.

4.3.3. Etapa de rehabilitación

Esta fase se centra en el cálculo de las obras necesarias de rehabilitación debidas a la diferencia de durabilidad de los materiales con respecto a la vida útil del edificio, puesto que en varios casos la durabilidad de éstos puede ser menor a

¹¹⁷ Arquímedes de Cype (versión 2016o).

la del edificio, planteando este modo una posible rehabilitación o reposición de estos elementos de construcción tenidos en cuenta desde esta primera fase de diseño del edificio o enfocada a edificaciones ya construidas.

En consecuencia, el método de cálculo propuesto para esta fase tiene su origen en la UNE-EN 15978 cuando no se disponga de una DAP que no tenga calculada esta fase. Es lógico pensar que, la durabilidad de un producto será el principal factor de influencia para el número de rehabilitaciones de una UO o parte de la misma.

En consecuencia, como ya se adelantó en el sub-apartado 4.2.1. Bases de datos de materiales, la RSL, que está directamente relacionada con la durabilidad de los productos, será el factor de cálculo para el cálculo del impacto ambiental de un determinado producto, y, por ende, de un UO. De este modo, se podrían aplicar dos metodologías:

- Simplificado: Se emplearía en la fase de diseño de una obra nueva, planteándose desde el punto de vista de la durabilidad de un material o unidad de obra. Partiendo de la base de una vida útil del edificio de 50 años¹¹⁸, para aquellos materiales o unidades de obra que posean una vida útil menor, se interpolaría el número de veces necesaria para su reposición¹¹⁹. Este método es descrito en la UNE-EN 15978 mediante la siguiente fórmula:

$$N_R(j) = E [ReqSL/ESL(j) - 1] \quad (2)$$

donde:

$E [ReqSL/ESL(j) - 1]$ es una función que redondea $ReqSL/ESL(j)$ al valor entero superior;

$ESL(j)$ es la vida útil estimada del producto j ;

$N_R(j)$ es el número de sustituciones del producto j ;

¹¹⁸ En el ejemplo práctico de esta tesis, se emplea un RSP y ReqSL iguales, estimado en 50 años, puesto que es la vida útil estimada en la mayoría de las DAP

¹¹⁹ Por ejemplo, en el caso de un material o unidad de obra con una vida útil de 50 años, su cómputo total de emisiones de CO₂eq sería el doble, si estimados una ReqSL de 100 años, así como los kg totales estimados, para ese material o unidad de obra.

ReqSL es la vida útil requerida del edificio.”

- Calculado: Se emplearía en casos de obras de rehabilitación. Consiste en realizar un cálculo de las emisiones de CO₂eq y % de reciclabilidad de los elementos a deconstruir o desmontar y su construcción, es decir, con la misma metodología de cálculo que las fases C1-2 y A4-5.

En la mencionada UNE-EN 15978, el método de cálculo para las fases B4 y B5 podría estimarse el mismo para ambos casos. Es por ello que hemos establecido este criterio en la presente tesis, donde la línea de la definición entre Sustitución y Rehabilitación es muy delgada y depende mucho de la naturaleza del elemento constructivo.

Por otro lado, sería realmente interesante incluir los costes medioambientales, tanto desde el punto de vista de emisiones como el gasto de recursos materiales y energético, necesarios para el mantenimiento y limpieza de los materiales del edificio, pero es un trabajo que no se tendrá en cuenta en la presente tesis al estar centrado únicamente en fases relacionadas con la construcción los 3 mencionados ámbitos.

Así pues, en la fase de mantenimiento (B2), la cual se encontraría también en la Etapa de uso, existen varios trabajos al respecto que desarrollan ampliamente este análisis¹²⁰. Otros ejemplos que se pueden encontrar son los relacionados con estudios de asociaciones empresariales o centros tecnológicos. Es el caso de DNV¹²¹, que en el año 2010 realizó un estudio comparativo entre el gasto energético del mantenimiento de una fachada de vidrio en comparación con una de piedra, además de una comparativa en cuanto a eficiencia energética.

Al igual que el resto de etapas que no sean la A1-A3, su definición en las DAP escasea y, dada su complejidad y dificultad en la búsqueda y definición de

¹²⁰ MARTÍNEZ ROCAMORA, *Evaluación económica y ambiental del uso y mantenimiento de edificios*, Universidad de Sevilla, 2016.

MARTÍNEZ ROCAMORA, SOLÍS GUZMÁN y MARRERO, "Toward the Ecological Footprint of the use and maintenance phase of buildings: Utility consumption and cleaning tasks", *Ecological Indicators*, 2016, N° 69, págs. 66-77.

¹²¹ Deutscher Naturwerkstein-Verband e.V., en castellano Asociación Alemana de la Piedra Natural.

datos, no se incluirá en la metodología de la presente tesis, aunque sí será tenida en cuenta para líneas futuras de desarrollo.

4.3.4. Etapa de deconstrucción

Esta fase se corresponde con la demolición del edificio, o como es preferible llamar en esta tesis, deconstrucción o desmontaje (como ideal de proceso de ejecución), debido al esfuerzo extra que se desea aplicar sobre aquellos materiales que tienen la posibilidad de, al menos, una segunda vida entrando de nuevo en la cadena de valor, ya sea otra vez como material de construcción o con otro uso mediante un proceso de reuso o de reciclado, fomentando de este modo la economía circular.

Ante la usencia de una DAP que defina el impacto ambiental de un producto para esta fase, se estimarán las emisiones de kgCO_2eq producidos durante la deconstrucción eficiente de los edificios, teniendo en cuenta las normativas actuales de gestión de residuos.

También se tendrá en cuenta la fase C2 de transporte de un modo similar a la A4 para cada tipo de material, donde queda patente que éstos no destacan por su atemporalidad, sin embargo, pueden formar parte del cálculo como una estimación:

- Geolocalización de vertederos y plantas de reciclaje.
- Método de transporte.

4.3.5. Etapa de reciclado o vertido

Merece la pena recordar que, en la referenciada UNE-EN 15978 se tienen en consideración los residuos en el módulo D, en los otros flujos de salida y en la categoría de residuos, ya comentado en el sub-apartado 4.2.1. Bases de datos de materiales.

Para la presente tesis se decidió darle otra orientación a este dato, donde el porcentaje (%) de reciclabilidad es calculado a partir de la relación entre kg de material reciclable entre los kg de material empleado. Esta relación también es posible realizarla con un porcentaje (%) de reusabilidad entre kg de material

empleado. La gran diferencia estriba en el consumo energético y el impacto ambiental de someter a un material a un proceso de reciclaje frente a ser reutilizado directamente. En este planteamiento, los métodos constructivos seleccionados son cruciales para un planteamiento edificatorio con el máximo % de reusabilidad posible. Es decir, si este análisis se extrapolase a una UO, se podría observar cómo la reciclabilidad o reusabilidad variaría a la baja al entrar en conjunción con otros materiales en los procesos constructivos necesarios. Por ejemplo, una piedra natural colocada sin adhesivos podría ser reutilizada al final de la vida útil de un edificio. Sin entrar en profundidad en materia, la prefabricación y el estudio de nuevos sistemas constructivos más sostenibles (y no únicamente sobre materiales sostenibles) será objeto de nuevas líneas de investigación (así como su estudio para su aplicabilidad en BIM) para aumentar este índice de reciclabilidad y/o reusabilidad.

Evidentemente, este índice puede ser muy positivo para estimar la reciclabilidad de un edificio, sin embargo, no tiene en cuenta otros indicadores de impacto ambiental. Como ejemplo, la reciclabilidad de un aislante puede ser muy alta, sin embargo, sus emisiones de CO₂ o cualquiera de los otros indicadores mencionados en la UNE-EN 15978 o la UNE-EN 15804 también puede ser muy alto. Es decir, debido a la escasa masa de un aislamiento térmico tipo, su influencia sobre el porcentaje de reciclabilidad puede ser bajo y sin embargo su impacto ambiental alto. Los arquitectos y urbanistas del futuro tendrán que lidiar con esta disparidad de criterios en los indicadores, optando finalmente por criterios normativos o relacionados con la sostenibilidad en función al indicador que considere más importante.

4.4. 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 construcciones¹²², así

¹²² GETULI, VENTURA, CAPONE y CIRIBINI, "A BIM-based Construction Supply Chain Framework for Monitoring Progress and Coordination of Site Activities", *Procedia Engineering*, 2016, N° 164, págs. 542-549.

como la mejora en la calidad y gestión de las edificaciones durante todo el ciclo de vida¹²³.

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 campo¹²⁴. 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 AIC¹²⁵.

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 medioambientales¹²⁶.

¹²³ ROMERO FERNÁNDEZ, *La gestión y calidad del proyecto BIM y su ciclo de vida*, Universidade da Coruña, 2016.

¹²⁴ NG, CHEN y WONG, "Variability of building environmental assessment tools on evaluating carbon emissions", *Environmental Impact Assessment Review*, 2013, N° 38, págs. 131-141.

KOMERSKA, KWIATKOWSKI y RUCIŃSKA, "Integrated Evaluation of Co2eq Emission and Thermal Dynamic Simulation for Different Façade Solutions for a Typical Office Building", *Energy Procedia*, 2015, N° 78, págs. 3216-3221.

UGLIOTTI, DELLOSTA y OSELLO, "BIM-based Energy Analysis Using Edilclima EC770 Plug-in, Case Study Archimede Library EEB Project", *Procedia Engineering*, 2016, N° 161, págs. 3-8.

¹²⁵ CIRIBINI, MASTROLEMBO VENTURA y PANERONI, "Implementation of an interoperable process to optimise design and construction phases of a residential building: A BIM Pilot Project", *Automation in Construction*, 2016, N° 71, Part 1, págs. 62-73.

¹²⁶ BANK, THOMPSON y MCCARTHY, "Decision-making tools for evaluating the impact of materials selection on the carbon footprint of buildings", *Carbon Management*, 2011, N° 2 (4), págs. 431-441.

Como un primer paso a esta adaptación, en la Directiva 2014/24/UE¹²⁷ analizada en el sub-apartado 2.2.2. BIM. Building Information Modelling, 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 14025:2010¹²⁸, 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+A1:2014¹²⁹. En el apartado 4.2. ENTRADA DE DATOS se ha explicado la metodología de aplicación de las DAP en el método desarrollado en esta tesis, donde también se explicó que ante la ausencia de determinadas DAP -debido a que su desarrollo dista aún de alcanzar

¹²⁷ PLA CUYÁS, "Bases para definir parámetros de objetos BIM: qué tenemos en Europa.", *Spanish journal of BIM*, 2015, N° 15/01, págs. 58-62.

¹²⁸ Fue adoptada por AENOR a partir de la norma internacional de referencia ISO 14025, donde el ACV debe ser realizado acorde con las Normas Internacionales "UNE-EN ISO 14040:2006 Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Principios y marco de referencia" y UNE-EN ISO 14044:2006 Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Requisitos y directrices.

¹²⁹ UNE-EN 15804:2012+A1:2014. Sostenibilidad en la construcción. Declaraciones ambientales de producto. Reglas de categoría de producto básicas para productos de construcción.

su plenitud-, se emplearán otras bases de datos de ACV, y, en consecuencia, basándonos en ejemplos ya citados¹³⁰.

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 600¹³¹ 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 4.4.1. Modelo de materiales de construcción digitales.

Desde el punto de vista edificatorio, ya en el apartado 4.4.2. Modelo edificatorio BIM, se verá 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 bc3¹³², 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 Clave¹³³ que permiten varios software en el mercado.

El apartado 4.4.3. Modelo cartográfico BIM-SIG versará sobre el desarrollo de la interoperabilidad entre BIM y SIG¹³⁴, con el objetivo de traducir los indicadores de impacto ambiental calculados y diseñados en IFC a formatos GML

¹³⁰ MARTÍNEZ ROCAMORA, SOLÍS GUZMÁN y MARRERO, "LCA databases focused on construction materials: A review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016, N° 58, págs. 565-573.

¹³¹ ALONSO MADRID, "Nivel de desarrollo LOD. Definiciones, innovaciones y adaptación a España", *Spanish journal of BIM*, 2015, N° 15/01, págs. 40-58.

¹³² Consiste en un formato que permite el intercambio de bases de datos estándar comúnmente empleado en el sector de la construcción.

¹³³ Para la presente tesis, se empleó REVIT de Autodesk y Arquímedes de Cype, los cuales admiten la vinculación mediante Notas Clave.

¹³⁴ NIU, PAN y ZHAO, "A BIM-GIS Integrated Web-based Visualization System for Low Energy Building Design", *Procedia Engineering*, 2015, N° 121, págs. 2184-2192.

o CityGML, donde las aplicaciones a través de análisis Big Data¹³⁵ serán innumerables para el desarrollo de la triple hélice¹³⁶ (véase el apartado 4.4.4. Modelo BIG DATA aplicado a los desarrollos y rehabilitaciones urbanísticos).

En resumen, este capítulo consistirá en la transposición de la metodología explicada en el capítulo IV – DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN 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 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.

4.4.1. 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 CO₂ que no sobrepasasen un umbral límite por cada m². Como

¹³⁵ BILAL, OYEDELE, QADIR, MUNIR, AJAYI, AKINADE, OWOLABI, ALAKA y PASHA, "Big Data in the construction industry: A review of present status, opportunities, and future trends", *Advanced Engineering Informatics*, 2016, N° 30 (3), págs. págs. 500-521.

¹³⁶ CHANG CASTILLO, "El modelo de la triple hélice como un medio para la vinculación entre la Universidad y Empresa", *Revista Nacional de Administración*, 2010, N° 1 (1), págs. págs. 85-94.

se verá más adelante, esas decisiones cruciales vendrán dadas por el urbanista y, por lo tanto, éstas 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 tesis, 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 4.2.1. Bases de datos de materiales en ausencia de éstos (artículos, tesis 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 11), introduciendo estos datos a través de un software BIM y gestionándolo para la creación paulatina de una base de datos con dicha información medioambiental¹³⁷.

En consecuencia, la parametrización de un material BIM será posible a escala producto en función al DAP de estudio (véase 4.3.1. Etapa de producto). Generalmente, las DAP se encuentran definidas por kgs 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

¹³⁷ SOUST-VERDAGUER, LLATAS y GARCÍA-MARTÍNEZ, "Critical review of bim-based LCA method to buildings", *Energy and Buildings*, 2017, N^o págs. 136, 110-120.

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.

The screenshot shows the 'Propiedades de tipo' dialog box in Revit. The 'Familia' is 'Familia de sistema: Muro básico' and the 'Tipo' is 'Fachada monocapa con cámara de aire'. The 'Parámetros de tipo' table is as follows:

Parámetro	Valor
Construcción	
Estructura	Editar...
Envolvente en inserciones	Sin envolvente
Envolvente en extremos	Ninguno
Anchura	0.2850
Función	Exterior
Gráficos	
Patrón de relleno de detalle bajo	
Color de relleno de detalle bajo	Negro
Materiales y acabados	
Material estructural	Ladrillo cerámico perforado
Propiedades analíticas	
Coefficiente de transferencia de calor (U)	0.8333 W/(m²·K)
Resistencia térmica (R)	1.2000 (m²·K)/W
Masa térmica	0.00 kJ/K
Absortancia	0.700000
Aspereza	3
Emisiones de CO ₂ eq (Fases A1-A5)	
Emisiones de CO ₂ eq (Fases B1-B5)	
Emisiones de CO ₂ eq (Fases C1-C4)	
Reciclabilidad	
Reusabilidad	
Datos de identidad	
Imagen de tipo	
Nota clave	
Modelo	
Fabricante	
Comentarios de tipo	
URL	

Orange boxes highlight the 'Aspereza' row and the 'Emisiones de CO₂eq' rows, as well as the 'Nota clave' and 'URL' rows.

Figura 20. Ejemplo de integración de datos de impacto ambiental en un material BIM.

Elaboración propia a partir de Revit de Autodesk.

En la Figura 20 se puede observar un ejemplo de esta transposición de datos del impacto ambiental desde una DAP a un MCD en BIM¹³⁸. 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 (véase el apartado 4.5.1. Implantación a escala producto), 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 (véase la Figura 24 del apartado 4.4.4. Modelo BIG DATA aplicado a los desarrollos y rehabilitaciones urbanísticos y sub-apartado 4.5.1.2. Materiales de construcción digitales).

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 sub-apartado 2.2.2. BIM. Building Information Modelling) y actualmente tiene desarrollada una norma ISO¹³⁹.

4.4.2. Modelo edificatorio BIM

Una vez explicado cómo se introducen los datos de impacto ambiental en cada MCD, el paso siguiente sería la composición de los UO BIM. Estas Unidades de Obra en formato BIM deben estar perfectamente definidas acorde a las

¹³⁸ Software empleado para el ejemplo: Revit de Autodesk.

¹³⁹ EN ISO 16739:2016. Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries (ISO 16739:2013).

Unidades de Obra del presupuesto, de modo que se garantizará la vinculación automática entre software BIM¹⁴⁰ y de cálculo presupuestario¹⁴¹ mediante Notas Clave.

A través de estos códigos, donde, por ejemplo, software como Revit y Arquímedes son capaces de gestionar, es posible actualmente vincular la medición de dicha Unidad de Obra en el modelo BIM con el presupuesto. El paso evolutivo que se prevé y que en esta tesis se plantea, sería que los datos de impacto ambiental también queden vinculados con el presupuesto. Arquímedes de Cype posee en su generador de precios una base de datos de impacto ambiental vinculados a las unidades de obra definidas en él, el cual es incluso parametrizable en la elección de materiales y dimensiones, siendo los principales indicadores los kgs de material, kgs de residuo, KgCO₂eq y MJ.

El cambio que se propone en esta tesis, nace de la definición teórica del MCD, y de la construcción digital del UO BIM a partir de éste. Sería, por lo tanto, la UO BIM la que proporcionaría la información necesaria para poder generar lo que aquí será llamado el Presupuesto de Impacto Ambiental (PIA), y no con información contenida en generadores de presupuestos. Evidentemente, para llegar a esto, los MCD y UO BIM deberían estar perfectamente definidos en todos sus campos técnicos y con posibilidad de cierto grado de libertad para su parametrización.

Este concepto de definición en los elementos digitales en los modelos BIM no es completamente nuevo, aunque el alto grado de definición aquí exigido sí lo sea. Para establecer exactamente el nivel de desarrollo de un elemento BIM -el cual parte de un componente, sistema constructivo o montaje del edificio-, el American Institute of Architects AIA desarrolló en el año 2008 la "E-202 Building Information Modeling Protocol"¹⁴² con el fin de medir ese grado de desarrollo, así como la capacidad de incluir elementos no modelados en la E-203¹⁴³ y, finalmente,

¹⁴⁰ Software Revit de Autodesk.

¹⁴¹ Software Arquímedes de Cype.

¹⁴² AIA Document E202 - 2008 Building Information Modeling Protocol Exhibit.

¹⁴³ AIA Draft Document E203- 2013 -Building Information Modeling and Digital Data Exhibit.

siendo éstos ampliados, posteriormente, con el documento G202 en el año 2013¹⁴⁴ -el cual deja plena libertad para adaptar, modificar e incorporar estos niveles de desarrollo (LOD)- y en el BIMforum 2013¹⁴⁵. De este modo, actualmente los requerimientos en LOD¹⁴⁶ son:

- LOD 100: “Elemento objeto que puede estar representado por un símbolo o representación genérica”.
- LOD 200: “El elemento objeto está determinado por su posición y ya posee una definición geométrica no completa. Tiene los datos aproximados de dimensiones, forma, ubicación y orientación”.
- LOD 300: “El elemento objeto está definido geoméricamente en detalle, así como su posición, pertenencia a un sistema constructivo específico, uso y montaje en términos de cantidades, dimensiones, forma, ubicación y orientación. También se indica la posibilidad de incluir información no gráfica al elemento”.
- LOD 350: “Equivalente al nivel LOD 300 pero incluyendo la detección de interferencias entre distintos elementos”.
- LOD 400: “El elemento objeto está definido geoméricamente en detalle, así como su posición, pertenencia a un sistema constructivo específico, uso y montaje en términos de cantidades, dimensiones, forma, ubicación y orientación con detallado completo, información de fabricación específica para el proyecto, puesta en obra/montaje e instalación. También se indica la posibilidad de incluir información no gráfica al elemento”.
- LOD 500: “El elemento objeto está definido geoméricamente en detalle, así como su posición, pertenencia a un sistema constructivo específico, uso y montaje en términos de cantidades, dimensiones, forma, ubicación y

¹⁴⁴ AIA Draft Document G202- 2013 -Building Information Modeling Protocol Exhibit.

¹⁴⁵ BIMforum 2013 – LOD specification. 1 Abril 2013. <http://bimforum.org/wpcontent/uploads/2013/05/DRAFT-LOD-Spec.pdf>

¹⁴⁶ ALONSO MADRID, "Nivel de desarrollo LOD. Definiciones, innovaciones y adaptación a España", *Spanish journal of BIM*, 2015, Nº 15/01, págs. 40-58.

orientación. También se indica la posibilidad de incluir información no gráfica al elemento”.

Innovaciones:

- LOD 000: “El elemento objeto no está definido geoméricamente, pero si lo está sus dimensiones básicas, posición, ubicación y orientación respecto a la totalidad del emplazamiento y su entorno. Está basada principalmente en información no gráfica vinculada al elemento”.

- LOD X00: “El elemento objeto estará definido geoméricamente por completo y añadirá nuevos conceptos como distancia desde la que es visible y distintos grados de definición geométrica según distancias, por ejemplo. La textura derivará de las características de sus materiales superficiales. Es posible añadir otra información no gráfica vinculada al elemento.”

- LOD 600: “El elemento objeto no está definido geoméricamente en detalle, pero sí lo están sus condiciones de reciclado, como materiales propios, toxicidad, vida útil, básicas, distancia a puntos de fabricación reciclaje, peso y volumen, formas de traslado y desmontaje, etc. Está basada principalmente en información no gráfica vinculada al elemento.”

Es precisamente este último, el LOD 600 (junto con el LOD 500 y LOD 000), el que más se ajustaría con los datos provenientes de las DAP, puesto que en él se definirían los indicadores necesarios para el cálculo del impacto ambiental.

Pero, en línea con el modelo propuesto en el apartado 4.4.4. Modelo BIG DATA aplicado a los desarrollos y rehabilitaciones urbanísticos, así como las estrategias de implementación en el 4.5.1. Implantación a escala producto, se podría llegar a proponer un nuevo LOD, el LOD 700, estableciendo su vinculación a la nube a través de una única ‘url’ para cada MCD o UO BIM:

- Definición: Este LOD define el grado de conectividad, donde la actualización de los elementos BIM en la nube se realizaría automáticamente en el modelo BIM arquitectónico; concretamente, especificaciones técnicas, presupuestos, indicadores de impacto ambiental, etc. Estaría definido geoméricamente a nivel LOD 500, geolocalizado a LOD X00 y definido materialmente a nivel LOD 600. Al estar los elementos en la nube, y ser actualizado en algunas de sus características, éstas se

implementarían automáticamente mediante un permiso previo de los usuarios que estén dibujando un modelo edificatorio BIM conectado a la nube (véase la Figura 21, inspirada a partir del mencionado artículo).

- **Requerimientos:** El elemento objeto estará definido geoméricamente por completo. Definido también el/los sistema/s constructivo/s específico/s, uso y montaje en términos de cantidades, dimensiones, forma, ubicación y orientación. Sus condiciones de reciclado, como materiales propios, toxicidad, vida útil, básicas, distancia a puntos de suministro, distancia a puntos de fabricación reciclaje, peso y volumen, formas de traslado y desmontaje, etc. El elemento objeto estará conectado a la nube y podrá actualizar sus características al modelo BIM edificatorio.

- **Usos:** costes, geolocalización de suministradores, implementación de nuevos procesos constructivos y nuevos materiales parametrizables con descripciones de UO, inclusión de DAP y otros indicadores de impacto ambiental, solicitud online de presupuestos directamente al suministrador, etc.

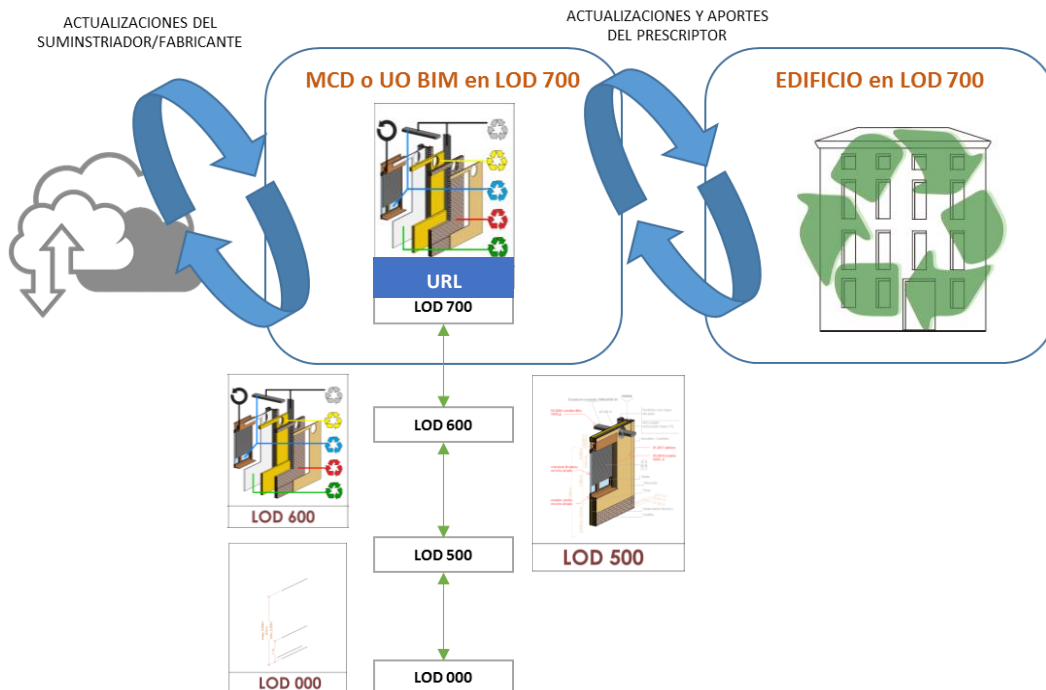


Figura 21. Conectividad del LOD 700. Elaboración propia.

Respecto a este LOD, es importante destacar la prISO/NP19166¹⁴⁷ - actualmente en desarrollo- sobre conectividad de productos BIM y plataformas de intercambio de información BIM en la nube como BIMserver¹⁴⁸ en el que se encuentra involucrada la empresa Cype, cuyo desarrollo natural de ambas posiblemente seguirán por este camino. Otro ejemplo que también posee cierta intención en conectar prescriptores con 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 Revit¹⁴⁹.

Por último, nos quedaría por definir el paso de la información de impacto ambiental de un edificio diseñado en BIM y desarrollado completamente con UO BIM en LOD 700. Como ya se ha comentado, su vinculación sería posible a través de las Notas Clave con los software anteriormente mencionados. Ahora bien, esta vía no se emplearía únicamente para la vinculación con generadores de presupuestos. También existiría la posibilidad de crear una aplicación eco-eficiente que calculase específicamente el impacto ambiental de los materiales intervinientes en una edificación durante todo su ciclo de vida. Dicho desarrollo, está previsto en las líneas futuras de la presente tesis a través de proyectos como FootBIM (véase Proyecto FootBIM), liderando la Universidad de Sevilla el consorcio y participando la empresa Datacomp como desarrolladora del software BIMvision¹⁵⁰, donde el autor de la presente tesis es uno de los redactores principales en este proyecto europeo a través de su labor diaria en el CTMarmol.

Este modelo de construcción con BIM nos permitiría poder crear diagramas de GANTT¹⁵¹. Con el método de cálculo de emisiones de CO₂eq y recursos

¹⁴⁷ prISO/NP19166, Geographic information. BIM to GIS conceptual mapping (B2GM). <https://www.iso.org/standard/32584.html>

¹⁴⁸ BIMSERVER. <https://bimserver.center/>

¹⁴⁹ BIMMATE. <https://m1.bimmate.com/magento1/>

¹⁵⁰ BIMvision. <http://bimvision.eu/en/free-ifc-model-viewer/>

¹⁵¹ KIM, ANDERSON, LEE y HILDRETH, "Generating construction schedules through automatic data extraction using open BIM (building information modeling) technology", *Automation in Construction*, 2013, N° 35, págs. 285-295.

consumidos aplicados en esta tesis, sería posible la reproducción de este tipo de diagramas para el estudio en detalle de las obras de ejecución, y saber, de este modo, cuáles son los puntos críticos de la obra en cuanto a emisiones de CO₂eq y poder establecer otros métodos de ejecución que reduzcan dichas emisiones. Por ejemplo, a partir del presupuesto se podrían generar diagramas de Gantt de emisiones de CO₂eq, y por lo tanto, poder actuar en aquellas UO donde existan altos picos de emisiones.

Todo esto, acompañado de las últimas tecnologías para el seguimiento en control y ejecución de las obras en combinación con BIM¹⁵², lograrían un control de alta precisión del impacto ambiental durante la ejecución.

Por lo que respecta al modelo de deconstrucción, existen ejemplos previos de aplicación de gestión de residuos mediante la implementación de BIM, teniendo en cuenta la experiencia en proyectos previos, el desarrollo de nuevos y adaptados diagramas de flujo de datos en los procesos deconstructivos, visualización y gestión más efectiva del proceso de deconstrucción, interoperabilidad con otros software BIM, identificación de materiales recuperables, etc.¹⁵³. De igual modo, los MCD, y, por ende, los UO BIM de un proyecto arquitectónico tipo, podrán contener información sobre el reciclado o reutilización de los materiales (véase la Tabla 10), pudiendo llegar al nivel de detalle y clasificación de las DAP. Tal y como se ha mencionado anteriormente, para la presente tesis son definidos únicamente los kg de material reciclable (véase la Figura 20) a este respecto.

4.4.3. Modelo cartográfico BIM-SIG

Por lo que respecta a experiencias previas en el ámbito del impacto ambiental a través del estudio cartográfico, existe un importante referente en el

¹⁵² HAN y GOLPARVAR-FARD, "Potential of big visual data and building information modeling for construction performance analytics: An exploratory study", *Automation in Construction*, 2017, N° 73, págs. 184-198.

¹⁵³ AKINADE, OYEDELE, OMOTESO, AJAYI, BILAL, OWOLABI, ALAKA, AYRIS y HENRY LOONEY, "BIM-based deconstruction tool: Towards essential functionalities", *International Journal of Sustainable Built Environment*, 2017, N° In press.

empleo de herramientas SIG para el estudio técnico, económico y medioambiental enfocados a evaluación comparativa en la rehabilitación de edificios frente a su demolición¹⁵⁴, teniendo su aplicación práctica en el proyecto HERVEEA¹⁵⁵.

Sin embargo, entre los Grupos Técnicos de Trabajo (GTT) del CODIIGE¹⁵⁶ ya hay una hoja de ruta marcada, donde todavía no se han planteado la incorporación de mapas de emisiones de CO₂ de los desarrollos y rehabilitaciones urbanísticos -tanto en acto, como en potencia-, ni tampoco un catálogo de materiales empleados y su reciclabilidad con el fin de ser aplicado en los criterios de economía circular. Sin embargo, todo esto, estaría en línea con lo ya mencionado en la Ley 21/2013 y la Directiva sobre Evaluaciones de Impacto Ambiental, puesto que hay que dotar de herramientas e información necesarias a todas las escalas de actuación¹⁵⁷.

Anteriormente, se ha mencionado en esta tesis los retos medioambientales propuestos a nivel europeo, tanto en las directivas, como en las recomendaciones y dictámenes, la cuales propugnan tanto la reducción de emisiones de CO₂ como el consumo de energía, así como la potenciación de la economía circular. Sin embargo, esto sólo es posible si se dotan a los profesionales del sector de las herramientas necesarias en el proceso de diseño, gestión y fin de vida útil de las edificaciones, considerando éstas tanto a nivel edificatorio como territorial. De

¹⁵⁴ ALBA RODRÍGUEZ, MARRERO y SOLÍS GUZMÁN, "Economic and Environmental Viability of Building Recovery in Seville (Spain) Phase 1: Database in Arcgis", *Srodowisko Mieszkaniowe*, 2013, N° 2013 (11), págs. 297-302.

¹⁵⁵ PROYECTO NACIONAL HERVEEA. Huella Ecológica de la Recuperación de Edificios: Viabilidad Económica y Ambiental. http://www.aopandalucia.es/inetfiles/agencia_innovacion_estructura/2032015123013.pdf

¹⁵⁶ MUÑOZ NEGRETE y CAPDEVILA SUBIRANA, *Trayectoria de la implementación de la Directiva INSPIRE en España*, Instituto Geográfico Nacional: Servicio Regional en Cataluña, 2012.

¹⁵⁷ VICTORIA JUMILLA, "La obligación de contemplar el cambio climático en las evaluaciones de impacto ambiental y otros nuevos instrumentos para la adaptación y mitigación", *Evaluación basada en indicadores. Trabajos del Observatorio Regional del Cambio Climático*, Consejería de Agua, Agricultura y Medio Ambiente. Oficina de Impulso Socioeconómico del Medio Ambiente, 2015, págs. 167-187.

esta misma idea parte el proyecto europeo cofinanciado por el 7º programa marco, llamado HOLISTEEC¹⁵⁸:

“Dichos objetivos sólo pueden cumplirse mediante una mejora notable en los procesos de diseño y construcción actuales, así como disponiendo de herramientas más integradas a lo largo del ciclo de vida, que deberán poder evaluar aspectos prestacionales, más allá de los normativos”¹⁵⁹.

Este proyecto ha supuesto un buen punto de partida para la interoperabilidad entre BIM y otros software para la gestión integral de los edificios, y, por lo tanto, posee grandes potencialidades para su aplicación en las bases planteadas en esta tesis, es decir, la eficiencia de recursos materiales y su impacto ambiental. Son, sin lugar a dudas, las vías que explora respecto a la integración del edificio en su entorno mediante SIG a través de los estándares IFC y CityGML, el estudio que más en cuenta se tendrá.

Desde hace un lustro, son varias las investigaciones que han comenzado a desarrollar la importación de formatos BIM a SIG, ya sea mediante el desarrollo de nuevos códigos de programación¹⁶⁰ o mediante la interoperabilidad entre BIM y SIG, así como nuevos estándares aún en desarrollo¹⁶¹.

A diferencia del LOD -refiriéndonos al nivel de desarrollo de un elemento BIM (véase el apartado 4.4.2. Modelo edificatorio BIM)-, el LoD, cuando se habla de SIG, se define como el grado de detalle para un estándar de modelado urbano en 3D.

¹⁵⁸ HOLISTEEC – Holistic and Optimized Life-cycle Integrated Support for Energy-Efficient building design and Construction. <http://www.holisteecproject.eu/>

¹⁵⁹ MEDIAVILLA, IZKARA y PRIETO, "HOLISTEEC – Plataforma colaborativa en la nube basada en BIM para el diseño de edificios energéticamente eficientes", *Spanish journal of BIM*, 2015, Nº 15/01, págs. 4-11.

¹⁶⁰ KIM, CLAYTON y YAN, "Parameterize urban design codes with BIM and Object-Oriented Programming", *Open Systems: Proceedings of the 18th International Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA)*, 2013.

¹⁶¹ prISO/NP19166, Geographic information. BIM to GIS conceptual mapping (B2GM). Véase el sub-apartado 2.3.2. SIG. Sistema cartográfico actual.

En el sub-apartado 2.3.2. SIG. Sistema cartográfico actual, se comentó que la Open Geospatial Consortium¹⁶² promueve el estándar LoD2 de CityGML -nivel de detalle: distritos urbanos, proyectos, etc.-, el cual es en el que se centrará la presente tesis para la transferencia de información del modelo BIM de cuantificación de emisiones de CO₂eq y % de reciclabilidad para este tipo de formato, al poder contener esta información requerida.

Para la integración de datos de impacto ambiental y cuantificación de recursos propuestos en esta tesis en los desarrollos y rehabilitaciones urbanísticos también sería suficiente con un formato GML¹⁶³, lo cual facilitaría su implementación en los organismos gestores de cartografías, no siendo necesaria la actualización inmediata a CityGML en los organismos públicos (véase el sub-apartado 2.3.2). Por lo tanto, esta transformación podrá producirse paulatinamente conforme se legisle en los países de los Estados Miembros la obligatoriedad de entregar los proyectos en formatos BIM en los organismos públicos de ciudades europeas (véase el apartado 4.5.3. Implantación a escala urbana y territorial. La ciudad digital).

Otra forma de incluir esta información sería a través del almacenamiento en ráster, donde un formato muy utilizado es el ASCII de Esri¹⁶⁴. Los ejemplos son innumerables y los formatos para la interoperabilidad aún se encuentran en una fase demasiado temprana de desarrollo como para intuir qué tipo de formato saldrá victorioso de esta pugna, donde la línea entre desarrollo tecnológico e intereses comerciales de las principales empresas de software es muy delgada.

Como ya se analizó en el sub-apartado 2.3.2. SIG. Sistema cartográfico actual, actualmente, el catastro trabaja con varios de estos formatos SIG, ya sean raster/vectoriales, o bien ráster o vectoriales únicamente. La clave está en emplear en las líneas futuras de esta tesis el formato lo más adaptable posible a los nuevos desarrollos de interoperabilidad BIM¹⁶⁵ y SIG. Es por ello, que de todos los

¹⁶² OGC, 2013. CityGML standard. <http://www.opengeospatial.org/standards/citygml>

¹⁶³ GML es el estándar XML de la OGC, es decir, a través de metadatos.

¹⁶⁴ Esri. www.esri.es

¹⁶⁵ Como alternativa al IFC, también se está desarrollando el BIMXML, el cual describe la información del edificio de una manera más simplificada. <http://bimxml.org/>

mencionados, en más sencillo de implementar en los organismos gestores de cartografías sea el GML, siendo éste un estándar de XML, que gestiona la información a través de metadatos. Además, en este sub-apartado se analizó la obligatoriedad de presentar las cartografías en formato GML con el fin de coordinar y contrastar la información tanto en Dirección General del Catastro como en el Registro de la Propiedad, en línea con lo establecido en la Resolución de 29 de octubre de 2015, así como con la mencionada Directiva 2007/2/CE y su transposición a la legislación española en la Ley 14/2010, de 5 de julio.

Así pues, se procederá a analizar cómo es planteado el modelo informático cartográfico en combinación con los formatos BIM y las metodologías de cálculo de impacto ambiental para los indicadores establecidos en esta tesis. En la Figura 22, se pueden observar los pasos a dar desde la fase de finalización del modelo BIM hasta su modelo cartográfico:

1. Modelo BIM. Este primer paso quedaría resumido en los dos apartados anteriores (4.4.1 y 4.4.2). La entrega de la documentación proyectual se realiza en BIM a través de formatos IFC, donde en sus MCD y UO BIM se encuentran definidos los indicadores de impacto ambiental definidos en esta tesis (kg materiales, kgCO₂eq y reciclabilidad). Por otro lado, a través de herramientas de cálculo presupuestario se podría calcular el impacto ambiental total de todo el proyecto, tal y como se explicó en el apartado 4.4.2. Modelo edificatorio BIM. El tercer componente a tener en cuenta en este punto es la cartografía del proyecto en formato GML.

2. Generación automática. Llegados a este punto, sería necesario en desarrollo de un plug-in o aplicación informática para la introducción de estos datos de impacto ambiental en un formato GML compatible, para su entrega a los organismos competentes. El principal motivo del desarrollo de esta aplicación es debido al desconocimiento de los técnicos en la escritura en un código XML, además de facilitar esta labor en lugar de complicarla, de ahí la necesidad de automatizar este paso.

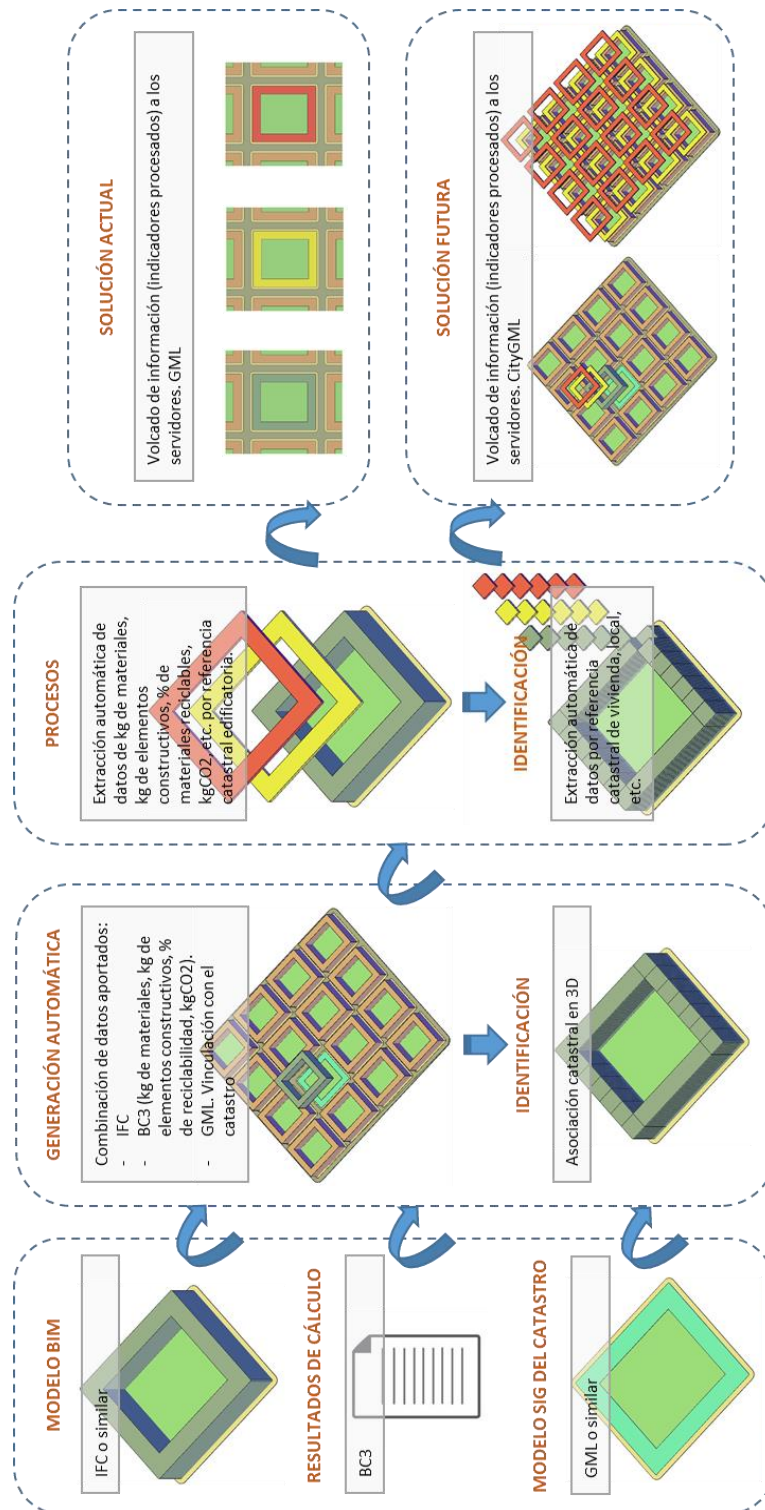


Figura 22. Interoperabilidad del modelo BIM a la ciudad digital. Elaboración propia.

Por otro lado, debería preverse el paso de esta información a CityGML, y el hecho de disponer los organismos públicos de esta información en IFC, le permitiría la adaptación en un futuro y disponer de una cartografía en 3D con una base de datos más amplia, así como una mayor aplicabilidad en otros estudios a nivel urbano (soleamiento, viento, comportamiento estructural, etc.) fruto de actuales y próximas investigaciones.

3. Procesos. Esta información estaría disponible en los datos catastrales de cada edificio, y, por ende, de cada inmueble (véase la Figura 23). Se ha de tener presente que este modelo de asignación por cada referencia catastral también tendría su aplicabilidad en certificados de eficiencia energética, siendo de esta manera, una información de ámbito público al estar accesible en el catastro.

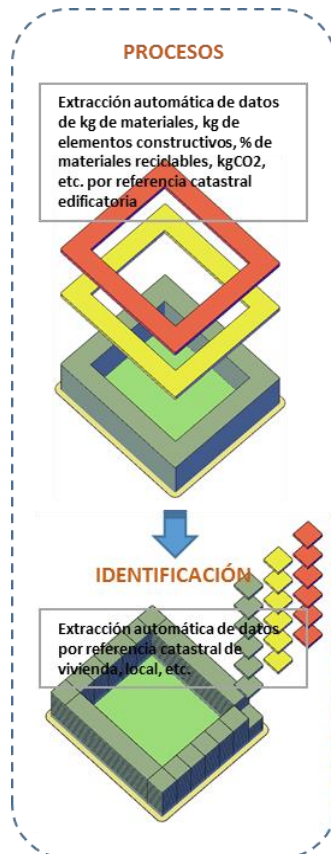


Figura 23. Integración de GML con datos de impacto ambiental en la cartografía del catastro. Elaboración propia.

La idea de esta fase parte de la necesidad de diferenciar los indicadores de impacto ambiental relacionados con las emisiones de CO₂ de otros igualmente importantes. Es decir, poner en contraposición no sólo el ya establecido certificado de eficiencia energética, sino otros como la reciclabilidad del edificio o las emisiones de CO₂ en los procesos constructivos, de mantenimiento, de rehabilitación y deconstructivos, que conformen un certificado de eficiencia de recursos materiales (véase 4.5.1.1. Indicadores de sostenibilidad y ecorresponsabilidad).

4. Integración en el sistema cartográfico. Como se ha afirmado anteriormente, esta información estaría disponible en el catastro para consulta pública, ya sea para el cumplimiento de futuras regulaciones en relación a la eficiencia de recursos materiales o bien para su aplicación en desarrollos o rehabilitaciones urbanísticos, en formato GML en un primer proceso de implantación, o en CityGML para una futura adaptación del catastro a este tipo de formatos cuando se encuentren plenamente normalizados y desarrollada su interoperabilidad con BIM (IFC, BIMXML o similar).

4.4.4. Modelo BIG DATA aplicado a los desarrollos y rehabilitaciones urbanísticos

En el proceso investigador de la presente tesis ha sido posible tener acceso a varios artículos científicos -sobre todo en los últimos dos años- sobre la aplicabilidad de BIM y SIG en el desarrollo de Big Data¹⁶⁶, el cual “es un término que hace referencia a una cantidad de datos tal que supera la capacidad del software convencional para ser capturados, administrados y procesados en un tiempo razonable. El volumen de los datos masivos crece constantemente”.

En la Figura 24 se puede observar el modelo de conectividad del flujo de información propuesto para esta tesis.

¹⁶⁶ En castellano es conocido este término, aunque menos, como macrodatos, inteligencia de datos, datos masivos o datos a gran escala. Wikipedia. Big data. https://es.wikipedia.org/wiki/Big_data

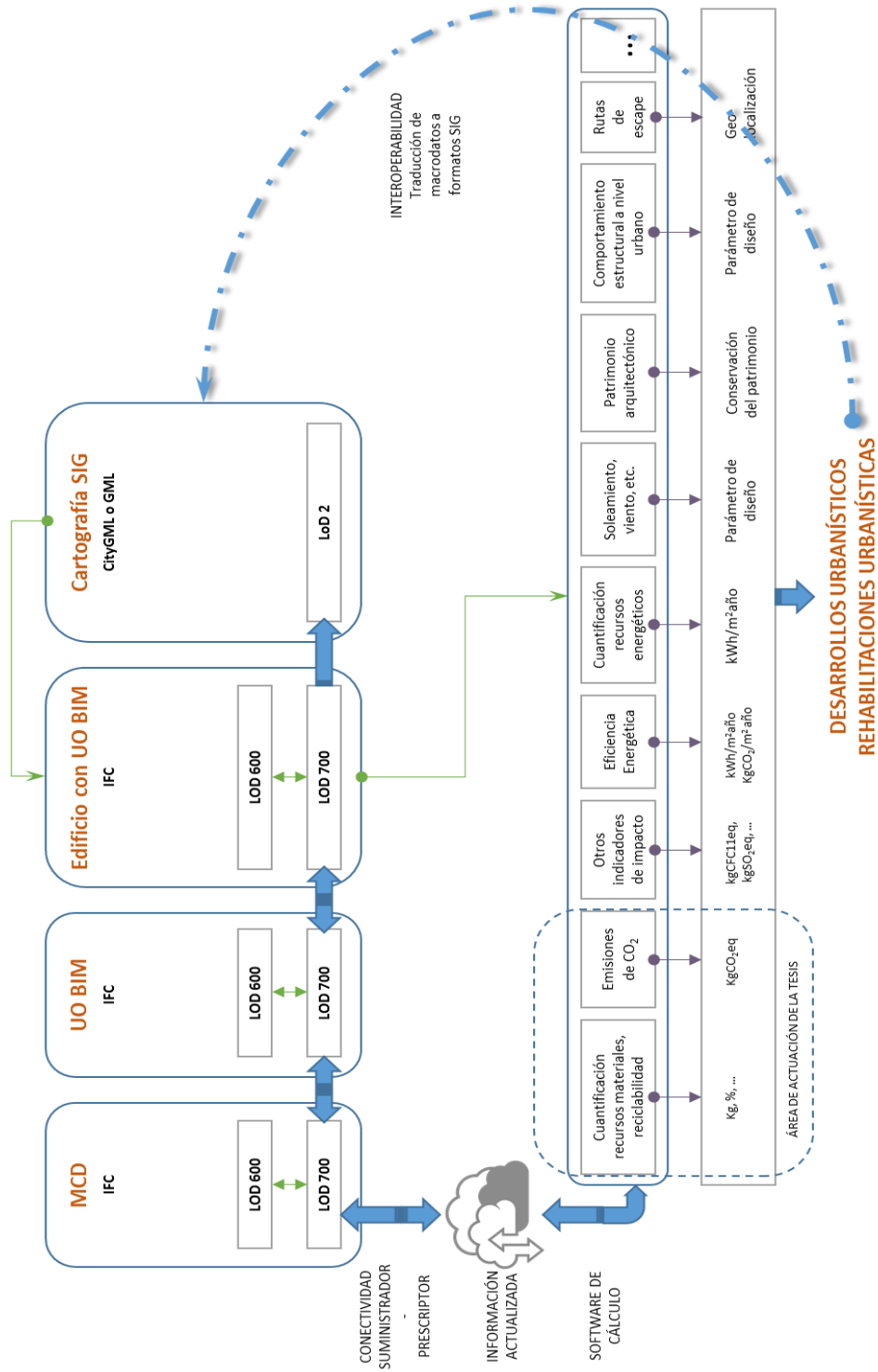


Figura 24. Modelo de conectividad. Elaboración propia.

A partir de la gran cantidad de información que es capaz de gestionar las tecnologías BIM¹⁶⁷, se han de desarrollar herramientas Big Data para poder interpretar toda esta información de las obras de ejecución y del ciclo de vida de los edificios.

De este modo, Fernando de Retes definió al proyecto arquitectónico como un dispositivo de la siguiente forma:

“Como dispositivo el proyecto plantea el origen de un sistema de procesos que conforman e informan sobre la gestión, la evolución y el control del espacio urbano, permitiendo el empoderamiento ciudadano en la gestión y disfrute de este espacio. Al mismo tiempo la información generada permite considerar el espacio como un modelo de referencia al que acudir para disponer de datos extrapolables a otros espacios” (...), todo ello, con el objetivo de crear “un Sistema para construir el Big Data de nuestro entorno artificial”¹⁶⁸.

Así pues, la forma más rápida de hacer llegar la información a través de un modelo BIM y almacenar la información de forma masiva para su procesamiento y análisis, es a través de la nube¹⁶⁹. Referente a esto, surgen los interrogantes de identificar los más recientes desarrollos en la nube y cuáles de éstos son los idóneos para el modelo teórico de la presente tesis. Planteados desde un modelo

¹⁶⁷ GEA ANDRÉS, "La eficacia del BIM: Primer premio del concurso del I Congreso Internacional BIM. Valladolid 2014: DEL BIM AL BIG DATA", *Spanish Journal of BIM*, 2015, Nº 15/01, págs. 66-74.

¹⁶⁸ DE RETES APARICIO, "Sobre la (ausente) generación de indicadores en la construcción de nuestro entorno artificial", *Evaluación basada en indicadores. Trabajos del Observatorio Regional del Cambio Climático*, Consejería de Agua, Agricultura y Medio Ambiente. Oficina de Impulso Socioeconómico del Medio Ambiente, 2015, págs. 158-166.

¹⁶⁹ CHEN y LI, BIM-Based integration of carbon dioxide emission and cost effectiveness for buildings in Taiwan, Society for Social Management Systems, 2014.

colaborativo¹⁷⁰ (Autodesk BIM 360, Google Apps, etc.), pueden entrañar problemas de licencias e incompatibilidades entre software.

4.5. ESTRATEGIAS DE IMPLANTACIÓN TERRITORIAL

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 desde la materialidad de las obras de construcción hasta su materialidad en desarrollos urbanísticos. En los capítulos previos -principalmente el BLOQUE I- 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 sub-apartados de modo que mediante las líneas futuras de la presente tesis -compuestas en su mayoría por proyectos de investigación financiados- se lleven a cabo (véanse los ANEXOS 3 al 6).

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. Al igual que el capítulo II y el citado apartado 4.4, este también posee una estructura dividida en escalas de actuación: Producto / Edificio / Territorio (véase la Figura 25).

¹⁷⁰ CHONG, WONG y WANG, "An explanatory case study on cloud computing applications in the built environment", *Automation in Construction*, 2014, N° 44, págs. 152-162.

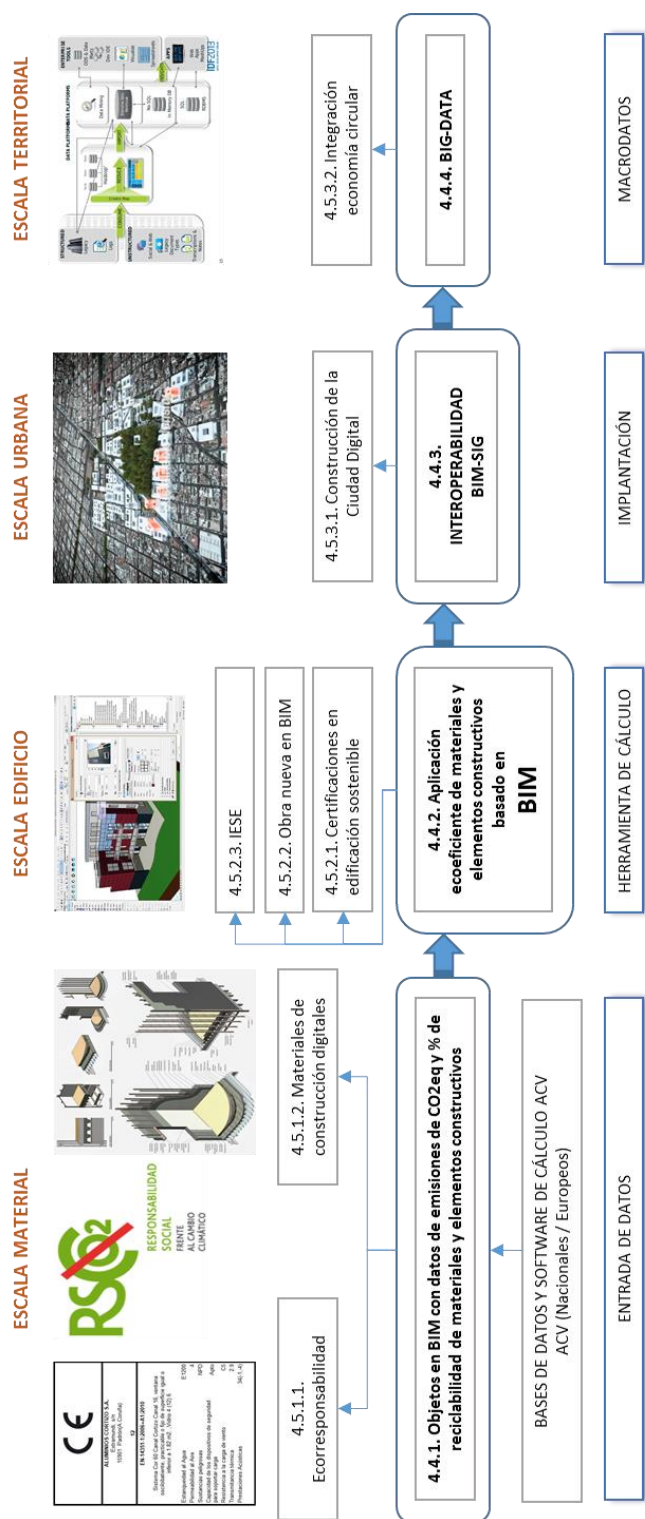


Figura 25. Flujo de trabajo teórico de la aplicación ecoeficiente. Elaboración propia.

- En el primer apartado (4.5.1. 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 (4.5.2. 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 (4.5.3. 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 25 se muestra esta vinculación del presente apartado 4.5 con el anterior 4.4, 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 tesis proponiendo las oportunas estrategias de implementación.

4.5.1. Implantación a escala producto. Producto digital

4.5.1.1. Indicadores de sostenibilidad y ecorresponsabilidad

El Reglamento (UE) nº 305/2011¹⁷¹ fue muy importante para establecer las disposiciones específicas para la puesta en práctica del mercado CE de productos, donde merece la pena recordar la siguiente consideración:

“(54) 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

¹⁷¹ REGLAMENTO (UE) Nº 305/2011 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, de 9 de marzo de 2011, por el que se establecen condiciones armonizadas para la comercialización de productos de construcción y se deroga la Directiva 89/106/CEE del Consejo.

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 en el punto 56, nos está marcando una clara hoja de ruta para los años venideros:

“(56) 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 tesis sea factible para la ejecución de un edificio al completo usando únicamente DAP procedentes de suministradores participantes en dicha edificación.

4.5.1.2. Materiales de construcción 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 tesis (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&CO¹⁷² (véase la Figura 26).

¹⁷² Plataforma colaborativa BIM&CO. <https://www.bimandco.com>

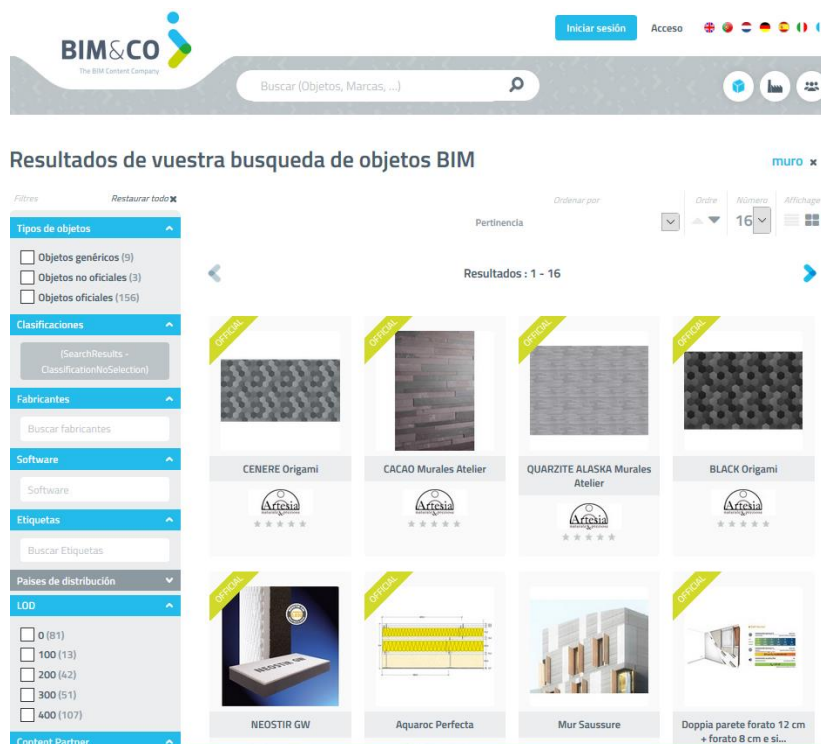


Figura 26. Ejemplo de plataforma colaborativa de intercambio de objetos BIM con niveles LOD. Hasta LOD 400 para término de búsqueda “muros”. Último acceso 2017/05/21.

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 4.5.1. Implantación a escala producto), 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.

bimobject Busca objetos BIM Apps Prensa Info

BIMobject / Marcas / ISOVER ES / Productos / Solera ISOVER Force

Solera ISOVER Force

Número de Artículo: soleraisoverforce
 Fabricante: ISOVER ES
 Familia del producto: Solera
 Grupo del producto: Mineral Wool
 Fecha de publicación: 2017-03-22
 Número de edición: 1
 Tipo: Objeto (objeto simple)

Descarga (1)

Compartir Incrustado

Descripción	Prescripción	Enlaces	Relacionado	Clasificación
URL del producto:		https://www.isover.es/suelos-floatantes		
Instalación URL:		https://www.isover.es/sites/isover.es/files/assets/documents/catalogo_aren...		
COBie Product Data Sheet:				
Certificación:		https://www.isover.es/sites/isover.es/files/assets/documents/es_0001_042es...		
Descripción técnica:		https://www.isover.es/sites/isover.es/files/assets/documents/arena_pf_es_1...		
Video tutorial:		https://youtu.be/9OoRuY1V-g		
Código EAN:				

El código Qr incluye el URL estático de abajo y te traerá de nuevo a esta página si lo escaneas desde un dispositivo como un iPhone o un smartphone.

<https://bimobject.com/es/isover-es/product/soleraisoverforce>

Figura 27. 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 27), 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 relacionados¹⁷³. Sin embargo, éste no ha sido desarrollado y se presenta en esta tesis como una futura línea de desarrollo.

¹⁷³ DAVE, KUBLER, FRÄMLING y KOSKELA, "Opportunities for enhanced lean construction management using Internet of Things standards", *Automation in Construction*, 2016, N° 61, págs. 86-97.

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 Revit¹⁷⁴. Sin embargo, no es una vinculación automática, como la propuesta en el sub-apartado 4.4.4. Modelo BIG DATA aplicado a los desarrollos y rehabilitaciones urbanísticos.

4.5.2. Implantación a escala edificio. Edificio en BIM

El presente sub-apartado versa sobre las estrategias de implantación a nivel edificatorio que serían necesarias para la aplicabilidad en todo el desarrollo teórico expuesto en la presente tesis, estableciendo tres acciones concretas (véase la Figura 28) que requerirían de la intervención de los organismos competentes.

¹⁷⁴ BIMMATE. <https://m1.bimmate.com/magento1/>

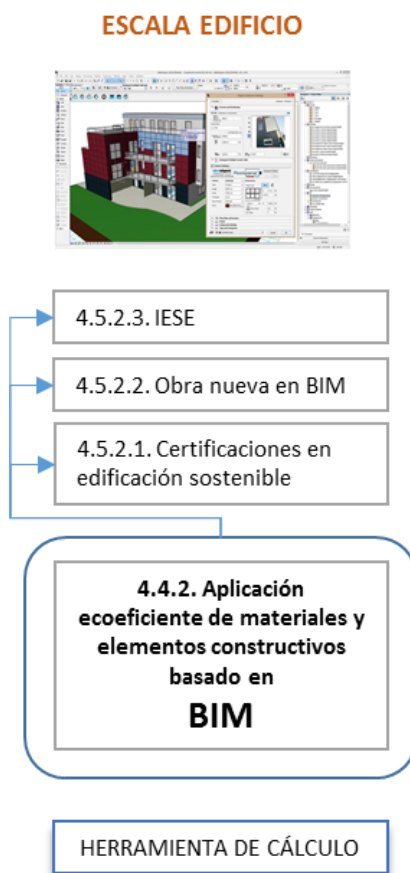


Figura 28. Etapa de herramienta de cálculo del flujo de trabajo de la aplicación ecoeficiente. Elaboración propia.

4.5.2.1. Certificaciones en edificación sostenible

Teniendo en cuenta lo explicado en el sub-apartado 2.2.1. Derecho comunitario en la escala edificio, cabe la pena mencionar la siguiente consideración respecto al Dictamen 2015/C 195/06¹⁷⁵:

“30. considera que a escala de la UE conviene clarificar y ofrecer a la mayor brevedad definiciones comunes de determinados conceptos («edificio

¹⁷⁵ DICTAMEN DEL COMITÉ DE LAS REGIONES EUROPEO - Oportunidades para un uso más eficiente de los recursos en el sector de la construcción - (2015/C 195/06). <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/HTML/?uri=CELEX:52014AR4084&qid=1495525095940&from=EN>

pasivo», «edificio verde», «edificio sostenible», «edificio con un consumo de energía reducido», «edificio con un consumo de energía cercano a cero»), pues a menudo se utilizan como si fueran sinónimos. Urge avanzar por medio de las iniciativas y consultas adecuadas en materia de I+D puesto que, en el futuro, estas definiciones serán la base de las normas comunes y de las políticas en este ámbito;”

Por lo tanto, se deduce de esta consideración -y de cara a establecer un marco común legislativo en la materia- que en el futuro la eficiencia energética seguirá su aplicación en paralelo a la eficiencia de recursos materiales, siendo de este modo necesario la creación de un sello de certificación en sostenibilidad común para los países de los Estados Miembros, y, por lo tanto, los edificios tendrán que ser capaces de cumplir con estos dos criterios al mismo tiempo.

De todo esto se intuye que las entidades relacionadas con las certificaciones en construcción sostenible o relacionados con este ámbito (BREEAM¹⁷⁶, LEED¹⁷⁷, Passive House¹⁷⁸, VERDE¹⁷⁹, etc.), tendrán que ceñirse a las regulaciones que se establezcan, unificando y acercando posturas entre ellas, y, de este modo, sobre los criterios de sostenibilidad a aplicar. Ahora bien, este hecho no sería incompatible con sus sellos de calidad que fuesen más exigentes que las futuras normas, siendo además muy importante el perfil que éstas posean como entidades capaces de gestionar el control de la sostenibilidad y las buenas prácticas constructivas desde un punto de vista medioambiental en las obras de ejecución, donde su rol sería muy similar al de un organismo de control técnico, aunque enfocado al ámbito de actuación medioambiental que nos atañe.

Es por eso que, ante la ausencia de otros sistemas de normalización en la UE, la UNE-EN 15978:2012, podría ser un buen punto de partida para establecer unos indicadores mínimos o bien categorías -como se establecen en las certificaciones energéticas- que por cada m² de edificación, el edificio cumpliera con una categoría en especial. En la siguiente tabla, se puede observar un ejemplo

¹⁷⁶ BREEAM. www.breeam.es

¹⁷⁷ PASSIVEHOUSE. www.passivehouse.com

¹⁷⁸ LEED. <https://lo.usgbc.org>

¹⁷⁹ VERDE. <http://www.gbce.es/pagina/certificacion-verde>

de esto, aunque sin datos numéricos al ser objeto de futuros estudios, es decir, de cara a futuras líneas sería especialmente interesante proponer una serie de umbrales para cada categoría. El ejemplo propuesto se centra en los indicadores de impacto ambiental, en los residuos y los flujos de salida, siendo el uso de recursos de la citada UNE más complejo de categorizar enfocado a estos fines.

Indicadores	Unidades del indicador	Categoría A-G del impacto ambiental para cada indicador
Impacto ambiental		
Potencial de calentamiento global, GWP	kgsCO ₂ eq/m ²	A-G
Potencial de agotamiento de la capa de ozono estratosférica, ODP	kgsCFC11eq/m ²	A-G
Potencial de acidificación de tierra y agua, AP	kgsSO ₂ eq/m ²	A-G
Potencial de eutrofización, EP	kgs(PO ₄) ³ -eq/m ²	A-G
Potencial de formación de oxidantes fotoquímicos del ozono troposférico, POCP	kgs Etileno eq/m ²	A-G
Potencial de agotamiento de recursos abióticos para elementos, ADP_elementos	kgs Sb eq/m ²	A-G
Potencial de agotamiento de recursos para combustibles fósiles, ADP_combustibles fósiles	MJ/m ²	A-G
Residuos		
Residuos peligrosos vertidos	kgs/m ²	A-G
Residuos no peligrosos vertidos	kgs/m ²	A-G
Residuos radioactivos vertidos	kgs/m ²	A-G

Tabla 13. Ejemplo de categorías de impacto ambiental y residuos para cada indicador en base a la UNE-EN 15978:2012. Elaboración propia.

Ahora bien, habría de tenerse en cuenta que para los indicadores de impacto ambiental, cuanto menores fuesen estos valores, mayor sería la categoría, donde la máxima excelencia sería la 'A', como sucede en los certificados de eficiencia energética. Sin embargo, los flujos de salida no sería posible categorizar de este modo, puesto que los valores pueden encontrarse duplicados en diferentes indicadores -por ejemplo, se podría hallar un tipo de residuo que podría ser empleado para reciclaje, reutilización, valoración energética o energía exportada- y sería más conveniente establecer unos umbrales mínimos (véase la "Tabla 14").

Indicadores	Unidades del indicador	Categoría A-G del impacto ambiental para cada indicador
Flujos de salida		
Componentes para reutilización	kgs/kgs total de la edificación	% mínimo
Materiales de reciclaje	kgs/kgs total de la edificación	% mínimo
Materiales para valorización energética (recuperación de energía)	kgs/kgs total de la edificación	% mínimo

Tabla 14. Ejemplo de categorías de flujos de salida para cada indicador en base a la UNE-EN 15978:2012. Elaboración propia.

Por lo tanto, en futuras regulaciones de ámbito territorial o municipal, ya sean mediante PGMO u ordenanzas municipales, podría establecerse, por ejemplo, un mínimo de % en materiales de reciclaje o bien para reutilización en obras nuevas o de rehabilitación, teniendo en cuenta desde el diseño el fin del ciclo de vida de la edificación proyectada. El edificio, por tanto, tendría una cierta capacidad de reciclado o reutilizado de sus materiales, pudiendo así extrapolar el concepto actual de productos reciclables a la escala edificatoria (véase la Figura 29¹⁸⁰).



Figura 29. Logos. Propuesta de representación de certificados de sostenibilidad en categorías de impacto ambiental y residuos (izquierda) y reciclabilidad (derecha).

Elaboración propia.

4.5.2.2. Obra nueva exigida en BIM

¹⁸⁰ Logos inspirados en el proyecto OERCO2 (izquierda) y símbolo de reciclaje sobre el logo del COAMU (derecha).

El rápido desarrollo de las Tecnologías de la Información en la AIC, genera que en los últimos años las tecnologías BIM hayan ido tomando nuevos significados, sin embargo, los obstáculos y problemas para su implementación práctica y la indefinición de futuras aplicaciones BIM y su interoperabilidad entre éstas siguen estando presentes¹⁸¹.

Existen, además, varias problemáticas que pueden surgir en la ejecución de las obras gestionadas por BIM en entornos de equipos multidisciplinares, como, por ejemplo: falta de confianza, incertidumbre sobre la propiedad intelectual, falta de comunicación, diferencias culturales, etc. Para mitigar estas problemáticas, se debe plantear un marco de gobierno BIM¹⁸² estable basado en las TIC y que investigue el papel de la nube como herramienta de apoyo e información continua para de la gobernabilidad con BIM.

La gestión BIM del edificio en todas las etapas de su ciclo de vida supone una ventaja respecto al ahorro de tiempo, precisión en los cálculos y perdurabilidad de la información contenida en el modelo digital. Es por este motivo, que en este apartado se proponen 3 estrategias claras a ejecutar a nivel legislativo, si bien es cierto que la Directiva 2014/24/UE se adelanta a este aspecto, aunque no plenamente al no definir adecuadamente el concepto de herramienta electrónica. En consecuencia, de cara a la construcción de la ciudad digital y sus aplicaciones en Big Data, se establece:

- la entrega de la documentación del proyecto de ejecución de obra nueva en formato BIM en LOD600;
- la creación de un libro verde del edificio y control de su gestión medioambiental a través de formatos BIM;
- la entrega de documentación en BIM en LOD600 en el caso de rehabilitaciones. Se propone además en este apartado, que, en previsión a las recientes normativas en materia de eficiencia energética, la

¹⁸¹ MIGILINSKAS, POPOV, JUOCEVICIUS y USTINOVICHIOUS, "The Benefits, Obstacles and Problems of Practical Bim Implementation", *Procedia Engineering*, 2013, N° 57, págs. 767-774.

¹⁸² ALRESHIDI, MOURSHED y REZGUI, "Factors for effective BIM governance", *Journal of Building Engineering*, 2017, N° 10, págs. 89-101.

obligatoriedad de mejorarlas en este sentido, con el consumo de recursos materiales que ello lleva aparejado.

4.5.2.3. IESE (*Informe de Evaluación de la Sostenibilidad de Edificios*)

En contraposición a lo explicado en el sub-apartado “2.2.3. Rehabilitación: ITE/IEE”, si bien es cierto que las normativas respecto a las IEE son una herramienta útil para conocer la seguridad, habitabilidad y eficiencia energética de los edificios, realmente, no por ello obliga a los propietarios a rehabilitar desde el punto de vista energético mientras no entre en contraposición con los criterios de habitabilidad. Pero no se ha de olvidar que la tendencia actual de la UE va encaminada a una Certificación Energética A, tratando de reducir el sumidero energético que supone el gasto energético de las edificaciones, donde merece la pena recordar que el 80%¹⁸³ de las viviendas necesitarían de una rehabilitación energética, pero llegando a este nivel de calificación energética, el porcentaje incluso aumentaría¹⁸⁴. Si de cara a las estrategias marcadas por la Unión Europea, ya sean de cara a la siguiente década o las enfocadas a 2020, 2030 y 2050, si se decidiese rehabilitar todo el parque inmobiliario desde este punto de vista, las acciones enfocadas a la eficiencia de recursos naturales, la adecuada gestión de los residuos y, en definitiva, los criterios de economía circular, serían básicos para llevar a cabo esta estrategia.

Por lo tanto, de cara a cumplir con estas futuras exigencias, así como las planteadas para 2020 de la Directiva 2012/27/UE, y en previsión a la mencionada revolución del mercado de la construcción en cuanto al modelo de negocio en España, es decir, más rehabilitaciones y menor número de nuevas construcciones, queda patente la necesidad de enfocar este nuevo modelo desde la dioptría de la economía circular -para poder cumplir con las expectativas de la Unión Europea ya citadas en la presente tesis¹⁸⁵-, y por tanto, sería realmente útil disponer de una normativa que además de conocer la seguridad, habitabilidad y eficiencia energética de los edificios, también los estudiase en base a la eficiencia de

¹⁸³ Centro Nacional de Energías Renovables (CENER). <http://www.cener.com/es/>

¹⁸⁴ BOLEA MARTÍ, *Edificios nZEB. Propuesta para la normalización y el diseño de edificios de bajo consumo energético*, Rockwool Peninsular, S.A.U., 2012.

¹⁸⁵ Mencionar en qué capítulos y brevemente qué normativas

recursos materiales y la gestión de los residuos. En primer lugar, desde un plano informativo:

- Información planimétrica en formato BIM compatible (estándar IFC según la EN ISO 16739:2016¹⁸⁶), de cara a su uso por la administración pública en los innumerables usos mencionados.
- Estimación de los kg de cada tipo de material presente en la edificación, enfocado principalmente a la gestión de residuos.
- Estimación de la reciclabilidad de los materiales en función a criterios de facilidad de deconstrucción, desmontaje, reuso y reciclaje de materiales, en aras de un estudio completo enfocado al ciclo de vida de los materiales de los edificios y para poder ser estudiado en un plano a nivel urbanístico por los organismos públicos cuando dispongan de datos representativos de áreas urbanas y herramientas Big Data.

Los datos obtenidos en este tipo de informe -que debiera contener una futura normativa sobre eficiencia de recursos materiales en la construcción y el cual se ha decidido llamar IESE (Informe de Evaluación de la Sostenibilidad de Edificios) en la presente tesis-, no serían vinculantes para la aprobación o denegación del mismo, pero sí de gran utilidad para ser empleados por la administración pública en áreas relacionadas con la gestión de residuos y los desarrollos urbanísticos, así como los datos útiles que actualmente aportan las certificaciones energéticas.

Manteniendo las mencionadas expectativas medioambientales, si una edificación no cumpliera con una Certificación Energética A, los actuales IEE deberían tener también indicadores válidos relacionados con la sostenibilidad desde el punto de vista de la eficiencia de los materiales, y no sólo energéticos. En consecuencia, como se ha podido comprobar, no se propone un nuevo tipo de informe, sino una ampliación a los actuales IEE. Una vez realizado el informe IESE, si se tuviera que rehabilitar energéticamente o por cualquiera de los otros motivos establecidos, las obras deberían ir acompañadas de los siguientes datos de valoración de la sostenibilidad, y, por lo tanto, en segundo lugar, ajustados a

¹⁸⁶ EN ISO 16739:2016. Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries (ISO 16739:2013).

unos criterios de valoración, que no se establecerán en esta tesis dejándolo para un futura línea de estudio:

- Establecer un valor/categoría mínimo de emisiones de CO₂eq/m² (u otros indicadores fácilmente calculables) de los materiales y procesos constructivos durante todo el ciclo de vida de una rehabilitación, conteniendo los siguientes cálculos:
 - Emisiones de CO₂eq/m² de la ejecución de la obra (materiales y procesos constructivos).
 - Cálculo de emisiones de CO₂eq/m² previstas en labores de mantenimiento¹⁸⁷, así como de rehabilitación futuras (reparación y/o sustitución de elementos por criterios de durabilidad).
 - Estimación de las emisiones de CO₂eq/m² de la desconstrucción de los elementos de la obra ejecutados en la rehabilitación (materiales y procesos constructivos).
- Porcentaje mínimo de materiales reutilizados o reciclados en porcentaje respecto a los kilogramos totales de material del edificio (% de reciclabilidad) de la obra proyectada/ejecutada.

Por lo tanto, el esquema procedimental sería muy similar al de una ITE o IEE, salvo con los nuevos criterios de sostenibilidad propuestos aquí, donde además de conocer la seguridad, habitabilidad y eficiencia energética de los edificios, también se conociese del edificio su materialidad para la gestión futura de residuos y las emisiones CO₂eq generadas durante todo el ciclo de vida de una rehabilitación (véase la Figura 30).

¹⁸⁷ Comentado en el sub-apartado 4.3.3.

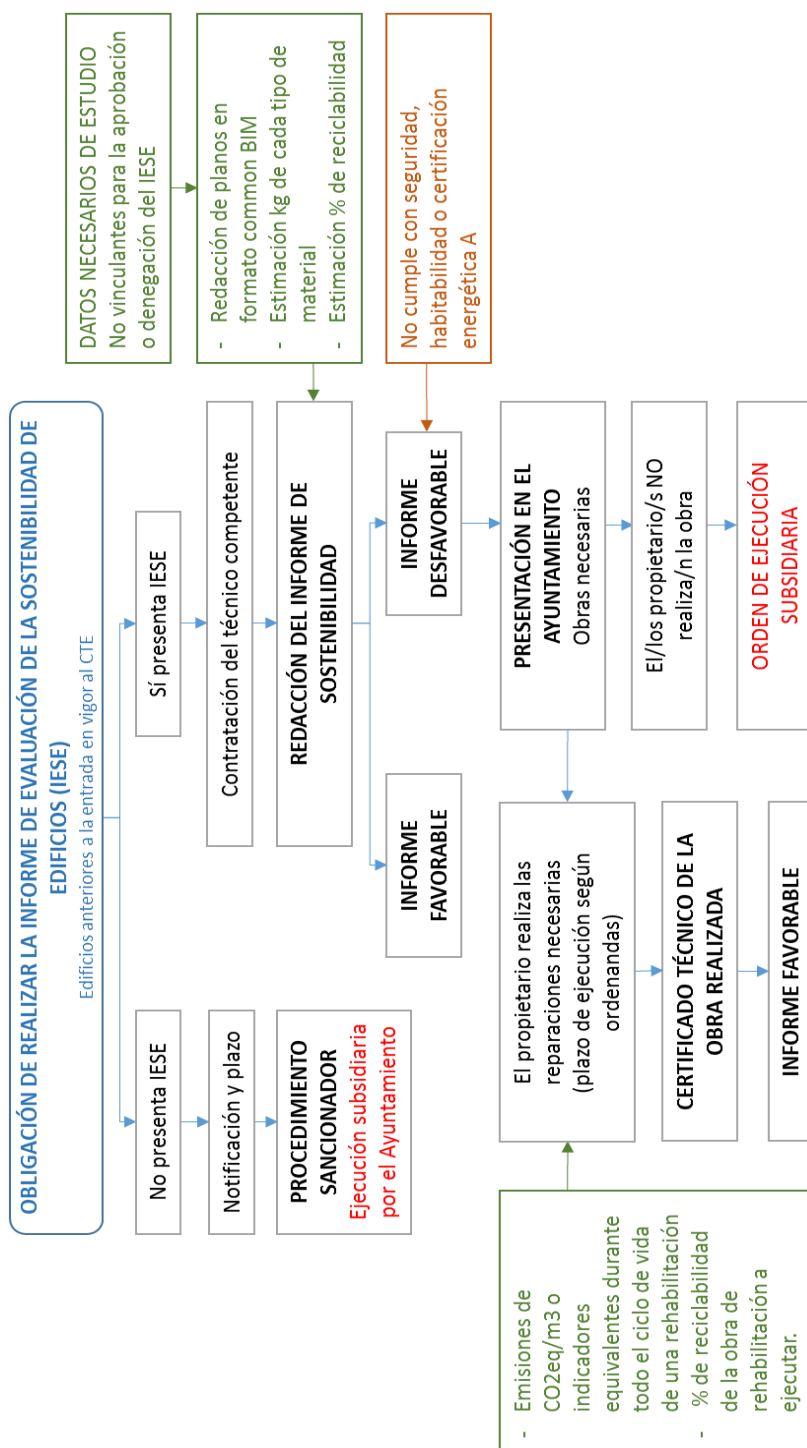


Figura 30. Diagrama procedimental de IESE (Informe de Evaluación de la Sostenibilidad de Edificios). Elaboración propia.

4.5.3. Implantación a escala urbana y territorial. La ciudad digital

4.5.3.1. Construcción de la Ciudad Digital

También cabe destacar que al igual que a inicios del año 2.000, el cálculo de las emisiones de CO₂eq relacionadas con la certificación energética de los edificios se encontraba en un plano de investigación mediante doctorados y artículos científicos y, sin embargo, actualmente está instaurado tanto a nivel legislativo como académico. Por lo tanto, ha de darse el mismo salto académico para el cálculo de las emisiones en las construcciones teniendo en cuenta el ciclo de vida de los productos y los procesos constructivos más eficientes, fomentado, asimismo, en un futuro no muy lejano, la inclusión de los organismos públicos en este triángulo de conocimiento para adelantarnos a la obligatoriedad de su aplicación normativa.

Este objetivo de implementación es el eje vertebrador de las líneas futuras de la presente tesis para llevarla a la práctica. A través de una plataforma colaborativa, las entidades de la triple hélice¹⁸⁸, con el fin de iniciar las acciones para actualizar las empresas en las tecnologías BIM y establecer un plan de acción conjunta a largo plazo. Esta línea tiene como objetivo principal definir una estrategia común en el uso de BIM en la triple hélice, así como otros temas clave como la eficiencia en el consumo de los recursos y energéticos, con la importancia de iniciar las acciones políticas a nivel gubernamental a través de las últimas innovaciones tecnológicas, y de este modo involucrar a las empresas en esta evolución tecnológica y medioambiental que puede favorecerles desde una perspectiva de marketing.

Para que ésta sea replicable en otras regiones, se asentarían las bases sobre las similitudes y diferencias entre los sistemas regionales, creando una plataforma para desarrollar acciones de colaboración que involucrasen a una masa crítica significativa de la industria, organismos públicos y agentes de investigación, fortaleciendo así los vínculos de la triple hélice para la integración de BIM en los

¹⁸⁸ CHANG CASTILLO, "El modelo de la triple hélice como un medio para la vinculación entre la Universidad y Empresa", *Revista Nacional de Administración*, 2010, N° 1 (1), págs. 85-94.

flujos de trabajo para la construcción paulatina de la ciudad digital (véase la Figura 31).



Figura 31. Etapa de implantación del flujo de trabajo de la aplicación ecoeficiente.

Elaboración propia.

En la Figura 32, se puede observar la interrelación propuesta entre las diferentes entidades de la triple hélice, así como las diferentes herramientas de las que podría disponer la administración pública actualmente para articular las medidas oportunas en materia de BIM y eficiencia de recursos materiales. Ésta se encuentra compartimentada entre los diferentes participantes de la triple hélice, aunque en el caso de los organismos públicos, estos se encuentran en dos ubicaciones del flujo de implementación.

De este modo, desde los organismos reguladores, tendríamos dos vías:

- Desarrollo de regulaciones de obligado cumplimiento, donde los organismos competentes tendrían que legislar las Directivas, Reales Decretos,

Reglamentos y Ordenanzas necesarias para la implementación de BIM y eficiencia de materiales.

- Otras vías regulatorias: a través de PGMIO se pueden establecer las medidas oportunas, y así como el empleo de las normas UNE mencionadas en la presente tesis para su incorporación en los pliegos de condiciones de los proyectos de ejecución y, por ende, obligando a su aplicabilidad en éstos.

Por parte de las empresas, éstas tendrían que adaptarse definitivamente a las tecnologías BIM para poder entregar toda la documentación necesaria en formatos BIM, así como los resultados de eficiencia energética, de consumo de materiales, impacto ambiental, etc. que éstos arrojasen.

En este punto, es donde también entrarían en juego los organismos públicos gestores de cartografía, puesto que también tendrían que adaptarse a estas nuevas tecnologías. La información recopilada tendría innumerables aplicaciones ya mencionadas, donde a través de herramientas Big Data podría reutilizarse esta información.

En consecuencia, toda esta información, siempre al amparo de la Ley de Protección de datos, puede volver al ciudadano o a la empresa a través de cartografías en CityGML o GML, con la información relativa a impactos ambientales contenida en XML.

Paralelamente, encontraríamos a los organismos de investigación (universidades y centros tecnológicos), así como empresas TIC, para velar por las futuras mejoras del sistema.

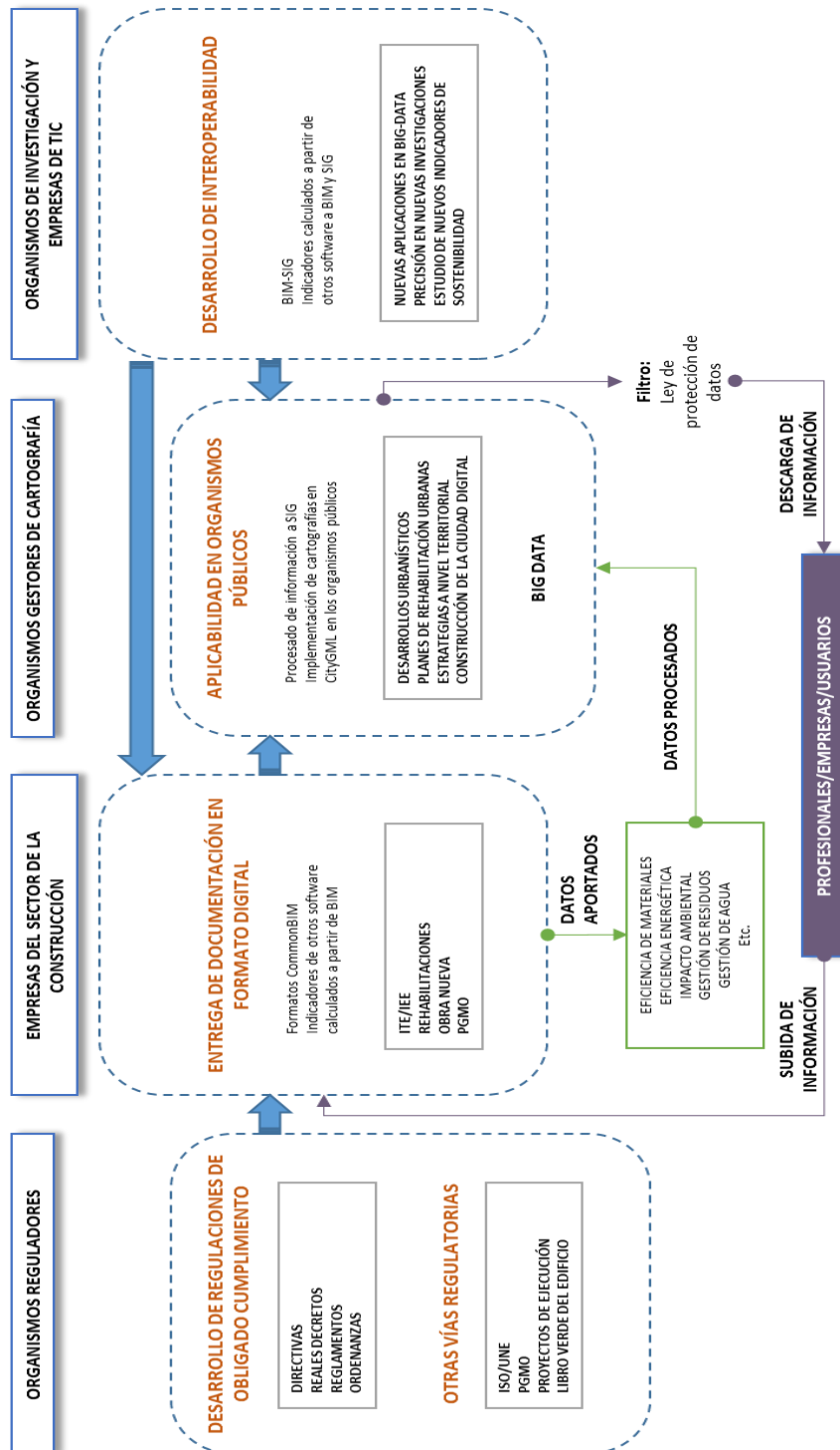


Figura 32. Flujo de implementación de la construcción de la ciudad digital. Elaboración propia.

4.5.3.2. Integración de la Ciudad Digital en la Economía Circular

Si en un determinado territorio se desea llevar a cabo una estrategia agresiva de rehabilitación urbana desde el enfoque de la eficiencia energética, debería estar obligada -mediante los mecanismos legislativos oportunos (como por ejemplo, Evaluaciones de Impacto Ambiental)- a conocer previamente los recursos y residuos que esta actuación urbanística de cierta envergadura podría llegar a ocasionar en dicho territorio.

Es por ello, que se ha de contribuir a la mitigación¹⁸⁹ en las emisiones de CO₂ y aumentar la eficiencia de los recursos materiales mediante estrategias de economía circular. Conociendo la materialidad de las obras, desarrollos y rehabilitaciones urbanísticas a ejecutar, se pueden llegar a establecer sinergias con otras industrias para emplear sus residuos como materia prima. Para ello, se requiere de una gran base de datos, elaborarla, mantenerla actualizada, y dispone de las herramientas necesarias para interpretar toda esa información masiva. El Big Data puede ser capaz de profundizar en estos estratos de análisis, puesto que la masificación de datos que puede otorgar el modelo aquí propuesto, donde se requerirá de nuevas herramientas de interpretación de datos masivos y, a partir de éstas, ser empleadas en futuros desarrollos y rehabilitaciones urbanísticos, con la posibilidad de:

- cuantificar las emisiones de CO₂eq de cara a cumplir con los indicadores, tanto regionales como nacionales de reducción de las emisiones de CO₂eq en un 26% hasta el 2030. Debiendo cumplir, a su vez, cada edificio con estos indicadores;
- estimar la masa de material necesaria para un determinado desarrollo o rehabilitación urbanística, así como los posibles residuos generados, definiendo el empleo de determinados materiales desde un punto de vista medioambiental para un municipio en concreto y pudiendo, de este modo, establecer estrategias a nivel regional en la previsión de consumo

¹⁸⁹ VICTORIA JUMILLA, "Contribuir a la mitigación", *Cambio Climático en la Región de Murcia. Trabajos del Observatorio Regional del Cambio Climático*, Consejería de Agricultura y Agua de la Región de Murcia, 2010, págs. 7-28.

de materiales -incentivos a empresas, previsiones en la extracción de recursos y su elaboración, etc.-;

· estimar la masa de material reciclable o reutilizable de cara a una gestión eficiente de los residuos y focalizada a la economía circular, previsiones de almacenamiento en vertederos, etc.

Existen numerosos proyectos europeos enfocados a la construcción de la ciudad digital, ya fuesen con fundamentos basados en la geolocalización, patrimonio arquitectónico u otras aplicaciones. Sin embargo, éstos no destacan por su contenido, sino más bien por su continente. De esta forma, se propone una serie de medidas para que a través de la legislación se establezca la entrega de documentación arquitectónica en formatos BIM con cierto grado de información (LOD600). Son, por lo tanto, los propios prescriptores quienes construirían de forma paulatina y solidaria bajo este modelo de flujo de trabajo la ciudad digital, siendo los organismos públicos quienes podrán utilizar esta información en el futuro, donde la adecuada implementación de la economía circular entre diferentes industrias -donde lo que para unas es un desecho, para otras es un recurso- es el gran hito a alcanzar, y, para su consecución, es necesaria la adquisición de datos masivos -donde en esta tesis se analizan cómo conseguirlos en los apartados anteriores- y las herramientas Big Data necesarias para interpretarlos (ver Figura 33).



Figura 33. Etapa de interpretación de macrodatos a escala territorial del flujo de trabajo de la aplicación ecoeficiente. Elaboración propia

A este respecto, y como modelo constructivo cercano al 100% de reciclabilidad, tendríamos los últimos avances en construcción prefabricada y su conectividad a través del Internet de las Cosas¹⁹⁰, donde el modelo teórico desarrollado sobre UO BIM en LOD700 se ajustaría perfectamente a los requerimientos medioambientales de las edificaciones, así como desarrollos y rehabilitaciones urbanísticos. Teniendo de este modo un mayor control de la producción y las emisiones de CO₂ generadas en fábrica -al automatizar y llevar a las naves industriales su prefabricación-, al igual que un mayor control de los residuos y de las materias primas -o previamente recicladas- a emplear.

¹⁹⁰ ZHONG, PENG, XUE, FANG, ZOU, LUO, THOMAS NG, LU, SHEN y HUANG, "Prefabricated construction enabled by the Internet-of-Things", *Automation in Construction*, 2017, N° 76, págs. 59-70.

El ya comentado Proyecto UrbanBIM (véase el ANEXO 6: TRANSFERENCIA DE LOS RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN), forma parte de una estrategia global de llevar a la práctica la presente tesis, siendo éste el último presentado de tantos otros (véase la Figura 34), el cual éste posee los mismos fundamentos teóricos de la presente tesis y su aplicabilidad:

1. Pleno desarrollo de las DAP y su integración en los objetos BIM (MCD y UO BIM).
2. Conectividad entre empresa suministradoras y prescriptores.
3. Cálculo de los impactos ambientales a partir de BIM.
3. Digitalización y modernización del sector de la construcción y los organismos públicos.
4. Construcción paulatina de la ciudad digital gracias a las normativas que se adopten en entrega de documentación de proyectos a los organismos públicos.
5. Gestión Big Data de la información.

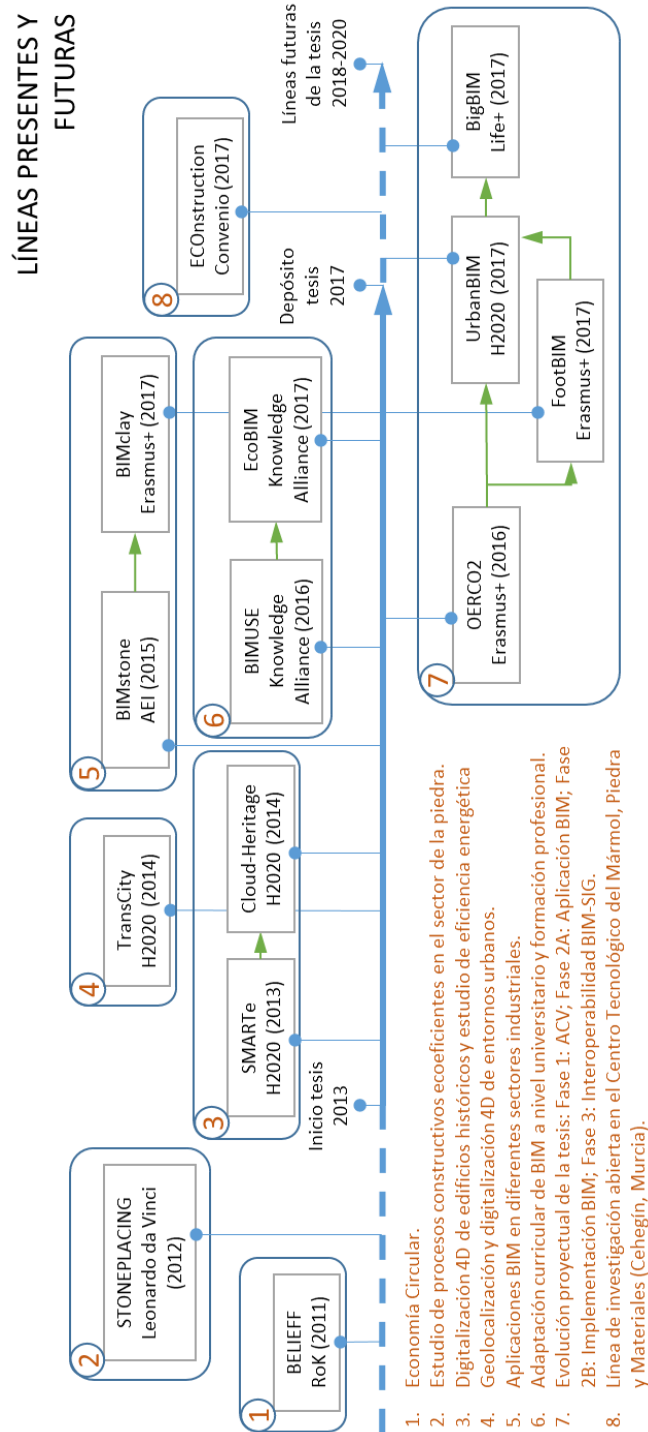


Figura 34. Proyectos Europeos. Líneas presentes y futuras relacionadas con la tesis.
Elaboración propia.

BLOQUE 3. CONTINUACIÓN DE LA TESIS

V – CONCLUSIONES

V – CONCLUSIONES

El objetivo principal de la presente tesis era la descripción de una aplicación ecoeficiente de materiales y sistemas constructivos con el fin de generar territorios sostenibles estableciendo estrategias para su uso en los desarrollos y rehabilitaciones urbanísticos, cuyo origen nació de la necesidad de -en primera instancia y desde el punto de vista normativo-, por un lado:

- cumplir con la exigencia de reducción de hasta un 26% en los sectores difusos hasta el 2030 en España, no siendo únicamente por la vía más extendida, es decir, desde la perspectiva de la eficiencia energética;
- potenciar el estudio de la eficiencia de recursos materiales para equipararlo en un futuro al de eficiencia energética e incluirlo en el relativamente nuevo concepto de EECN;
- aumentar la concienciación en cuanto a criterios de economía circular en el sector de la construcción.

Y, por otro lado, desde un punto de vista de los materiales de construcción, la edificación y el urbanismo:

- incrementar el conocimiento entre los profesionales del sector de los aspectos medioambientales y de las repercusiones en cuanto a impacto ambiental de los materiales de construcción comúnmente empleados;
- indagar en los nuevos modelos de flujo de trabajo que simplifiquen la labor de los prescriptores del sector de la construcción ante el aumento de la complejidad en la profesión por las cada vez más numerosas exigencias normativas;
- facilitar los modos de compilación de información útil, entendible y reinterpretable para aplicar por los profesionales del sector en base a criterios medioambientales en los desarrollos y rehabilitaciones urbanísticos.

Habida cuenta de estas necesidades detectadas, se planteó el desarrollo teórico de una herramienta de análisis útil para los profesionales del sector de la construcción, que globalizase todas las actuaciones y avances que se están realizando en estos campos a nivel de producto desde el punto de vista medioambiental y que, por lo tanto, extrapolase esta información del edificio a la ciudad y de la ciudad al territorio, siendo entonces empleada en un futuro en desarrollos urbanísticos y obras de edificación, tanto en obra nueva como rehabilitación.

Por este motivo, desde el principio el planteamiento de la presente tesis se centró en la consecución del mencionado objetivo principal con el fin de dar respuesta a las necesidades planteadas. Es evidente que, dado el alto grado de complejidad para llevar a cabo este planteamiento, se estableció dicho objetivo principal en un marco teórico. Se entendió entonces, que el equipo multidisciplinar necesario para llevar a cabo esta ardua labor, debería estar compuesto por profesionales de diferentes disciplinas relacionadas con el urbanismo, construcción, medio ambiente, TIC, legislaciones, políticas y estrategias gubernamentales, etc., puesto que la presente tesis requiere del estudio de:

- normativas relacionadas con estas disciplinas;
- bases de datos de impacto ambiental de materiales de construcción;
- metodologías de cálculo existentes aplicadas a los procesos constructivos y deconstructivos;
- la vinculación entre tecnologías BIM y bases de datos de impacto ambiental;
- el estado del arte en tecnologías BIM y SIG y su interoperabilidad;
- flujos de trabajo en la triple hélice aplicadas al urbanismo y la edificación.

Debido a la mencionada base teórica que posee la presente Tesis Doctoral y la necesidad de contar con un equipo multidisciplinar para poder llevarla a cabo como parte de la estrategia de implementación de las líneas futuras, se plantearon, desarrollaron e implementaron numerosos proyectos de investigación, los cuales alguno de ellos obtuvo financiación y contribuirán a la exploración de las líneas establecidas, y otros, en cambio, aún se encontraban en

fase de evaluación en el momento de depositar esta tesis o se planteará su presentación en próximas convocatorias.

En consecuencia, centrándonos en la base teórica aquí desarrollada, por cada capítulo se llegó a las siguientes conclusiones:

Capítulo I. En la parte introductoria de la presente tesis, destaca la necesidad imperiosa de cumplir con las exigencias de la Unión Europea en cuanto a emisiones GEI en los sectores difusos, donde se halla la construcción y la gestión de residuos, y debido a las repercusiones que el cambio climático tiene y tendrá a este ritmo desenfadado a nivel mundial. Sin embargo, también se expone la problemática del crecimiento de las ciudades y el aumento de la población como motivo principal para el cambio de paradigma de actual, puesto que el problema en materia de consumo de recursos y desechos que éstos generan se agrava exponencialmente, dejando de ser un problema de eficiencia en el consumo energético únicamente a serlo también desde el ámbito de la eficiencia de recursos materiales.

Capítulo II. Divida en tres apartados, uno por cada escala de estudio, se llegó a las siguientes conclusiones principales:

- Producto: Las DAP desarrolladas en todas las etapas del ciclo de vida es una información muy útil para el estudio del ciclo de vida de los edificios, si bien es cierto que cuando se realizan no es obligatorio su desarrollo para todas las etapas. Su desarrollo pleno en los próximos años tanto en la mejora y precisión en los datos aportados en las declaraciones, como el análisis de otras etapas del ciclo de vida, otorgará gran parte de la información necesaria para el cálculo de los indicadores de impacto ambiental.
- Edificio: El diseño de edificios teniendo en cuenta todo el ciclo de vida está cada vez más presente en las directivas, así como en dictámenes y recomendaciones de la UE. Las consideraciones respecto a la eficiencia en los materiales, durabilidad y reciclabilidad de las obras de construcción también son halladas a nivel europeo, aunque en la regulación española específica es más complicado encontrar referencias a este ámbito a escala edificatoria. Por otro lado, cabe destacar el desarrollo en los últimos años en BIM, donde la obligatoriedad en varios países de la UE y la aplicación de la

Directiva 2014/24/UE son un primer paso para una futura implantación normativa en el caso español.

- Territorio: En esta escala, y de una forma más general, es cierto que la eficiencia de recursos materiales se encuentra más presente tanto en las directivas europeas como en la normativa nacional, si bien es cierto que su implementación en la práctica aún no está todo lo extendido que se quisiera en nuestro país. Respecto a las rehabilitaciones urbanas, hasta hace bien poco el enfoque ha estado demasiado centrado en nuestro país en el ámbito estructural, pero las ayudas económicas de ámbito regionalista mencionada y la nueva evolución normativa en EECN, ayudarán a darles una perspectiva aún más medioambiental. Y en paralelo a la escala edificatoria, el uso de los SIG en los organismos públicos otorga un resquicio de oportunidad para la implementación de indicadores medioambientales gracias a la interoperabilidad con BIM, donde, a día de hoy, se intuye que la clave esté en los formatos GML, los cuáles en su mayoría (no todos) comparten el nexo común de los XML.

Capítulo IV.1. Aun existiendo disparidad entre los diferentes países de la UE respecto a los indicadores de cálculo desde el punto de vista de la eficiencia energética, las emisiones de CO₂eq son, las más empleadas, aunque el rendimiento funcional también cobra fuerza. Respecto a la eficiencia de recursos materiales, la variación de tipos de indicadores es mayor, si bien es cierto que también las emisiones de CO₂eq tienen su protagonismo, siendo imprescindible resaltar la reciclabilidad y reusabilidad de los productos de construcción, y dada la importancia que se le da en las directivas y dictámenes estudiados, también son tenidos en cuenta en esta tesis, sobre todo por su conexión intrínseca con los criterios de economía circular. Por otro lado, las numerosas investigaciones, software y certificaciones de sostenibilidad estudiados son una buena base de donde partir, si bien es cierto que la disparidad entre todas las metodologías se hace presente y se antoja necesaria la armonización de la UNE-EN 15978 o una mejora y evolución de la misma para la unificación de criterios.

Capítulo IV.2 y 3. La escasez de DAP, así como la no definición completa en todas sus etapas en la mayoría de las que se encuentran actualmente realizadas, obliga al desarrollo específico de una metodología de aplicación para la presente

tesis -accediendo incluso a otras bases de datos-, si bien es cierto que es fácilmente ampliable al basarse en la mencionada UNE conforme las DAP sean más completas en el futuro. Se ha mencionado que las DAP entrañan en su propio modelo ciertas inexactitudes a la hora de ser aplicadas a un modelo de cálculo complejo y para todas las etapas del ciclo de vida. A continuación, se mencionan únicamente las conclusiones analizadas en la presente tesis:

- Etapas A1-A3. Escasa precisión en el cálculo en algunos casos: esta inexactitud podría realmente ser considerada en todas las etapas, pero es mencionada aquí por el hecho de que la mayoría de las DAP actuales están realizadas por agrupaciones de empresas o en base a un sector a través de un clúster o asociación. Esto entraña una gran inexactitud al no realizar la DAP para un determinado producto de una empresa en concreto. Por este hecho, en otras ocasiones no se tienen en cuenta la procedencia de otros materiales secundarios empleados en la fabricación e incluso sin tener en cuenta las emisiones que han tenido en terceros países previamente.

También se ha de tener en cuenta que en numerosas ocasiones se emplean herramientas de cálculo de ACV que pueden dar cierta disparidad en los resultados, donde además dependerá de la pericia del evaluador su exactitud en la introducción de los datos, pudiendo dar para el mismo producto resultados muy dispares. Queda, por tanto, mucho que avanzar para unificar criterios en este aspecto.

- Fase A4. Transporte de fábrica o almacén a la obra: de cara a realizar un cálculo más exacto, sería necesaria la geolocalización de los suministradores, y que ésta información estuviese accesible en las DAP.

- Fase A5. Cálculo en las fases constructivas: La inclusión de dato de impacto ambiental en esta fase entraña cierto riesgo de imprecisión por parte del evaluador, puesto que presupone directamente cuál será el método de ejecución, la maquinaria a emplear, los medios auxiliares, etc. sin realmente ser mencionado cuáles son específicamente en la mayoría de los documentos DAP.

- Fase B5. Método de cálculo en relación a la durabilidad: Sin encontrarse demasiado especificada en la UNE-EN 15978 donde empieza y dónde acaba la frontera entre sustitución (Fase B4) y rehabilitación (Fase B5), la presente

tesis considera la fase de sustitución incluida en la misma. La metodología de cálculo basada en estimar el número de repeticiones necesarias para su sustitución es empleado en la presente tesis, pero entraña la dificultad de conocer en muchos casos la durabilidad no sólo de un material en concreto, que esta puede ser definida en su DAP o a través de su norma UNE específica mediante métodos de ensaño, sino también por la durabilidad en el conjunto de la unidad de obra en su conjunto. Puesto que, en ocasiones, para retirar un producto es necesaria la deconstrucción o demolición de otros. También queda claro, que el avance tecnológico en los métodos constructivos o la elección de otros materiales en su rehabilitación podría producirse, pero es lógico pensar que este modelo de cálculo sea el más justo a la hora de penalizar la escasa durabilidad en cálculo presente de un producto, aunque en un futuro se optase por otro en una rehabilitación -lo cual, evidentemente- no podría saberse en el momento de la ejecución.

- Fase C1. Cálculo del método deconstructivo. El método constructivo (Fase A5) es básico para correcta definición de este punto. En las DAP, también se dan datos de impacto ambiental sin especificar si se trata de una demolición mecánica, tradicional o incluso de un desmontaje -sin lugar a dudas, el método más idóneo desde el punto de vista de la gestión de residuos-.

- Fase C2. Transporte de obra a vertedero o centro de reciclaje: al igual que en la fase A4, la geolocalización ahondaría en una mayor precisión, sin embargo, casi nunca sería un dato que se pudiese lograr con exactitud al llevar consigo aparejado el factor tiempo, y desconocer realmente la ubicación exacta de las mismas dentro de varios años. Por lo tanto, no queda más remedio que la geolocalización de las más cercanas en el momento actual del inicio de la obra. Desde el punto de vista de las DAP, sucede, en consecuencia, lo mismo que en las anteriores, y resulta ser una estimación. Además, este es un dato que se habría de introducir manualmente en un MCD o encontrarse configurado para que eligiese el más cercano a la obra automáticamente, lo cual dificultaría sobremanera el modelo aquí propuesto.

- Reciclabilidad. Método constructivo como fundamento de la reciclabilidad: Como si de un árbol de proceso se tratase, la elección de un

material -que según su DAP cierta masa del mismo es reciclable- da origen a unas vías específicas de colocación para ese material en concreto en combinación con otras, las cuales producen una determinada unidad de obra -la cual, a su vez, puede ser ejecutada de una determinada forma, que origine un mayor o menor impacto ambiental-. Ahora bien, si en todo este proceso se ha tenido en cuenta un tipo de montaje constructivo que prevé a su vez el desmontaje, no sólo aumentará el % de reciclabilidad de esta unidad de obra, sino que además lo hará el de su % de reusabilidad.

Capítulo IV.4. Este capítulo también se encuentra analizado desde las diferentes escalas de actuación, incluyendo una cuarta en relación al análisis de macrodatos, de este modo, se lleva a las siguientes conclusiones:

- Producto: La incorporación de datos de impacto ambiental en los MCD en formatos BIM otorgan una información muy valiosa a los prescriptores, y más aún cuando forman UO BIM en LOD600. Y si, además, se desarrolla técnicamente en futuras líneas el concepto de LOD700 definido en la presente tesis, los MCD y UO BIM subidos a la nube permitirán una conectividad con el suministrador y actualización de datos -indicadores de impacto ambiental, precios, y otros que ya se pueden encontrar como la conductividad térmica, la masa, etc.- nunca vista hasta el momento en los procesos constructivos.

- Edificio: La incorporación de datos de impacto ambiental en los MCD en formatos BIM otorgan una información muy valiosa a los prescriptores, y, por supuesto, su combinación para formar UO BIM en LOD600 permiten una intercomunicación entre material, edificio y otros software de cálculo muy potente, no sólo su potencialidad para el cálculo de indicadores de impacto ambiental desde el punto de vista de los procesos constructivos, sino también otros actualmente desarrollados o en proceso de desarrollo y analizados en la presente tesis sobre eficiencia energética y control presupuestario.

- Territorio: la conexión entre edificio y territorio está cada vez más cerca, y el desarrollo actual de las ISO para los estándares en BIM y la interoperabilidad en SIG así lo demuestran. En la presente tesis, se demuestra la posibilidad de poder incluir datos de indicadores de impacto

ambiental, reciclabilidad, masa total de materiales empleados, etc. los cuales sería muy sencilla técnicamente su integración en los formatos actuales empleadas en las cartografías de los organismos públicos, como por ejemplo GML.

- Big Data: La masificación de datos que puede otorgar el modelo aquí propuesto, requerirán de nuevas herramientas de interpretación de datos masivos y, a partir de éstas, se empleadas en futuros desarrollos y rehabilitaciones urbanísticos. Las aquí analizadas, se centran en la posibilidad de:

- cuantificar las emisiones de CO₂eq de cara a cumplir con los indicadores tanto regionales como nacionales de reducción de las emisiones de CO₂eq en un 26% hasta el 2030. Debiendo cumplir, a su vez, cada edificio con estos indicadores;

- estimar la masa de material necesaria para un determinado desarrollo o rehabilitación urbanística, así como los posibles residuos generados, definiendo el empleo de determinados materiales desde un punto de vista medioambiental para un municipio en concreto y pudiendo, de este modo, establecer estrategias a nivel regional en la previsión de consumo de materiales -incentivos a empresas, previsiones en la extracción de recursos y su elaboración, etc.-;

- estimar la masa de material reciclable o reutilizable de cara a una gestión eficiente de los residuos y focalizada a la economía circular, previsiones de almacenamiento en vertederos, etc.

Capítulo IV.5. El modelo, que fue explicado en el capítulo anterior, entrañó una serie de problemáticas de cara a su implementación que también fueron analizadas en este capítulo desde el punto de vista de las tres mencionadas escalas, arrojando las siguientes conclusiones:

- Producto: 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.

- Edificio: La gestión BIM del edificio en todas las etapas de su ciclo de vida suponen una ventaja respecto a ahorro de tiempo, precisión en los cálculos y perdurabilidad de la información contenida en el modelo digital. Es por este motivo, que en este apartado se proponen 3 estrategias claras a ejecutar a nivel legislativo, si bien es cierto que la Directiva 2014/24/UE se adelanta a este aspecto, aunque no plenamente al no definir adecuadamente el concepto de herramienta electrónica. De cara a la construcción de la ciudad digital y sus aplicaciones en Big Data, se establecieron las siguientes:

- entrega de la documentación del proyecto de ejecución de obra nueva en formato BIM en LOD600;
- creación de un libro verde del edificio y control de su gestión medioambiental a través de formatos BIM;
- entrega de documentación en BIM en LOD600 en el caso de rehabilitaciones. Propone además en este apartado, que en previsión a las recientes normativas en materia de eficiencia energética, la obligatoriedad de mejorarlas en este sentido, con el consumo de recursos materiales que ello lleva aparejado.

- Territorio: Existen numerosos proyectos europeos enfocados a la construcción de la ciudad digital, ya fuesen con fundamentos en basados en la geolocalización, patrimonio arquitectónico u otras aplicaciones. Sin embargo, éstos no destacan por su contenido, sino más bien por su continente. El apartado anterior propone una serie de medidas para que a través de medidas legislativas se establezca la entrega de documentación arquitectónica en formatos BIM con ciento grado de información (LOD600). Son, por lo tanto, los propios prescriptores quienes construirían de forma paulatina y solidaria bajo este modelo de flujo de trabajo la ciudad digital, siendo los organismos públicos quienes podrán utilizar esta información en el futuro, donde la adecuada implementación de la economía circular entre diferentes industrias -donde lo que para unas es un desecho, para otras es un recurso- es el gran hito a alcanzar, y, para su consecución, se requiere de la adquisición de datos masivos -que es esta tesis se analizaron cómo

conseguirlos en los apartados anteriores- y las herramientas Big Data necesarias para interpretarlos.

Como complemento a las conclusiones expuestas, el autor de la presente Tesis Doctoral **confirma que se han cumplido los objetivos científicos que se planteaban al inicio del proceso de investigación**, destacando que respecto al objetivo principal, el desarrollo descriptivo de una aplicación ecoeficiente de materiales y sistemas constructivos con el fin de generar territorios sostenibles estableciendo estrategias para su uso en los desarrollos y rehabilitaciones urbanísticos queda cumplido, habiendo realizado un ejemplo desde una serie de materiales habituales para una unidad de obra específica (m² de fachada) y explicando la extrapolación de los datos de los indicadores seleccionadas a las diferentes escalas hasta la territorial.

Por lo que respecta a los objetivos específicos logrados, se destacan las siguientes consideraciones:

- 1) Establecer un criterio común y fácilmente entendible por los profesionales de la arquitectura y el urbanismo.

El concepto de % de reciclabilidad y las emisiones de CO₂eq aquí desarrollado es muy útil de cara a valorar de una forma sencilla la elección de determinadas unidades de obra -y no únicamente de materiales-, donde, evidentemente, este campo requiere de un amplio desarrollo todavía con muchos más ejemplos que los aquí expuestos.

- 2) Establecer una metodología común mediante emisiones de CO₂eq y reciclabilidad en los procesos constructivos (durante toda la vida útil de la edificación, es decir, construcción, rehabilitación y deconstrucción) para ser aplicada en estimaciones, dando un valor cuantificable y medible para los profesionales del sector.

Se optó, de cara a su mayor aplicabilidad en la actualidad, no calcular todas las fases de las etapas del ciclo de vida de los materiales, siendo de este modo más sencilla la replicabilidad del cálculo. Sin embargo, y conforme el campo de las DAP avance, será conveniente que en líneas futuras de amplíe el campo de acción a nuevas fases de cálculo e indicadores de impacto.

- 3) Definir las características del marco normativo idóneo para la concienciación e implementación de los objetivos de la tesis.

Teniendo también en cuenta aquellas regulaciones relacionadas con la eficiencia energética, y dado que el marco normativo en cuanto a eficiencia de recursos materiales aún no ha comenzado plenamente su desarrollo (salvo desde el punto de vista de la gestión de recursos), no sólo se indagó en directivas, reglamentos y leyes, sino también en recomendaciones, comunicaciones, PGMO, normas ISO e UNE, etc. que sin lugar a dudas marcan las bases estratégicas de las futuras normativas a este campo.

- 4) Demostrar la utilidad de herramientas informáticas basadas en BIM y SIG para el cálculo de emisiones de CO₂eq y buen uso de los recursos materiales en los desarrollos urbanísticos.

Los artículos científicos y proyectos estudiados para la presente Tesis Doctoral demostraron las bondades de ambas herramientas informáticas en su aplicabilidad para los cálculos establecidos, quedando patente la automatización y el progreso efectivo que éstas supondrán en el flujo de trabajo de los profesionales del sector, y, por lo tanto, el modelo teórico expuesto tendría una gran utilidad cuando éste sea llevado a la práctica a través de la búsqueda de líneas de financiación.

- 5) Descripción de un prototipo de software para el cálculo de emisiones de CO₂, buen uso de los recursos materiales y reciclabilidad en los desarrollos y rehabilitaciones urbanísticos basada en tecnología BIM y SIG.

La consecución de todos los objetivos anteriormente explicados da como resultado la compleción de este objetivo. La definición del software, así como sus objetos BIM, denominados MCD y UO BIM, serán la base para un modelo edificatorio conectado en la nube, orgánico y en continua evolución. También se desarrolló la metodología para la aplicabilidad de la interoperabilidad entre ambos sistemas y cómo su nexo común en los formatos XML será la base para la transferencia de información.

- 6) Establecer y plantear las estrategias de implementación de las futuras líneas de investigación para el fortalecimiento de los criterios de eficiencia de los recursos materiales en los desarrollos urbanísticos y no únicamente desde el punto de vista energético.

Se establecieron igualmente las acciones necesarias a nivel legislativo para la implementación plena de varios de los condicionantes necesarios para una metodología de cálculo de indicadores de impacto ambiental lo más exacta posible, no sólo proponiendo nuevas regulaciones, sino también estableciendo nuevas vías a partir de las ya existentes.

Con estas conclusiones y consideraciones finales, el autor ha pretendido exponer de una forma clara y resumida, la necesidad de establecer en la administración pública las herramientas electrónicas necesarias para llevar a cabo el salto al análisis masivo de datos, trasponiendo esta necesidad al resto de agentes intervinientes en la triple hélice, y de este modo, tener el conocimiento y la información necesaria para que, desde la escala territorial, se puedan tomar las medidas oportunas en relación a los impactos ambientales en los desarrollos y rehabilitaciones urbanísticos.

Para finalizar, el autor de la presente Tesis Doctoral **propone y deja abiertas nueve claras líneas de investigación** para futuros trabajos en base a todas estas conclusiones mencionadas -ya sean mediante proyectos de investigación financiados o artículos científicos donde sea posible- de modo que pueda profundizarse en la investigación entre la interconexión de MATERIAL / EDIFICIO / CIUDAD / TERRITORIO desde un punto de vista medioambiental y haciendo de ellos partícipes a todos los intervinientes de la triple hélice en el sector de la construcción y afines. Son las siguientes:

- 1) Ahondar en el desarrollo de una base de datos completa de impacto ambiental con los indicadores establecidos en la UNE-EN 15978, así como todas las etapas del ciclo de vida, e integrarlas en MCD y UO BIM en, al menos, LOD600.
- 2) En base a la citada UNE-EN 15978 y en referencia al Dictamen 2015/C 195/06, sería muy interesante el desarrollo de nuevas categorías en sostenibilidad basadas en los indicadores de esta UNE, estableciendo

así, unos umbrales como los que actualmente podemos encontrar en las certificaciones energéticas.

- 3) Desarrollar plataformas colaborativas y software de diseño arquitectónico con objetos BIM en LOD700 para la conectividad plena de los suministradores y fabricantes con los prescriptores con información incorporada de ACV.
- 4) Desarrollar plenamente un modelo edificatorio en BIM con todas las DAP y bases de datos de impacto ambiental disponibles en ese momento en base a la metodología propuesta en la presente tesis.
- 5) Partiendo de desarrollos urbanísticos existentes, aplicar la metodología propuesta desde la escala producto y, en base a modelos estadísticos de estudio de emisiones de CO₂eq estudiados en la presente tesis, desarrollar un modelo propio estadístico mediante las tecnologías analizadas.
- 6) Ahondar en las metodologías y planes de estudio a nivel profesional, así como en su implementación, para la transferencia conjunta de conocimientos de BIM y medioambiente logrando la máxima excelencia posible y desarrollando los software educativos necesarios para tal fin.
- 7) Profundizar en la implementación de BIM en los organismos públicos a través de su interoperabilidad con SIG, planteando y analizando nuevas estrategias de implementación de coste reducido.
- 8) Desarrollar herramientas Big Data de estudio de materiales, edificios y desarrollos y rehabilitaciones urbanísticos desde el punto de vista de la eficiencia de recursos materiales y su estudio durante todo el ciclo de vida. Por ejemplo, una herramienta que mediante valores estadísticos establezca el consumo máximo de determinados materiales en base al PGMO de un municipio, conociendo de este modo las necesidades de dicho municipio en los próximos años respecto al material estudiado.
- 9) Desarrollar herramientas de Big Data para el estudio en profundidad de la interconectividad entre los residuos generados y recursos necesarios entre diferentes industrias y sectores con la aplicación de criterios de economía circular, teniendo como telón de fondo y como máximo

exponente la idea de BASURA=ALIMENTO, de Braungart y McDonough.

En una última apreciación, únicamente se desea afirmar que este documento de Tesis Doctoral se ha confeccionado, con un marcado carácter eminentemente práctico, pero basado en un marco teórico -debido a las amplias escalas que maneja y la realización de diferentes software y bases de datos en BIM necesarios para su implementación-, con el fin de su desarrollo profundo en futuros proyectos de investigación, que marca el camino y unas líneas estratégicas claras para llevar a cabo esta conexión de ida y vuelta entre MATERIAL y TERRITORIO.

Murcia, mayo de 2017.

El Doctorando.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'David Caparrós Pérez', with a large, sweeping flourish extending to the right.

Fdo. D. David Caparrós Pérez.

ANEXOS

ANEXOS

ANEXO 1: DOCUMENTACIÓN GRÁFICA

En este anexo se visualizará la documentación gráfica generada en la tesis. Se optó por la vivienda en cuestión por hallarse en el Término Municipal de Alhama, donde, al igual que otros tantos términos municipales, ésta posee una serie de criterios estéticos en la zona seleccionada que coartan en gran medida la elección de materiales, principalmente, acabados finales. Por otro lado, durante el periodo de elaboración de la tesis, el autor de la misma realizó el proyecto básico de dicha vivienda, siendo ésta una buena oportunidad para aplicar teórica la metodología definida en un caso práctico para un elemento en concreto de la misma, principalmente, para tener unos cálculos básicos con los que comprobar el método en la escala producto.

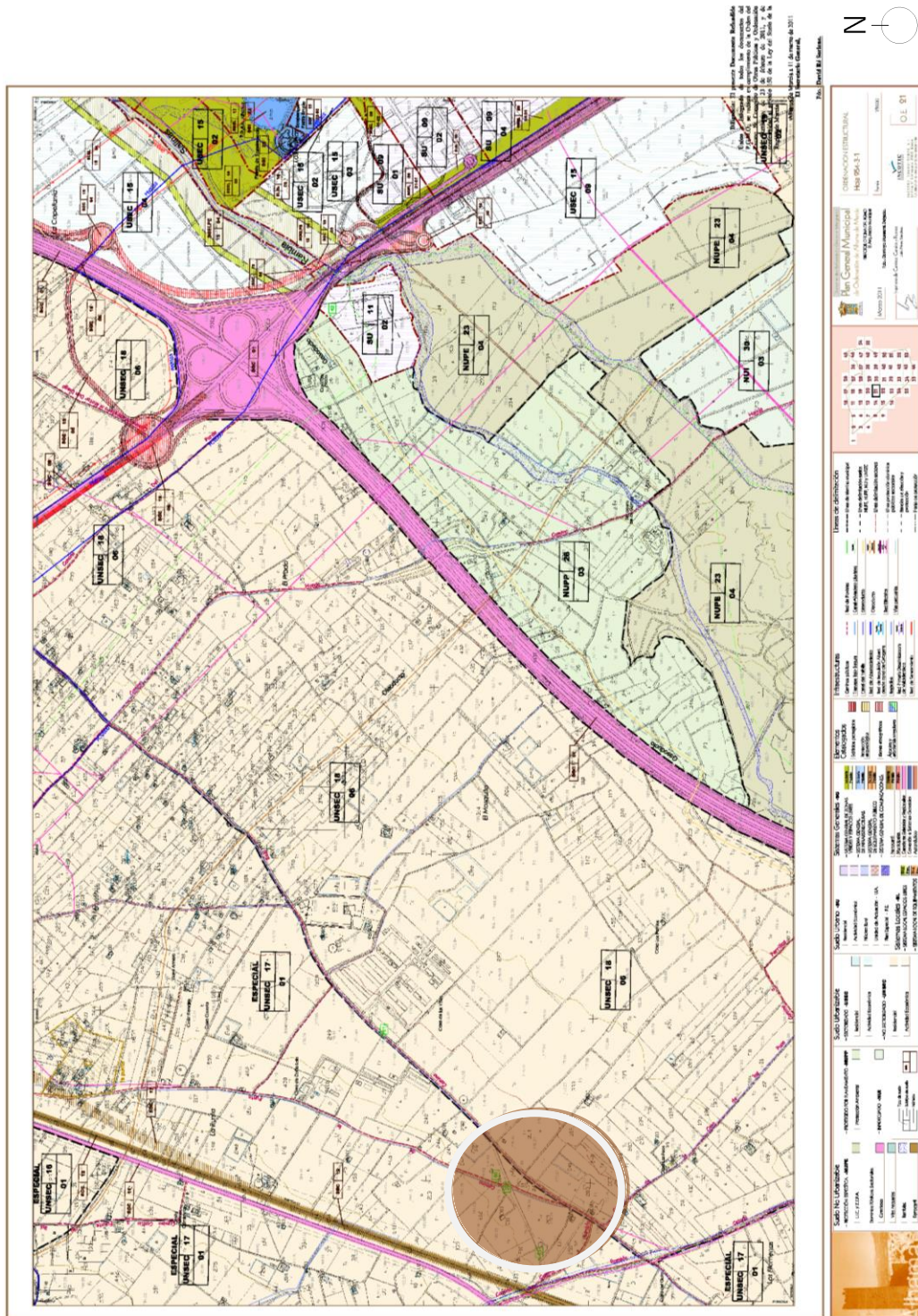


Figura 35. Hoja 21 de la documentación gráfica del PGMO de Alhama de Murcia. Fuente: Ayuntamiento de Alhama de Murcia.

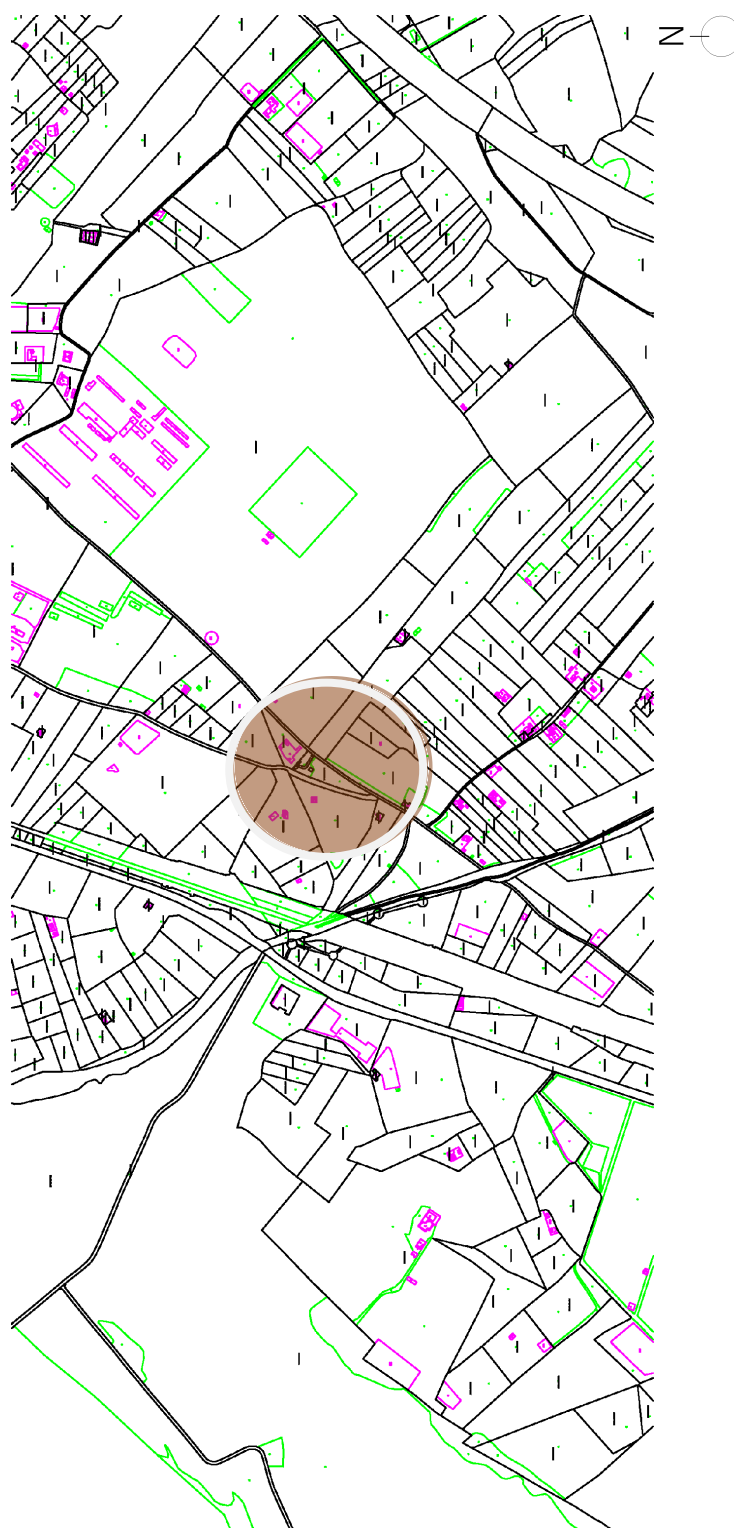


Figura 36. Descarga masiva del Catastro mediante firma digital. Fuente: DGC

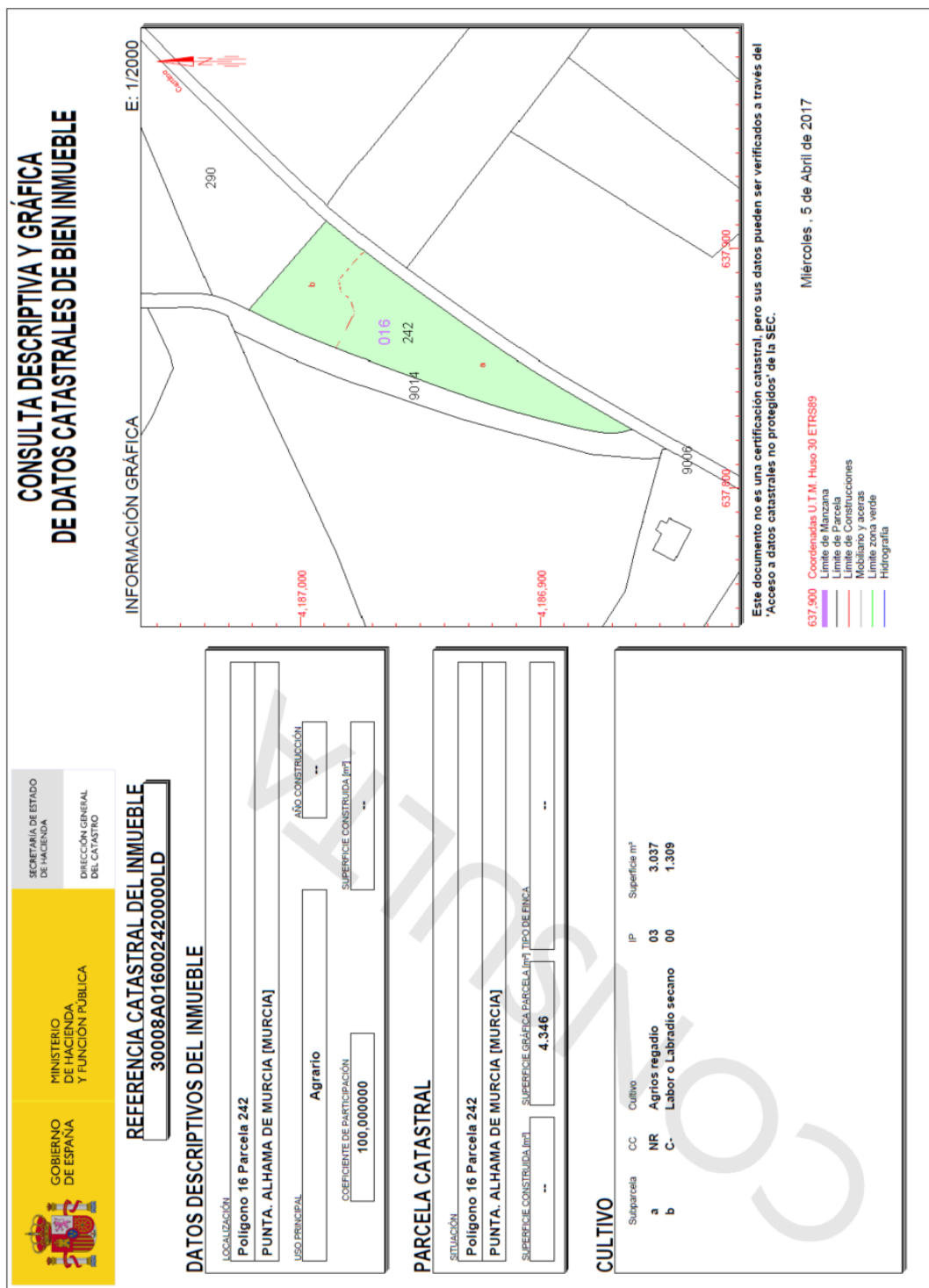


Figura 37. Consulta descriptiva y gráfica de datos catastrales donde se ubica el caso práctico objeto del estudio. Fuente: DGC

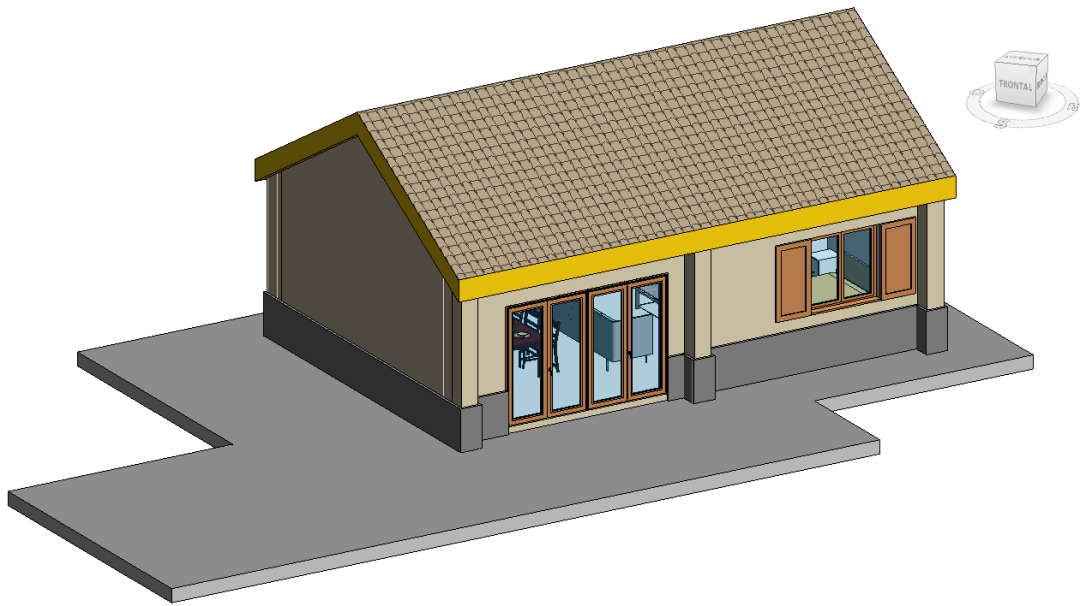


Figura 39. Vista 1. 3D de la fachada objeto de estudio. Software: Revit de Autodesk.
Elaboración propia.

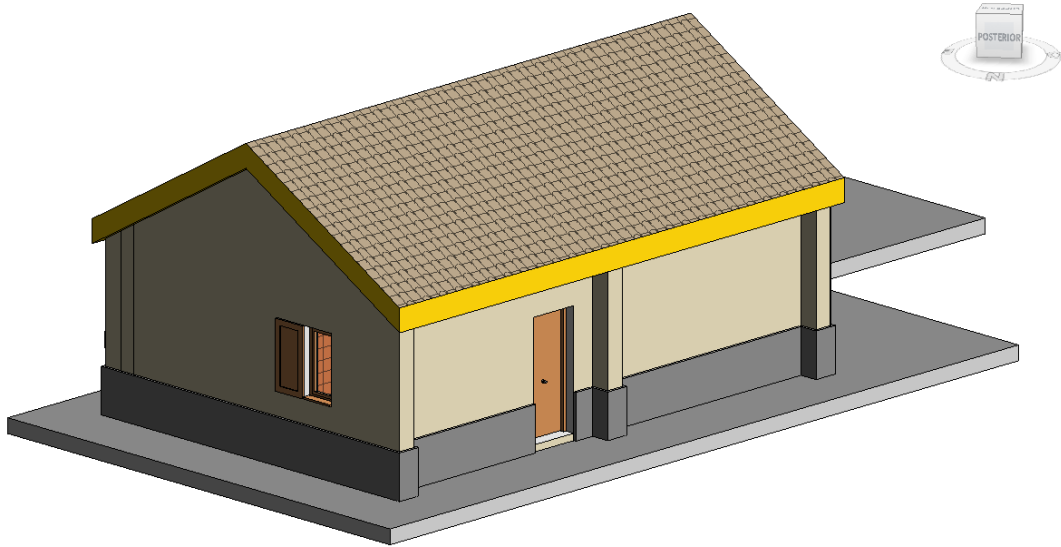


Figura 40. Vista 2. 3D de la fachada objeto de estudio. Software: Revit de Autodesk.
Elaboración propia.

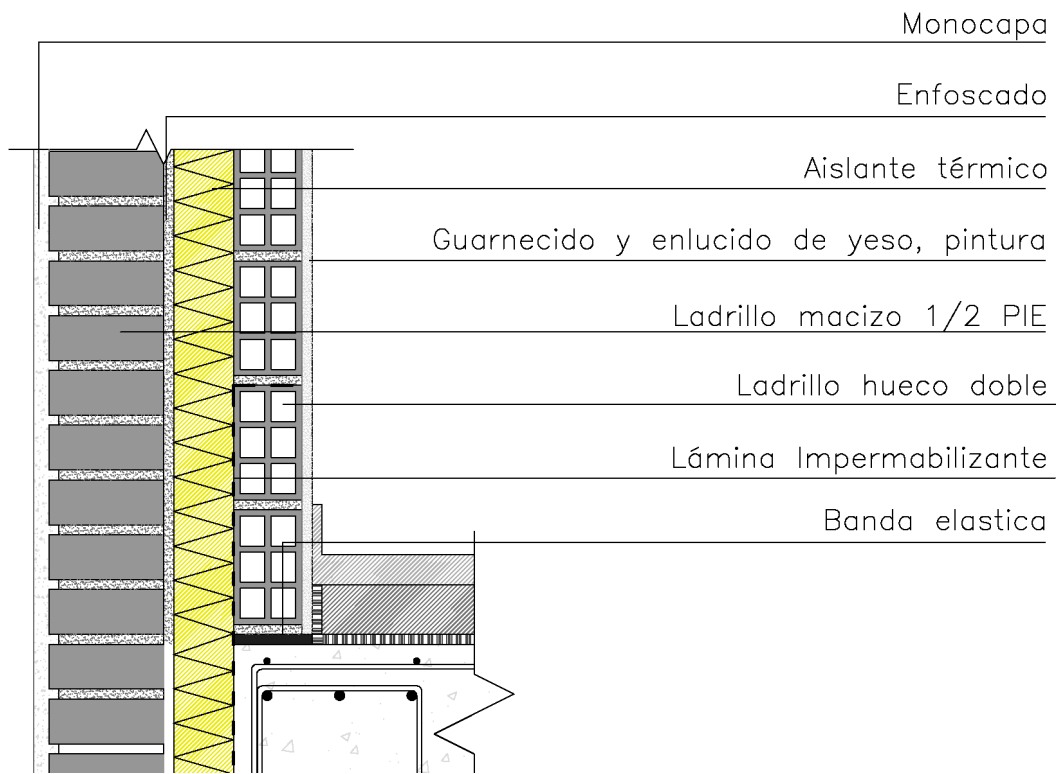


Figura 41. Esquema constructivo de la fachada. Elaboración propia.

ANEXO 2: TABLAS DE CÁLCULO

Tal y como se comentó en el capítulo IV – DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN, fue necesaria la recopilación de una serie de datos para calcular los indicadores establecidos en la presente tesis desde la fase A1 a la A4 para un m² de fachada. Principalmente, para llevarlo a cabo se empleó el método de cálculo de la UNE-EN 15978 con la ayuda del generador de precios de Cype¹⁹¹ en combinación con la comparación de datos de algunas DAP disponibles¹⁹² en el ámbito nacional e internacional -aunque la mencionada UNE-EN 15978 especifica que las DAP seleccionadas para una obra de ejecución deben encontrarse en el ámbito de actuación, preferiblemente regional-. En la Tabla 12¹⁹³ de dicho capítulo, se mostró el resultado final de los cálculos. A continuación, en este anexo se mostrarán los cálculos de cada unidad de obra.

¹⁹¹ Cype versión 2016o. Arquímedes

¹⁹² Se consultaron las siguientes bases de datos con productos que poseen DAP:

AENOR. GlobalEPD: Una Declaración ambiental verificada. <http://www.aenor.es/aenor/certificacion/mambiente/globalepd.asp#.WS1TiYVOJ6I>

ENVIRONDEC. DAP de paneles y rollos semirrígidos de lana mineral arena ISOVER. <http://www.environdec.com/en/Detail/epd759>

EPD. THE INTERNATIONAL EPD SYSTEM. http://www.environdec.com/es/EPD-Search/?search_type=advanced&query=&country=Spain&category=7764&certEpd=false&deregEpd=false§orEPD=false&ecoPlatformEPD=false&en15804EPD=false

PROGRAMA DAPCONSTRUCCIÓN. Declaración Ambiental de Productos de Construcción. http://www.csostenible.net/index.php/es/sistema_dapc/productes_dapc
OPENDAP. <http://www.opendap.es/>

GBCe. GREEN BUILDING COUNCIL ESPAÑA. Búsqueda de Declaración Ambiental de Producto. <http://www.gbce.es/es/materiales/dape>

ECOPLATFORM. <http://www.eco-platform.org/>

ITeC. Información ambiental de productos y sistemas. <https://itec.es/metabase/productos-sostenibles/14/161/0/>

¹⁹³ Tabla 12. Unidad de obra completa. KgCO₂eq por cada m² de fachada. Elaboración propia mediante recopilación de datos.

FF2010 m ² Hoja exterior de fachada, de fábrica de ladrillo cerámico para revestir.											
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 confectionado en obra, con 250 kg/m ³ de cemento, color gris, dosificación 1,6, suministrado en sacos.											
Enlace:	Descomp. /Nota Clave	Ud	Descomposición	Código LER	Residuos generados	Peso (kg)	Consumo		Etapa del ciclo de vida		
							Materiales	Peso (kg)	Fabricación A1-A2-A3	Construcción A4 Transporte	
		Emissiones CO2eq. (kg)	Emissiones CO2eq. (kg)								
	mt04lvc010d	Ud	Ladrillo cerámico hueco triple, para revestir, 24x11,5x11,5 cm, según UNE-EN 771-1.	17 01 02	Ladrillos	9,217	Material cerámico	65,835	22,219	0,216	
	mt08aaa010a	m ³	Agua.				Agua	4,000	0,004	0,000	
	mt01arg005a	t	Arena de cantera, para mortero preparado en obra.	01 04 08	Residuos de grava y rocas trituradas distintos de los mencionados en el código 01 04 07	0,12	Áridos	24,000	0,127	0,032	
GlobalEPD-003-002. Hasta 2019-09-30 https://www.aenor.es/AENOR/certificacion/mambiente/DAP/GlobalEPD_03_002_ESP.pdf	mt08cem011a	kg	Cemento Portland CEM II/B-L 32,5 R, color gris, en sacos, según UNE-EN 197-1.	17 01 01	Hormigón (hormigones, morteros y prefabricados)	0,427	Cemento	3,704	2,437	0,092	
	mq06hor010	h	Hormigonera.								
	mo021	h	Oficial 1ª construcción en trabajos de albañilería.								
	mo114	h	Peón ordinario construcción en trabajos de albañilería.								
							Emissiones materiales	97,539	24,787	0,340	
							Envases				
				15 01 01	Envases de papel y cartón	0,042			0,055	0,001	
				17 02 03	Plástico	0,055			0,57	0	
				17 02 01	Madera	0,926			0,081	0,003	
					Transporte al vertedero	10,79					
							TOTAL	97,539	25,493	0,344	

Tabla 15. Hoja exterior de fachada, de fábrica de ladrillo cerámico para revestir. Fases A1-A4. Elaboración propia mediante recopilación de datos.

NAF020 m ² Aislamiento por el interior en fachada de doble hoja de fábrica para revestir.											
Suministro y colocación de aislamiento por el interior en cerramiento de doble hoja de fábrica para revestir 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 ² K/W, conductividad térmica 0,035 W/(mK), colocado a tope para evitar puentes térmicos, fijado con pelladas de adhesivo cementoso y posterior sellado de todas las uniones entre paneles con cinta de sellado de juntas. Incluso p/p de cortes, fijaciones y limpieza.											
Enlace	Descomp. /Nota Clave	Ud	Descomposición	Código LER	Residuos generados	Peso (kg)	Consumo		Etapa del ciclo de vida		
							Materiales	Peso (kg)	Fabricación A1-A2-A3	Construcción A4 Transporte	
		Emissiones CO2eq. (kg)	Emissiones CO2eq. (kg)								
	mt16aaa040	m ²	Repercusión de adhesivo cementoso para fijación, mediante pelladas, de paneles aislantes en paramentos verticales.								
GlobalEPD-IntEPD-5-P-00759. Hasta 2018.11.09 http://grvphn.environdec.com/data/files/6/11567/epd759es%20Arena.pdf	mt16ivi030ae	m ²	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 ² K/W, conductividad térmica 0,035 W/(mK).	17 06 04	Materiales de aislamiento distintos de los especificados en los códigos 17 06 01 y 17 06 03	0,121	Lana mineral	2,520	3,230	0,143	
	mt16aaa030	m ²	Cinta autoadhesiva para sellado de juntas.	17 02 03	Plástico.	0,25	Plástico	0,025	0,259	0,000	
	mo054	h	Oficial 1ª montador de aislamientos.								
	mo101	h	Ayudante montador de aislamientos.								
							Emissiones materiales	2,545	3,489	0,143	
							Envases				
				17 02 03	Plástico	0,025			0,259	0	
					Transporte al vertedero	0,396					
							TOTAL	2,545	3,748	0,143	

Tabla 16. Aislamiento por el interior en fachada de doble hoja de fábrica para revestir. Elaboración propia mediante recopilación de datos.

FFR010 m ² Hoja interior de fachada, de fábrica de ladrillo cerámico para revestir.												
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.												
Enlace	Descomp. /Nota Clave	Ud	Descomposición	Código LER	Residuos generados	Peso (kg)	Consumo		Etapa del ciclo de vida			
							Material	Peso (kg)	Fabricación A1-A2-A3	Construcción A4 Transporte	Emissiones CO2eq. (kg)	Emissiones CO2eq. (kg)
GlobalEPD 003-002. Hasta 2019-09-30 https://www.aenor.es/AENOR/certificacion/mambiente/DA P/GlobalEPD_03_002_ESP.pdf	mt04lvc010b	Ud	Ladrillo cerámico hueco doble, para revestir, 24x11,5x7 cm, según UNE-EN 771-1.	17 01 02	Ladrillos	8,683	Material cerámico	62,024		20,933	0,204	
	mt08aaa010a	m ³	Agua.				Agua	4,000		0,004	0,000	
	mt01arg005a	t	Arena de cantera, para mortero preparado en obra.	01 04 08	Residuos de grava y rocas trituradas distintos de los mencionados en el código 01 04 07	0,07	Áridos	14,000		0,074	0,018	
	mt08cem011a	kg	Cemento Portland CEM II/B-L 32,5 R, color gris, en sacos, según UNE-EN 197-1.	17 01 01	Hormigón (hormigones, morteros y prefabricados)	0,371	Cemento	2,117		1,393	0,053	
	mq06hor010	h	Hormigonera.									
	mo021	h	Oficial 1ª construcción en trabajos de albañilería.									
	mo114	h	Peón ordinario construcción en trabajos de albañilería.									
	Emissiones materiales								82,141		22,404	0,275
	Envases											
					15 01 01	Envases de papel y cartón	0,025				0,033	0,001
				17 02 03	Plástico	0,051				0,528	0	
				17 02 01	Madera	0,922				0,08	0,003	
					Transporte al vertedero	10,12						
TOTAL								82,141		23,045	0,279	

Tabla 17. Hoja interior de fachada, de fábrica de ladrillo cerámico para revestir.

Elaboración propia mediante recopilación de datos.

RPE011 m ² Enfoscado de cemento en el trasdós de la hoja exterior de fachada											
Enfoscado de cemento, a buena vista, aplicado sobre un paramento vertical interior, en el trasdós de la hoja exterior de fachada, hasta 3 m de altura, acabado superficial rugoso, con mortero de cemento M-5.											
Enlace	Descomp. /Nota Clave	Ud	Descomposición	Código LER	Residuos generados	Peso (kg)	Consumo		Etapa del ciclo de vida		
							Material	Peso (kg)	Fabricación A1-A2-A3	Construcción A4 Transporte	Emissiones CO2eq. (kg)
GlobalEPD 003-002. Hasta 2019-09-30 https://www.aenor.es/AENOR/certificacion/mambiente/DA P/GlobalEPD_03_002_ESP.pdf	mt09mor010c	m ³	Mortero de cemento CEM II/B-P 32,5 N tipo M-5, confeccionado en obra con 250 kg/m ³ de cemento y una proporción en volumen 1/6.	17 01 01	Hormigón (hormigones, morteros y prefabricados).	0,228	Mortero	19,000		2,090	0,062
	mo020	h	Oficial 1ª construcción.								
	mo113	h	Peón ordinario construcción.								
	Emissiones materiales								19,000		2,090
Envases											
					Transporte al vertedero	0,228					
TOTAL								19,000		2,090	0,062

Tabla 18. Enfoscado de cemento en el trasdós de la hoja exterior de fachada. Elaboración propia mediante recopilación de datos.

RQ0010		m ² Revestimiento de mortero monocapa.								
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.										
Enlace	Descomp. /Nota Clave	Ud	Descomposición	Código LER	Residuos generados	Peso (kg)	Consumo		Etapa del ciclo de vida	
							Material	Peso (kg)	Fabricación A1-A2-A3	Construcción A4 Transporte
									Emissiones CO2eq. (kg)	Emissiones CO2eq. (kg)
	mt28mon010ac	kg	Mortero monocapa para la impermeabilización y decoración de fachadas, acabado con árido proyectado, color amarillo, compuesto de cementos, aditivos, resinas sintéticas y cargas minerales, tipo DC CSIII W2, según UNE-EN 998-1.	17 01 01	Hormigón (hormigones, morteros y prefabricados).	0,748	Mortero	17,000	1,870	0,424
	mt28mon040a	m ²	Malla de fibra de vidrio, de 10x10 mm de luz, antiálcalis, de 200 a 250 g/m ² de masa superficial y 750 a 900 micras de espesor, con 25 kp/cm ² de resistencia a tracción, para armar morteros monocapa.				Fibra de vidrio	0,047	0,111	0,001
	mt28mon030	m	Junquillo de PVC.	17 02 03	Plástico.	0,003				
	mt28mon050	m	Perfil de PVC rígido para formación de aristas en revestimientos de mortero monocapa.							
	mt28mon020	kg	Árido de mármol, procedente de machaqueo, para proyectar sobre mortero monocapa, granulometría comprendida entre 5 y 9 mm.	01 04 08	Residuos de grava y rocas trituradas distintos de los mencionados en el código 01 04 07.	0,135	Áridos	15,000	0,080	0,020
	mo039	h	Oficial 1ª revocador.							
	mo111	h	Peón especializado revocador.							
Emisiones materiales								32,047	2,061	0,445
Envases										
				17 02 03	Plástico.	0,08			0,829	0
					Transporte al vertedero	0,966				
TOTAL								32,047	2,890	0,445

Tabla 19. Revestimiento de mortero monocapa. Elaboración propia mediante recopilación de datos.

ANEXO 3: LÍNEAS PREVIAS DE INVESTIGACIÓN PREVIAS

En este anexo se explicarán las líneas de investigación en las que participó el redactor de la presente tesis dando origen a las ideas primigenias de desarrollo de la presente tesis, y donde en la mayoría de éstas se pueden observar el claro objetivo de indagar no sólo en proyectos de economía circular, sino también en la fusión entre tecnologías BIM con otras materias, principalmente medio ambiente, pero creando, a su vez, nuevas vías de investigación relacionadas, como por ejemplo:

- aplicabilidad de técnicas de escaneo 3D con BIM, tanto en rehabilitaciones como en conservación del patrimonio;
- BIM aplicado a rutas de escape y resiliencia;

Proyecto BELIEFF

Título: Enfoque del ciclo de vida: Gestión eficaz de los recursos para reducir la huella de materiales y energía en el sector de la construcción¹⁹⁴.

Convocatoria: Acciones de Coordinación y Apoyo – Coordinando Acciones (CSA-CA)¹⁹⁵. FP7-REGIONS-2012-2013-1. Desarrollo de tecnologías y servicios relevantes para la implementación de una 'Europa que utilice eficazmente los recursos'

Resumen y vinculación con la tesis:

El desarrollo urbano sostenible y el crecimiento de las ciudades, desde la perspectiva del consumo de recursos, es un desafío social y económico importante, no sólo en Europa, sino también en todo el mundo.

¹⁹⁴ Life cycle approach: Efficient resources management to reduce material and energy footprint in building sector.

¹⁹⁵ Coordination and Support Actions - Coordinating Actions (CSA-CA). FP7-REGIONS-2012-2013-1. Development of technologies and services relevant for the implementation of a 'resource efficient Europe'.

El sector de la construcción es un área que mueve una enorme cantidad de recursos. La reducción de los consumos del sector tendría un impacto importante en el consumo global de toda la sociedad. Según la Agencia Europea del Medio Ambiente, la UE-15¹⁹⁶ El consumo de material per cápita es de 15-16 toneladas/año. Los materiales de construcción se fijan en primer lugar por los combustibles fósiles y la biomasa. Asimismo, la construcción y la demolición son la principal causa de generación de residuos en la UE.

El sector de la construcción, tal como se define en este proyecto, incluye la construcción y mantenimiento de edificios y otras etapas en la perspectiva de todo el ciclo de vida (extracción de materias primas, demolición, tratamiento de residuos, reutilización, reciclado, etc.). Las diversas industrias del sector tienen un nivel de desarrollo tecnológico y de eficiencia que no es proporcional a su peso en la economía y en el consumo global de recursos.

El edificio ha alcanzado un nivel de desarrollo en términos de uso eficiente de recursos, sostenibilidad, reutilización y reciclaje, que es sustancialmente más bajo que en muchas otras industrias. Esto se debe a varios factores entre los que se pueden destacar: los altos márgenes de beneficio del edificio en tiempos de crecimiento como los últimos años (o cuando hay un boom inmobiliario) y el alto número de intervinientes en una cadena de valor fragmentada.

El proyecto BELIEFF se centra en los materiales de construcción, sistemas constructivos y elementos derivados de estos, su influencia en el consumo de otros recursos (principalmente energía) durante su vida útil y la gestión eficiente del final del ciclo de vida de los edificios. Este proyecto no abarcaba otros aspectos tales como instalaciones y suministros (electricidad, gas, agua, etc.) o la gestión eficiente de estos sistemas.

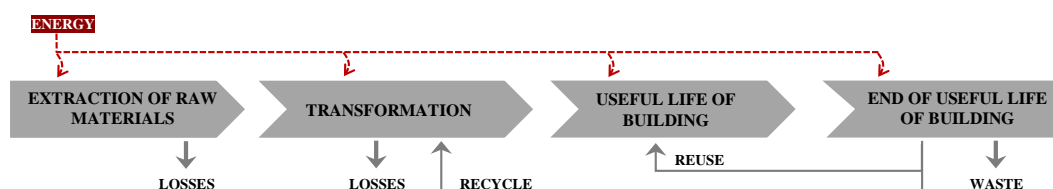


Figura 42. Esquema del ciclo de vida de los productos de construcción. Realizado por el autor para el proyecto BELIEFF.

¹⁹⁶ Esta línea de investigación fue propuesta en 2011.

El valor añadido del proyecto BELIEFF que se desarrollará en un marco de cooperación a nivel europeo se justifica por el hecho de que los actuales desarrollos urbanos y urbanísticos muestran numerosas similitudes en todo el continente y se enfrentan a necesidades y desafíos similares.

La idea central del proyecto BELIEFF era la posibilidad de reducir la "huella material y energética" de la industria de la construcción promoviendo una filosofía basada en el enfoque de "ciclo de vida" para la investigación, innovación, diseño y desarrollo de productos, etc. El Proyecto BELIEFF se basaba en el supuesto de que una mayor interacción, comunicación y cooperación en la cadena de valor enfocada en una visión común del ciclo de vida es la mejor manera de llegar a soluciones globales que proporcionen una verdadera "suma positiva" en todas las etapas del proceso de construcción.

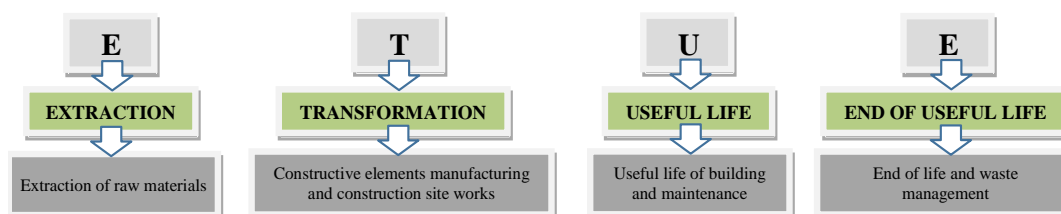


Figura 43. Esquema ETUE de análisis del ciclo de vida. Realizado por el autor para el proyecto BELIEFF.

Proyecto SMARTe

Título: Medidas sostenibles y tecnologías de renovación avanzadas para el patrimonio histórico¹⁹⁷.

Convocatoria: Horizon2020. EE3 – 2014, Estrategias energéticas y soluciones para la renovación de edificios históricos. Acciones de Investigación e Innovación¹⁹⁸.

Resumen y vinculación con la tesis:

¹⁹⁷ Sustainable Measures and Advanced Renovation Technologies for historic heritage.

¹⁹⁸ Horizon2020. EE3 – 2014, Energy strategies and solutions for deep renovation of historic buildings. Research and Innovation actions.

El Proyecto SMARTe se basa en numerosos logros de proyectos previos en la convocatoria FP7 y también en proyectos financiados a nivel nacional (Knoholem, DAREED, 3ENCULT, KEHL, etc.) en los que se ha introducido una combinación de conocimientos de gestión lógica con sistemas de gestión de edificios (BMS, del inglés Building Management Systems) y perfiles energéticos y térmicos de los edificios, y análisis profundo de tecnologías de renovación. Particularidades de la gestión de edificios como por ejemplo, cómo extraer los mejores datos semánticos de los ficheros CAD de los edificios encarando los problemas relacionados con un elevado número de formatos utilizados (por ejemplo, la herramienta OntoCad, desarrollada en el marco del proyecto Knoholem con posibilidades de importar todas las versiones de formatos de AutoCad e IFC) y cómo desarrollar y analizar los perfiles energéticos de edificios y combinarlos, son desafíos a los que se enfrentaba este proyecto. Por otro lado, las particularidades de los edificios históricos, cómo se deben tratar para preservar el patrimonio y cómo se pueden alcanzar los objetivos de emisiones de CO₂, es un campo de investigación que también es abarcado.

En resumen, el proyecto SMARTe se basaba, por un lado, en las lecciones aprendidas por los socios del proyecto en este campo e introducía por primera vez la idea de combinar un sistema de monitoreo con una herramienta de apoyo a las decisiones relacionadas con la eficiencia energética, y por otro, en las Mejores Tecnologías Disponibles (MTD) en el mercado para su implementación a costes competitivos y así como periodo de retorno de la inversión.

Más concretamente, en relación a la tesis, cabe destacar cómo en este proyecto se proponía la traducción de los datos facilitados por las MTD (laser scanner 3D, instrumental para la medición de la conductividad térmica, etc.) a formatos BIM para el estudio de la eficiencia energética de los edificios históricos.

Proyecto CLOUD-HERITAGE

Título: Medidas sostenibles y tecnologías de renovación avanzadas para el patrimonio histórico¹⁹⁹.

¹⁹⁹ Sustainable Measures and Advanced Renovation Technologies for historic heritage.

Convocatoria: Horizon2020. EE3 – 2014, Estrategias energéticas y soluciones para la renovación de edificios históricos. Acciones de Investigación e Innovación²⁰⁰.

Resumen y vinculación con la tesis:

El proyecto CLOUD-HERITAGE (C-HERITAGE) tiene como objetivo desarrollar y validar una innovadora plataforma en nube integrando los últimos avances multidisciplinares de captura 3D, procesamiento, modelado, visualización e interacción entre la información y el usuario. Este objetivo general se logra a través de la mejora de los DMs, para que sean más completos, eficaces, compartibles y fáciles de usar para el público en general, así como para todos los interesados en la documentación, conservación, gestión, valorización, etc.

La plataforma propuesta proporcionará:

- Mejoras en las tecnologías de captura 3D y metodologías de procesado para el modelado 3D avanzado.
- Una base de conocimiento holístico abierto para aplicaciones de patrimonio cultural: permitir a los usuarios y expertos de dominios integrar contenidos digitales y anotaciones semánticas, de acuerdo con CIDOC-CRM.
- Un conjunto de herramientas colaborativas para la reconstrucción conjunta, la creación de conocimiento y la visualización inmersiva.

Proyecto TransCITY

Título: Plataforma de Seguridad Urbana para Ciudades Transparentes²⁰¹.

Convocatoria: H2020, FCT-10-2014. Tema 1 de seguridad urbana: Soluciones innovadoras para contrarrestar los desafíos de seguridad relacionados con el gran entorno urbano²⁰².

²⁰⁰ Horizon2020. EE3 – 2014, Energy strategies and solutions for deep renovation of historic buildings. Research and Innovation actions.

²⁰¹ Urban Security Platform for Transparent Cities.

Resumen y vinculación con la tesis:

El objetivo principal de la propuesta es facilitar la participación de los ciudadanos en la seguridad de los grandes espacios urbanos, desde indicadores (comportamientos sospechosos, pruebas de delitos, etc.) hasta emergencias o delitos (accidentes, terrorismo, robos, secuestros, manifestaciones de alto riesgo, etc.). Muchas soluciones tecnológicas están disponibles, o están en desarrollo, por lo que facilitará el intercambio de información.

Para lograr este objetivo, el proyecto desarrollará la Plataforma TransCITY, donde los ciudadanos y los intervinientes podrán aportar información en tiempo real que afecte a la seguridad de los ciudadanos desde los barrios hasta las áreas regionales. Esta información se analiza, filtra y utiliza para generar datos útiles, tales como rutas para evitar peligros o facilitar el trabajo de la policía, servicios de emergencia y rescate y usuarios finales gracias a las últimas tecnologías.

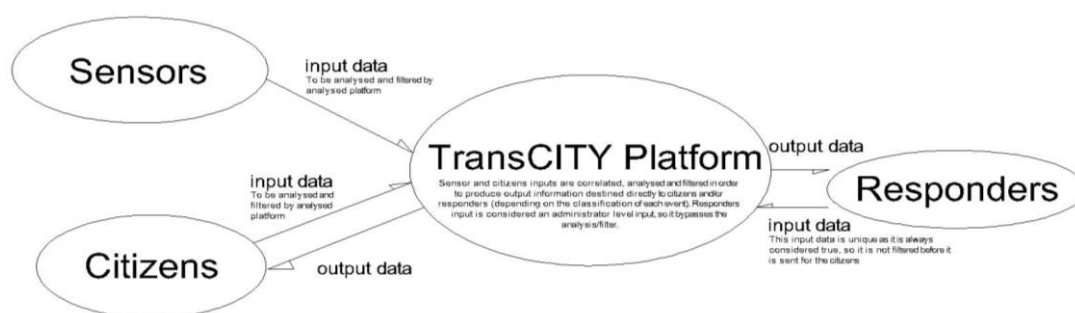


Figura 44. Esquema de comunicación (TransCITY communication). Realizado por el autor para el proyecto TransCITY.

El aumento de la información mediada sobre incidentes no hará que la gente se sienta más segura, sino que también podría aumentar la conciencia del alto número de amenazas o incidentes, lo que tiene como resultado un aumento del miedo. Las advertencias deben dirigirse únicamente a aquellas personas para las que son útiles, por ejemplo, informando a la gente de una determinada zona utilizando SIG. Las personas que tienen la intención de viajar están interesadas en rutas seguras. El mapeo de los incidentes hace posible incluir información sobre diversas aplicaciones de modo que, por ejemplo, se puedan elegir rutas seguras.

²⁰² Urban security topic 1: Innovative solutions to counter security challenges connected with large urban environment.

Mediante la integración de advertencias meteorológicas en las previsiones meteorológicas regulares, la información de emergencia se convierte en parte de la vida normal en lugar de necesitar atención independiente.

ANEXO 4: PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN CONCEDIDOS RELACIONADOS CON LA TESIS

Proyecto STONEPLACING

Título: Mejora de la cualificación y empleabilidad de los trabajadores de piedra natural implementando un plan de estudios común a nivel europeo con el apoyo de herramientas basadas en las TIC's²⁰³.

Web del proyecto: www.stoneplacing.com

Convocatoria: Leonardo Da Vinci. Development of Innovation, 2012.

Resumen y vinculación con la tesis:

Stoneplacing es un proyecto multilateral, financiado por una subvención del Programa de Lifelong Learning de la Unión Europea, Leonardo Desarrollo de la Innovación, e iniciativa del año 2012.

El objetivo general del proyecto era incrementar las habilidades de los trabajadores en el campo de la colocación de la piedra, con el fin de aumentar la calidad del trabajo final, la permanencia del trabajo y la sostenibilidad ambiental, utilizando métodos sin materiales no reciclados y/o no ecológicos.

Proyecto OERCO2

Título: Centro de Recursos Online para el Estudio Innovador del Ciclo De Vida de los Materiales de Construcción.

Web del proyecto: www.oerco2.eu

Convocatoria: Erasmus+. KA203. Ámbito: Universidad.

Resumen y vinculación con la tesis:

La conciencia y la cultura medioambiental de los ciudadanos está creciendo al mismo tiempo que la normativa se hace más estricta. El sector de la

²⁰³ Fragmento de la memoria descriptiva del proyecto STONEPLACING en la convocatoria de 2012 Learning Life Program, Leonardo Da Vinci.

construcción contribuye con un 35-40% del total de las emisiones de CO₂, por lo que es el momento de implantar el cálculo de la huella de carbono en el sector de los edificios. El cálculo de la HC permite valorar el impacto ambiental en cuanto a emisiones de gases de efecto invernadero de forma completa, de la cuna a la tumba.

El primer paso para poder gestionar y reducir las emisiones de CO₂ es calcularlas, para así conocer la importancia de este aspecto ambiental y poner medidas para mejorarlo. Para tener idea del impacto y trabajar sobre él es importante medir las emisiones desde el diseño y concepción del edificio, y basándose en estas medidas, conocer las posibilidades de reducir la huella, de hacer un edificio más sostenible y bajo en carbono.

Es imprescindible tener conciencia de las emisiones desde las primeras fases del proyecto para tomar acciones tempranas y elegir entre distintos materiales, transportes, métodos constructivos, utilización durante la vida útil del edificio, sistemas de deconstrucción, reutilización, etc., y ver como contribuyen a aumentar o disminuir las emisiones del edificio.

Actualmente, existen numerosos estudios sobre el cálculo de la huella de carbono de los materiales con sus DAP y estudios de EE realizados durante la vida útil del edificio, pero no durante la construcción y deconstrucción del mismo.

Con este proyecto se pretende crear un recurso educativo de libre acceso (REA u Open Educational Resources -OER-) en la que se unifique el cálculo de todas las emisiones de CO₂ en cada una de las fases del edificio para, así, tener una idea general de la huella de carbono del edificio desde la concepción del mismo y decidir sobre cada una de las variables de la edificación.²⁰⁴

Proyecto EConstruction.

²⁰⁴ Fragmento de la memoria descriptiva del proyecto OERCO₂, presentada en la convocatoria KA203 de Erasmus+, Strategic Partnership, en 2016. Elaborada por el Dr. Jaime Solís Guzmán junto con su grupo de investigación de la Universidad de Sevilla y el autor de esta tesis.

Título: Desarrollo de una metodología para la cuantificación de las emisiones de CO₂ en el ámbito de la Construcción Sostenible.

Convocatoria: Se trata de una línea de investigación abierta en el CTM -lugar de trabajo del autor de la presente tesis- sustentada mediante financiación del convenio actual con el Instituto de Fomento de la Región de Murcia.

Resumen y vinculación con la tesis:

El presente proyecto tiene como principal objetivo el desarrollo de una nueva metodología para la cuantificación de las emisiones de CO₂ equivalente, tanto para obra nueva como para rehabilitación. Esta nueva metodología se aplicará en el diseño y ejecución de nuevas construcciones, usando y readaptando a las exigencias actuales los métodos de cálculo existentes, así como los estándares de calidad, en línea con la normativa medioambiental la cual se encuentra en constante evolución.

Esta metodología permitirá reducir las emisiones de CO₂ mediante el control de los materiales desde un punto de vista medioambiental en todo su ciclo de vida. Paralelamente, se desarrollarán métodos de cálculo para la estimación de recursos materiales y así se podrán establecer medidas de eficiencia y ahorro²⁰⁵.

²⁰⁵ Fragmento de la memoria descriptiva del proyecto EConstruction elaborada por el autor de esta tesis y presentada en el marco del convenio INFO de colaboración en 2017.

ANEXO 5: LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN ABIERTAS

En este anexo serán mostradas las líneas abiertas de investigación que ha generado la presente tesis, iniciado otras líneas de investigación más acotadas debido a las convocatorias a la que fueron presentadas, aunque todas estas vinculadas a BIM y enfocadas a:

- métodos constructivos sostenibles y su integración en los planes de estudio de FP y universitario a través de BIM;
- herramientas electrónicas de cálculo de indicadores de impacto ambiental vinculadas a sistemas BIM.

Proyecto BIMCLAY

Título: Mejora de la tecnificación y la cualificación de ACV de los trabajadores del sector de la cerámica con el apoyo de aplicaciones BIM²⁰⁶.

Convocatoria: Erasmus+. KA202. Ámbito: Formación profesional.

Resumen y vinculación con la tesis:

El Proyecto BIMclay es, por su naturaleza, la producción y desarrollo de materiales multimedia basados en BIM y teniendo en cuenta los retos relacionados con el ACV de los productos cerámicos, para ser utilizados como material de formación tanto para estudiantes de FP como para profesionales del sector, con el fin de satisfacer una serie de objetivos principales.

La motivación del proyecto BIMclay es la consideración de que los productos de arcilla son uno de los materiales de construcción más sostenibles y, a pesar de los cambios en la tecnología y el diseño con los años, es el principal material de construcción para diferentes obras: fachadas de edificios, pavimentos exteriores e interiores, paredes interiores, etc. Pero el valor de los productos de arcilla depende totalmente de la calidad de la fabricación y de la colocación. En relación a la fabricación, durante las últimas décadas, la mayoría de las empresas

²⁰⁶ Improve Technification and LCA Qualification of Workers in Ceramic Sector with the Support of Bim Applications.

europas de esta industria han aumentado mucho la calidad de sus productos. Sin embargo, en cuanto a la colocación, el desarrollo no ha sido el mismo, y es mucho menor que lo requerido por el sector. Además, si en la fabricación de los productos de arcilla los accionistas europeos han creado normas claras, para colocación de productos de arcilla no han hecho lo mismo, excepto para algunos productos específicos, como fachadas de edificios, los métodos tradicionales, si son aptos o no.

Es necesario definir y compilar los métodos más apropiados para la colocación de productos de arcilla utilizando las últimas tecnologías BIM, las cuales aportan altos niveles de eficacia, partiendo de los métodos tradicionales locales, pero comparándolas, seleccionando las mejores para cualquier producto específico de arcilla, y su incorporación en los programas de las organizaciones de formación del sector, tanto para la formación inicial como para la continua.

Aprovechando esta situación de alza de la herramienta BIM en países con alcance de nuestro consorcio, y contando además con un socio de un país líder y precursor de esta herramienta, se considera que se crea un marco perfecto para la realización de este proyecto, con el fin de hacer la educación más plausible en los procesos de colocación y ejecución de productos de arcilla.

El Pensamiento del Ciclo de Vida implica una forma de análisis global que no sólo incluye los parámetros tradicionales (fabricación y producción), pero también considerando todos los procesos que tienen lugar a lo largo de su ciclo de vida (de la cuna a la tumba). De este modo, se evitan los impactos ocultos en la superficie y la transferencia de cargas; Ayudar a tomar decisiones e identificar opciones.

Instituciones como el Programa de Medioambiente de Naciones Unidas (a través de la Iniciativa del Ciclo de Vida del UNEP-SETAC) o la Comisión Europea (a través de la Plataforma Europea de ACV) promueven su aplicación para la mejora ambiental de los productos y procesos en todos los sectores, incluyendo la construcción.

Proyecto BIMUSE/EcoBIM

Título: Fomentar la implementación de los desafíos Ecológicos y BIM en el Sistema de formación educativo, organismos públicos y empresas²⁰⁷.

Convocatoria: E+ KA2: Cooperación para la innovación y el intercambio de buenas prácticas. 2017. Alianzas de conocimiento²⁰⁸. Presentado también en el año 2016 como BIMUSE.

Resumen y vinculación con la tesis:

El Proyecto EcoBIM tiene como principal objetivo la realización de un Currículo Común Europeo de BIM y la implementación de los desafíos ecológicos centrados en el desarrollo de las capacidades de las Universidades y las entidades de Formación Profesional, así como su integración en organismos públicos y empresas mediante cursos de formación continua (formación profesional y de adultos) con el fin de fomentar la implementación de aplicaciones BIM, así como recursos multimedia que también se producirán para facilitar esta implementación.

El uso de Building Information Modelling (BIM) mejora la fiabilidad de la gestión de la información y, por lo tanto, la productividad, la calidad de la construcción y la ingeniería estructural a través del ciclo de vida del edificio. En la mayoría de los proyectos de construcción, los modelos de información del edificio ya se han convertido en una herramienta estándar de ingeniería y de gestión de la información. Además, el Parlamento Europeo votó en enero de 2014 para modernizar las normas europeas de contratación pública recomendando el uso de herramientas electrónicas como BIM, para los contratos de obras públicas y concursos de diseño.

Sin embargo, las nuevas profesiones y habilidades relacionadas con el modelado de información de edificios, como BIM Manager y BIM Modelling, no se han insertado plenamente en el Marco Europeo de Cualificaciones (del inglés, EQF European Qualifications Framework) y la esperada revolución tecnológica

²⁰⁷ Fostering the implementation of Ecological and BIM challenges in educational training system, public bodies and enterprises.

²⁰⁸ Cooperation for innovation and the exchange of good practices. 2017. Knowledge Alliances.

en las contrataciones públicas y empresas de construcción todavía no ha llegado a la mayoría de países europeos.

Por otro lado, hace apenas 10 años, la eficiencia energética y de materiales y el concepto de “sostenibilidad” no eran familiares para muchos profesionales, los programas de cálculo no abundaban, y sólo eran conocidos a nivel académico. Y ahora, Europa está en el polo opuesto, donde la EPBD (Energy Performance of Buildings Directive²⁰⁹) establece una revolución para los nZEBs (Nearly Zero-Energy Buildings²¹⁰) en 2020. Los estudiantes y profesionales necesitan adaptarse a esta revolución, por lo que la combinación de nuevas tecnologías y las estrategias de reducción de las emisiones de CO₂ será crucial para crear una Europa limpia y eficiente.

Proyecto FootBIM

Título: Aplicación de Aprendizaje BIM para Fomentar el Conocimiento del Cálculo de la Huella de Carbono y la Reciclabilidad durante el Ciclo de Vida de la Construcción/Mantenimiento/Deconstrucción de los Edificios²¹¹.

Convocatoria: Erasmus+. KA203. Ámbito: Universidad.

Resumen y vinculación con la tesis:

Hoy en día, el Building Information Modelling BIM está implementado en unos países limitados como software para los profesionales, sin embargo, tiende a ser en pocos años la principal herramienta del sector en los campos de la AIC en todo el mundo. Por otro lado, la mayoría de estudios sobre la estimación de la huella se centran en la eficiencia energética a lo largo de la vida útil, pero no sobre las emisiones de CO₂ durante la fabricación, transporte e instalación de los diferentes materiales, así como la facilidad de deconstruir, reciclar o reutilizar los materiales de construcción. En conclusión, lo que se intenta es unificar BIM y el

²⁰⁹ Directiva de Eficiencia Energética de los Edificios.

²¹⁰ Edificios de consumo de Energía casi nulo.

²¹¹ BIM-Learning Application To Foster Knowledge Of Footprint Carbon Calculation And Recyclability During Life Cycle Of Construction/Maintenance/Deconstruction Of Buildings.

cálculo de las emisiones de CO₂ y la reciclabilidad de los edificios durante el proceso de construcción/mantenimiento/deconstrucción para producir una herramienta de aprendizaje útil donde los estudiantes y profesionales de la AIC serán capaces de concienciarse sobre ello tan pronto como sea posible e implementarlo en su trabajo diario.

Para contribuir a abordar la situación descrita anteriormente, los objetivos principales de FootBIM son:

- Incrementar la conciencia sobre el cambio climático y la eficiencia de las materias primas en el sector de la construcción.
- Enseñar a calcular las emisiones de CO₂ y el ciclo de vida de los materiales de construcción (economía circular en el sector de la construcción).
- Conectar de forma colaborativa proyectos ERASMUS+ anteriores para crear sinergias entre los dos principales retos del proyecto: las tecnologías BIM y la eficiencia de las materias primas.
- Involucrar a profesionales y estudiantes en nuevas tecnologías como las aplicaciones BIM.
- Proporcionar información sobre cada unidad de obra con indicadores ambientales y ofrecer esta información en elementos digitales en formato común BIM.
- Acceso gratuito a un software de aprendizaje de BIM para estimar las emisiones de CO₂ en el proyecto, reciclabilidad y otros indicadores medioambientales para procesos de construcción, mantenimiento y deconstrucción.

ANEXO 6: TRANSFERENCIA DE LOS RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

En este anexo se mostrarán las líneas abiertas de investigación que ha generado la presente tesis, donde destaca el proyecto H2020 llamado UrbanBIM, el cual tratará de llevar a la práctica el complejo modelo teórico expuesto a través de la implantación en la mencionada triple hélice, abarcando desde la definición medioambiental de los productos de construcción en BIM, hasta la interpretación de ésta información con herramientas Big Data gracias a la interoperabilidad entre BIM y SIG.

La interoperabilidad entre BIM y SIG se ha convertido en una prioridad en los últimos años coincidiendo con el periodo de realización de esta tesis, donde se prevé que supondrá una gran revolución para las administraciones públicas.

Proyecto UrbanBIM

Título: Garantizando la integración de BIM en la Triple Hélice a través de la interoperabilidad y los retos medioambientales mediante un enfoque urbano²¹².

Convocatoria: H2020- EE-14. Construction Skills.

Resumen y vinculación con la tesis:

El proyecto UrbanBIM desarrollará la interoperabilidad entre los metadatos generados por las emergentes tecnologías BIM (Building Information Modelling) en los Sistemas de Información Geográfica (SIG), de modo que toda la información pueda ser volcada en estos sistemas y reinterpretada para el conocimiento exhaustivo de los desarrollos y rehabilitaciones urbanísticos desde el punto de vista medioambiental como principal medida de integración en la triple hélice del conocimiento.

²¹² Fostering integration of BIM in the triple helix through interoperability and environmental challenges from an urban approach.

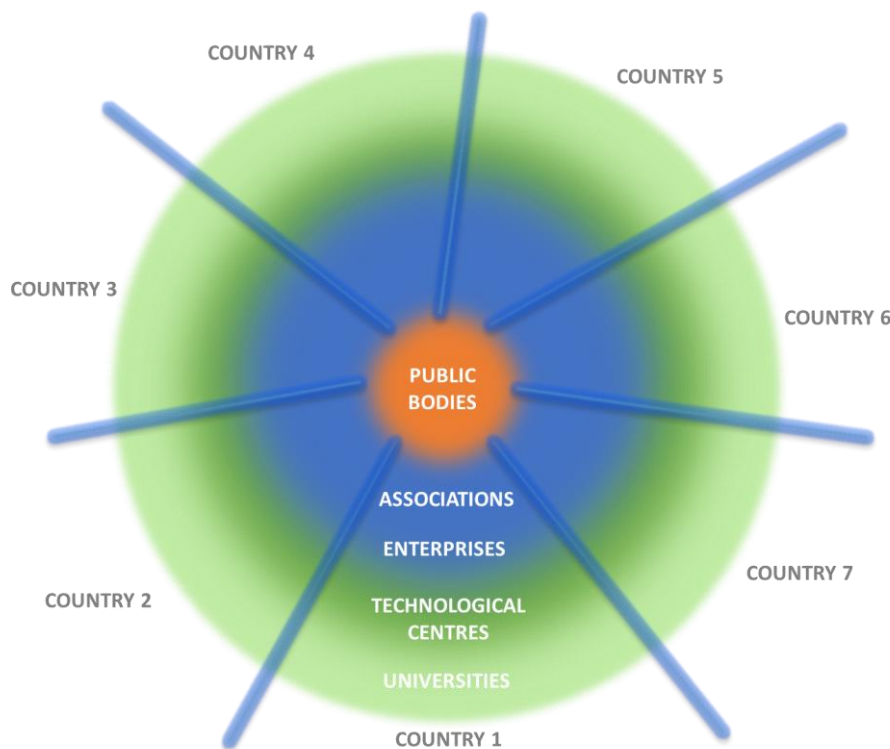


Figura 45. Interrelación en la triple hélice. Realizado por el autor para el proyecto UrbanBIM.

- MEDIO AMBIENTE

La conciencia y cultura medioambiental de los ciudadanos está aumentando al tiempo que las normativas son más estrictas, y así se hace constar en las recientes directivas europeas que aúnan esfuerzos para reducir la huella de carbono y aumentar la eficiencia energética.

El sector de la construcción contribuye con un 35-40% del total de emisiones de CO₂, por lo que, para poder gestionarlas, resulta muy importante calcularlas y evaluar el impacto ambiental en cuanto a emisiones de gases de efecto invernadero de forma completa, de la cuna a la tumba, es decir, desde el planeamiento urbanístico hasta la edificación o rehabilitación de edificios, los cuales, según los últimos datos, el 80% del parque inmobiliario español, no cumple con los valores establecidos de eficiencia energética y/o huella de carbono, y más aún a partir de 2018 y 2020, donde deberán cumplir con los criterios de eficiencia energética A para edificios públicos y privados, respectivamente.

Resulta imprescindible tener una concepción global de todo el ciclo de vida, ya no sólo de un edificio, sino también de un desarrollo o rehabilitación urbanístico, tanto desde el punto de vista de la eficiencia energética como la eficiencia de recursos materiales, es decir un conocimiento de las emisiones desde las primeras fases del proyecto constructivo para tomar acciones tempranas y poder elegir las mejores opciones en cuanto a situación, materiales, métodos constructivos, utilización durante la vida útil del edificio, sistemas de deconstrucción, reutilización, restauración, etc., y ver cómo contribuyen a aumentar o disminuir las emisiones del edificio y poder de este modo extrapolarlo planificaciones urbanas.

Actualmente, existen numerosos estudios sobre el cálculo de la huella de carbono de los materiales con sus Declaraciones Ambientales de Producto (DAP), sobre Eficiencia Energética (EE) desde el ámbito edificatorio, así como la proliferación de normativas al respecto, pero se hace necesaria una herramienta que permita el análisis de ciclo de vida de nuestras ciudades desde el punto de vista de sus futuras rehabilitaciones así como desarrollos urbanísticos, que permitan facilitar las estrategias territoriales desde el punto de vista material y energético y, de este modo, mitigar el impacto ambiental.

- BIM

El uso de Building Information Modelling mejora la fiabilidad de la gestión de la información y por lo tanto la productividad, la calidad de la construcción y la ingeniería estructural durante todo el ciclo de vida del edificio. En los principales proyectos de construcción, los modelos de información de edificios ya se han convertido en una herramienta estándar de ingeniería y gestión de la información.

Sin embargo, hoy en día la mayoría de los proyectos se llevan a cabo en el estilo tradicional, utilizando sólo documentos en papel, de cara a su presentación en los organismos públicos. Pero también es destacable que en los últimos años el nivel de conocimiento de los sistemas basados en BIM entre diseñadores e ingenieros ha mejorado, y la transferencia de datos entre modelos se ha vuelto más confiable. La definición de los requisitos comunes en BIM (denominado Common BIM Requirements) en la primavera de 2012 fue un paso importante en la modelización de la información en Finlandia, mientras que el Reino Unido es la

única nación con una regulación del sector público. El Reino Unido dispone de legislación que establece la obligatoriedad de que la obra pública se desarrolle en entorno BIM a partir del 2016 en base a una estrategia de implantación gradual del BIM.

A nivel europeo, la Directiva 2014/24/UE sobre contratación pública establece la necesidad de emplear sistemas electrónicos (medios de comunicación y herramientas para modelar los datos del edificio) en procesos de contratación de obras, servicios y suministros a partir de septiembre de 2018. También conviene destacar las referencias a las características exigidas a las obras, servicios o suministros. El artículo 42 se refiere a ellas como “especificaciones técnicas” y el Anexo VII define cuáles pueden ser éstas: las normas (internacionales, europeas o nacionales), las evaluaciones técnicas europeas según el Reglamento europeo de productos de construcción (UE) 305/2011, las especificaciones técnicas comunes del Reglamento (UE) 1025/2012 sobre la normalización europea y cualquier documento elaborado por los organismos europeos distintos a los anteriores (referencias técnicas). Se confirma pues que el contexto de normalización europeo es el marco de trabajo para definir las especificaciones técnicas de las obras, servicios y suministros en Europa.

Entre otros efectos de esta directiva, se espera que el hecho de disponer de distintos niveles de información electrónica sobre las características de las obras, los contratos y los servicios públicos permita evaluar las ofertas bajo múltiples puntos de vista considerando los ciclos de vida completos y sin centrar la atención únicamente en los costes directos.

- SIG

Por su parte, actualmente los Sistemas de Información Geográfica (SIG) se asienta sobre tres pilares fundamentales: la cartografía digital del municipio, la legislación y la actividad administrativa propia del ayuntamiento. Es por ello que dicha cartografía debe representar fielmente la realidad del territorio y ser única. La experiencia realizada en el estudio de la cartografía en las administraciones públicas releja la existencia de diferentes modelos de datos. Dicha cartografía está dispersa y existen distintos criterios en su elaboración que dificultan el resultado al realizar una confrontabilidad. Muchas veces la exactitud posicional o temática, las escalas o los formatos de los modelos de datos no permiten poder fundirlas en

una única cartografía. En este artículo se presentan los beneficios que conlleva llegar a tener un modelo de datos que unifique el planeamiento y el catastro y los usos que pueden desarrollarse en la administración local al utilizar estas herramientas y contar con cartografía de calidad.

En consecuencia, el proyecto UrbanBIM ahondará en la interconexión de la triple hélice en un plano tanto profesional como educativo y desarrollará la interoperabilidad entre los metadatos generados por las emergentes tecnologías BIM en los SIG, de modo que toda la información pueda ser volcada en estos sistemas y reinterpretada para el conocimiento exhaustivo de los desarrollos y rehabilitaciones urbanísticos desde el punto de vista medioambiental. Más concretamente, y para contribuir a la solución de lo anteriormente descrito, los objetivos de este proyecto son los siguientes:

- Integrar las herramientas BIM en todos los ámbitos de la triple hélice del sector de la construcción: Organismos públicos – empresas – universidades.
- Implantar en los organismos públicos municipales indicadores medio ambientales como el cálculo de las emisiones de CO₂ en todas las fases implicadas en la construcción a nivel urbanístico, tanto desarrollos como rehabilitaciones.
- Incrementar la concienciación sobre el problema del cambio climático en los estratos más influyentes del sector de la construcción.
- Proporcionar información de las emisiones de cada producto / edificio / plan urbanístico.
- Mejorar la interoperabilidad entre las nuevas tecnologías en auge (BIM) con las ya implantadas en los organismos públicos (SIG).
- Crear una herramienta informática abierta al servicio de investigadores, así como arquitectos, ingenieros y funcionarios del sector de la construcción, que pueda permitir su mejora y perfeccionamiento más allá del fin proyecto para facilitar su adaptabilidad de nuevos metadatos capaces de ser generados por BIM en el futuro.
- Contribuir a la implantación de ciudades digitales haciendo que todo lo relacionado con el planeamiento urbanístico y ordenación urbana esté en una base de datos que multiplique sus prestaciones, con la aplicabilidad que

ello conllevará en el desarrollo de otras áreas de investigación como Big-Data e IoT.

- Implantación gradual en ayuntamientos para después crecer a nivel nacional e internacional, contribuyendo a un nuevo y más avanzado modelo de gestión documental de nuestras ciudades a nivel urbanístico.

**REFERENCIAS
BIBLIOGRÁFICAS Y
FUENTES**

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y FUENTES**A. BIBLIOGRAFÍA**

AKINADE, OYEDELE, OMOTESO, AJAYI, BILAL, OWOLABI, ALAKA, AYRIS y HENRY LOONEY, "BIM-based deconstruction tool: Towards essential functionalities", *International Journal of Sustainable Built Environment*, 2017, N° In press.

ALARCÓN BARRIO y CARRASCÓN ORTIZ, "La sostenibilidad en la construcción. Una visión práctica", *Cemento Hormigón*, 2012, N° 948, págs. 66-74.

ALBA RODRÍGUEZ, MARRERO y SOLÍS GUZMÁN, "Economic and Environmental Viability of Building Recovery in Seville (Spain) Phase 1: Database in Arcgis", *Srodowisko Mieszkaniowe*, 2013, N° 2013 (11), págs. 297-302.

ALONSO MADRID, "Nivel de desarrollo LOD. Definiciones, innovaciones y adaptación a España", *Spanish journal of BIM*, 2015, N° 15/01, págs. 40-58.

ALRESHIDI, MOURSHED y REZGUI, "Factors for effective BIM governance", *Journal of Building Engineering*, 2017, N° 10, págs. 89-101.

BANK, THOMPSON y MCCARTHY, "Decision-making tools for evaluating the impact of materials selection on the carbon footprint of buildings", *Carbon Management*, 2011, N° 2 (4), págs. 431-441.

BILAL, OYEDELE, QADIR, MUNIR, AJAYI, AKINADE, OWOLABI, ALAKA y PASHA, "Big Data in the construction industry: A review of present status, opportunities, and future trends", *Advanced Engineering Informatics*, 2016, N° 30 (3), págs. 500-521.

BOLEA MARTÍ, *Edificios nZEB. Propuesta para la normalización y el diseño de edificios de bajo consumo energético*, Rockwool Peninsular, S.A.U., 2012.

BRAUNGART y MCDONOUGH, *Cradle to cradle (De la cuna a la cuna): Rediseñando la forma en la que hacemos las cosas*, S.A. McGraw-Hill/Interamericana de España, 2005.

BUENO DORREGO y GARVÍA VEGA, "Nuevo código técnico de la edificación", *Anales de mecánica y electricidad*, 2006, Nº 83 (2), págs. 36-41.

CIRIBINI, MASTROLEMBO VENTURA y PANERONI, "Implementation of an interoperable process to optimise design and construction phases of a residential building: A BIM Pilot Project", *Automation in Construction*, 2016, Nº 71, Part 1, págs. 62-73.

CUCHÍ y SWEATMAN, *Informe GTR 2014, Estrategia para la rehabilitación. Claves para transformar el sector de la edificación en España*, Green Building Council España, 2013.

CHANG CASTILLO, "El modelo de la triple hélice como un medio para la vinculación entre la Universidad y Empresa", *Revista Nacional de Administración*, 2010, Nº 1 (1), págs. 85-94.

CHEN, CHANG y LIN, "A cloud-based system framework for performing online viewing, storage, and analysis on big data of massive BIMs", *Automation in Construction*, 2016, Nº 71, Part 1, págs. 34-48.

CHONG, WONG y WANG, "An explanatory case study on cloud computing applications in the built environment", *Automation in Construction*, 2014, Nº 44, págs. 152-162.

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.

DE RETES APARICIO, "Sobre la (ausente) generación de indicadores en la construcción de nuestro entorno artificial", *Evaluación basada en indicadores. Trabajos del Observatorio Regional del Cambio Climático*, Consejería de Agua, Agricultura y Medio Ambiente. Oficina de Impulso Socioeconómico del Medio Ambiente, 2015, págs. 158-166.

GEA ANDRÉS, "La eficacia del BIM: Primer premio del concurso del I Congreso Internacional BIM. Valladolid 2014: DEL BIM AL BIG DATA", *Spanish Journal of BIM*, 2015, Nº 15/01, págs. 66-74.

GETULI, VENTURA, CAPONE y CIRIBINI, "A BIM-based Construction Supply Chain Framework for Monitoring Progress and Coordination of Site Activities", *Procedia Engineering*, 2016, N° 164, págs. 542-549.

HAN y GOLPARVAR-FARD, "Potential of big visual data and building information modeling for construction performance analytics: An exploratory study", *Automation in Construction*, 2017, N° 73, págs. 184-198.

HARDI y PITTARD, "If BIM is the solution, what is the problem? A review of the benefits, challenges and key drivers in BIM implementation within the UK construction industry", *Journal of Building Survey, Appraisal & Valuation*, 2015, N° 3 (4), págs. 366-373.

KIM, ANDERSON, LEE y HILDRETH, "Generating construction schedules through automatic data extraction using open BIM (building information modeling) technology", *Automation in Construction*, 2013, N° 35, págs. 285-295.

KIM, CLAYTON y YAN, *Parameterize urban design codes with BIM and Object-Oriented Programming*, 2013.

KOMERSKA, KWIATKOWSKI y RUCIŃSKA, "Integrated Evaluation of Co2eq Emission and Thermal Dynamic Simulation for Different Façade Solutions for a Typical Office Building", *Energy Procedia*, 2015, N° 78, págs. 3216-3221.

MARRERO, FREIRE GUERRERO, SOLÍS GUZMÁN y RIVERO CAMACHO, "Estudio de la huella ecológica de la transformación del uso del suelo", *Seguridad y medio ambiente*, 2014, N° 136, págs. 6-14.

MARRERO, PUERTO, RIVERO CAMACHO, FREIRE GUERRERO y SOLÍS GUZMÁN, "Assessing the economic impact and ecological footprint of construction and demolition waste during the urbanization of rural land", *Resources, Conservation and Recycling*, 2017, N° 117, Part B, págs. 160-174.

MARRERO y RAMÍREZ DE ARELLANO, "The building cost system in Andalusia: application to construction and demolition waste management", *Construction Management and Economics*, 2010, N° 28 (5), págs. 495-507.

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

MARTÍNEZ ROCAMORA, SOLÍS GUZMÁN y MARRERO, "LCA databases focused on construction materials: A review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016, N° 58, págs. 565-573.

MARTÍNEZ ROCAMORA, SOLÍS GUZMÁN y MARRERO, "Toward the Ecological Footprint of the use and maintenance phase of buildings: Utility consumption and cleaning tasks", *Ecological Indicators*, 2016, N° 69, págs. 66-77.

MEDIAVILLA, IZKARA y PRIETO, "HOLISTEEC – Plataforma colaborativa en la nube basada en BIM para el diseño de edificios energéticamente eficientes", *Spanish journal of BIM*, 2015, N° 15/01, págs. 4-11.

MERCADER MOYANO, *Cuantificación de los recursos consumidos y emisiones de CO2 producidas en las construcciones de Andalucía y sus implicaciones en el protocolo de Kioto*, Construcciones Arquitectónicas I, Universidad de Sevilla, 2010.

MERCADER MOYANO, OLIVARES y GARRIDO, "El impacto ambiental en edificación y su relación con las tipologías edificatorias residenciales: el diseño urbano y el estudio de la ciudad como estrategia de sostenibilidad", *Workshop on Environmental Impact of Buildings*, 2013.

MERCADER MOYANO, RAMÍREZ DE ARELLANO y OLIVARES, "Modelo de cuantificación de las emisiones de CO2 producidas en edificación derivadas de los recursos materiales consumidos en su ejecución", *Informes de la Construcción*, 2012, N° 64 (527), págs. 401-414.

MIGILINSKAS, POPOV, JUOCEVICIUS y USTINOVICHUS, "The Benefits, Obstacles and Problems of Practical Bim Implementation", *Procedia Engineering*, 2013, N° 57, págs. 767-774.

MUÑOZ NEGRETE y CAPDEVILA SUBIRANA, *Trayectoria de la implementación de la Directiva INSPIRE en España*, Instituto Geográfico Nacional: Servicio Regional en Cataluña, 2012.

NG, CHEN y WONG, "Variability of building environmental assessment tools on evaluating carbon emissions", *Environmental Impact Assessment Review*, 2013, N° 38, págs. 131-141.

NIU, PAN y ZHAO, "A BIM-GIS Integrated Web-based Visualization System for Low Energy Building Design", *Procedia Engineering*, 2015, N° 121, págs. 2184-2192.

PLA CUYÁS, "Bases para definir parámetros de objetos BIM: qué tenemos en Europa.", *Spanish journal of BIM*, 2015, N° 15/01, págs. 58-62.

ROMERO FERNÁNDEZ, *La gestión y calidad del proyecto BIM y su ciclo de vida*, Universidade da Coruña, 2016.

SERRANO LÓPEZ, VICTORIA JUMILLA y ALARCÓN GARCÍA, *Derecho ambiental en la Región de Murcia*, Editorial Civitas, S.A., 2011.

SOLÍS GUZMÁN, *Evaluación de la huella ecológica del sector edificación (uso residencial) en la Comunidad Andaluza*, Universidad de Sevilla, 2011.

SOLÍS GUZMÁN, MARRERO, MONTES DELGADO y RAMÍREZ DE ARELLANO, "A Spanish model for quantification and management of construction waste", *Waste Management*, 2009, N° 29 (9), págs. 2542-2548.

SOLÍS GUZMÁN, MARRERO y RAMÍREZ DE ARELLANO, "Methodology for determining the ecological footprint of the construction of residential buildings in Andalusia (Spain)", *Ecological Indicators*, 2013, N° 25, págs. 239-249.

SOUST VERDAGUER, LLATAS y GARCÍA MARTÍNEZ, "Critical review of bim-based LCA method to buildings", *Energy and Buildings*, 2017, N° 136, págs. 110-120.

UGLIOTTI, DELLOSTA y OSELLO, "BIM-based Energy Analysis Using Edilclima EC770 Plug-in, Case Study Archimede Library EEB Project", *Procedia Engineering*, 2016, N° 161, págs. 3-8.

VICTORIA JUMILLA, "Contribuir a la mitigación", *Cambio Climático en la Región de Murcia. Trabajos del Observatorio Regional del Cambio Climático*, Consejería de Agricultura y Agua de la Región de Murcia, 2010, págs. 7-28.

VICTORIA JUMILLA, "Economía baja en carbono" *Derecho Ambiental en la Región de Murcia*, Civitas, 2011, págs. 725-766.

VICTORIA JUMILLA, "La huella de carbono y otras iniciativas públicas de interés relacionadas con la mitigación y adaptación al cambio climático", 2015, págs. 183-205.

VICTORIA JUMILLA, "La obligación de contemplar el cambio climático en las evaluaciones de impacto ambiental y otros nuevos instrumentos para la

adaptación y mitigación", *Evaluación basada en indicadores. Trabajos del Observatorio Regional del Cambio Climático*, Consejería de Agua, Agricultura y Medio Ambiente. Oficina de Impulso Socioeconómico del Medio Ambiente, 2015, págs. 167-187.

VICTORIA JUMILLA, *Competitividad y Cambio Climático. Informe para el Consejo Económico y Social de la Región de Murcia*, Compobell, S.L., 2016.

VICTORIA JUMILLA, MOROTE MORATÓN, CAMPILLO MATEO y PALAZÓN PÉREZ, "Las emisiones de gases de efecto invernadero en la Región de Murcia", *Evaluación basada en indicadores. Trabajos del Observatorio Regional del Cambio Climático*, Consejería de Agua, Agricultura y Medio Ambiente. Oficina de Impulso Socioeconómico del Medio Ambiente, 2015, págs. 199-233.

VITTURINI y FILLOTTRANI, *Interoperabilidad y Estándates de Datos para Información Geográfica*, Universidad Nacional del Sur, 2008.

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

ZHONG, PENG, XUE, FANG, ZOU, LUO, THOMAS NG, LU, SHEN y HUANG, "Prefabricated construction enabled by the Internet-of-Things", *Automation in Construction*, 2017, Nº 76, págs. 59-70.

B. NORMATIVAS, REGLAMENTOS Y COMUNICACIONES

AIA Document E202 - 2008 Building Information Modeling Protocol Exhibit.

AIA Draft Document E203- 2013 -Building Information Modeling and Digital Data Exhibit.

AIA Draft Document G202- 2013 -Building Information Modeling Protocol Exhibit.

COMUNICACIÓN DE LA COMISIÓN AL PARLAMENTO EUROPEO, AL CONSEJO, AL COMITÉ ECONÓMICO Y SOCIAL EUROPEO Y AL COMITÉ DE LAS REGIONES - Hacia una economía circular: un programa de cero residuos para Europa - COM(2014) 398 final.

COMUNICACIÓN DE LA COMISIÓN AL PARLAMENTO EUROPEO, AL CONSEJO, AL COMITÉ ECONÓMICO Y SOCIAL EUROPEO Y AL COMITÉ DE

LAS REGIONES. Hoja de ruta hacia una Europa eficiente en el uso de los recursos - COM(2011) 571 final.

COMUNICACIÓN DE LA COMISIÓN AL PARLAMENTO EUROPEO, AL CONSEJO, AL COMITÉ ECONÓMICO Y SOCIAL EUROPEO Y AL COMITÉ DE LAS REGIONES EUROPEO - Oportunidades para un uso más eficiente de los recursos en el sector de la construcción - COM(2014) 445 final.

DIRECTIVA 2001/42/CE, de 27 de junio, sobre evaluación de las repercusiones de determinados planes y programas en el medio ambiente.

DIRECTIVA 2004/18/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, de 31 de marzo de 2004, sobre coordinación de los procedimientos de adjudicación de los contratos públicos de obras, de suministro y de servicios.

DIRECTIVA 2002/91/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, de 16 de diciembre de 2002, relativa a la eficiencia energética de los edificios.

DIRECTIVA 2006/32/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, de 5 de abril de 2006, sobre la eficiencia del uso final de la energía y los servicios energéticos y por la que se deroga la Directiva 93/76/CEE del Consejo.

DIRECTIVA 2007/2/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, de 14 de marzo de 2007, por la que se establece una infraestructura de información espacial en la Comunidad Europea.

DIRECTIVA 2009/125/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, de 21 de octubre de 2009, por la que se insta un marco para el establecimiento de requisitos de diseño ecológico aplicables a los productos relacionados con la energía.

DIRECTIVA 2010/30/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 19 de mayo de 2010, relativa a la indicación del consumo de energía y otros recursos por parte de los productos relacionados con la energía, mediante el etiquetado y una información normalizada.

DIRECTIVA 2010/31/UE de 19 de mayo de 2010, relativa a la eficiencia energética de los edificios.

DIRECTIVA 2011/92/UE, de 13 de diciembre, de evaluación de las repercusiones de determinados proyectos públicos y privados sobre el medio ambiente, que la presente ley transpone al ordenamiento interno.

DIRECTIVA 2012/27/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 25 de octubre de 2012 relativa a la eficiencia energética, por la que se modifican las Directivas 2009/125/CE y 2010/30/UE, y por la que se derogan las Directivas 2004/8/CE y 2006/32/CE.

DIRECTIVA 2014/24/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 26 de febrero de 2014 sobre contratación pública y por la que se deroga la Directiva 2004/18/CE.

DIRECTIVA 2014/52/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 16 de abril de 2014 por la que se modifica la Directiva 2011/92/UE, relativa a la evaluación de las repercusiones de determinados proyectos públicos y privados sobre el medio ambiente.

DIRECTIVA 89/106/CEE DEL CONSEJO de 21 de diciembre de 1988 relativa a la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas de los Estados Miembros sobre los productos de construcción.

DIRECTIVA 85/337/CEE DEL CONSEJO, de 27 de junio de 1985, relativa a la evaluación de las repercusiones de determinados proyectos públicos y privados sobre el medio ambiente.

DIRECTIVA 93/76/CEE DEL CONSEJO, de 13 de septiembre de 1993, relativa a la limitación de las emisiones de dióxido de carbono mediante la mejora de la eficacia energética (SAVE).

DICTAMEN DEL COMITÉ DE LAS REGIONES EUROPEO — Oportunidades para un uso más eficiente de los recursos en el sector de la construcción. (2015/C 195/06).

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).

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

INFORME DE LA COMISIÓN AL PARLAMENTO EUROPEO Y AL CONSEJO, Avances efectuados por los Estados Miembros en la implantación de edificios de consumo de energía casi nulo - COM/2013/0483 final/2.

INFORME DE LA COMISIÓN AL PARLAMENTO EUROPEO Y AL CONSEJO, Respaldo financiero a la eficiencia energética de los edificios - COM/2013/0225 final.

LEY 1/2005, de 9 de marzo, por la que se regula el régimen del comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero.

LEY 13/2010, de 5 de julio, por la que se modifica la Ley 1/2005, de 9 de marzo, por la que se regula el régimen del comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero, para perfeccionar y ampliar el régimen general de comercio de derechos de emisión e incluir la aviación en el mismo.

LEY 13/2015, de 24 de junio, de Reforma de la Ley Hipotecaria aprobada por Decreto de 8 de febrero de 1946 y del texto refundido de la Ley de Catastro Inmobiliario, aprobado por Real Decreto Legislativo 1/2004, de 5 de marzo.

LEY 14/2010, de 5 de julio, sobre las infraestructuras y los servicios de información geográfica en España.

LEY 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental.

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).

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.

prISO/NP19166, Geographic information. BIM to GIS conceptual mapping (B2GM).

REAL DECRETO 233/2013, de 5 de abril, por el que se regula el Plan Estatal de fomento del alquiler de viviendas, la rehabilitación edificatoria, y la regeneración y renovación urbanas, 2013-2016.

REAL DECRETO 235/2013, de 5 de abril, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios. <https://www.boe.es/buscar/pdf/2013/BOE-A-2013-3904-consolidado.pdf>

REAL DECRETO 238/2013, de 5 de abril, por el que se modifican determinados artículos e instrucciones técnicas del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios, aprobado por Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio.

REAL DECRETO 56/2016, de 12 de febrero, por el que se transpone la Directiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de octubre de 2012, relativa a la eficiencia energética, en lo referente a auditorías energéticas, acreditación de proveedores de servicios y auditores energéticos y promoción de la eficiencia del suministro de energía.

REAL DECRETO LEGISLATIVO 7/2015, de 30 de octubre, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Suelo y Rehabilitación Urbana.

REAL DECRETO-LEY 8/2011, de 1 de julio, de medidas de apoyo a los deudores hipotecarios, de control del gasto público y cancelación de deudas con empresas y autónomos contraídas por las entidades locales, de fomento de la actividad empresarial e impulso de la rehabilitación y de simplificación administrativa.

RECOMENDACIÓN (UE) 2016/1318 DE LA COMISIÓN de 29 de julio de 2016, sobre las directrices para promover los edificios de consumo de energía casi nulo y las mejores prácticas para garantizar que antes de que finalice 2020 todos los edificios nuevos sean edificios de consumo de energía casi nulo.

REGLAMENTO DELEGADO (UE) 244/2012 DE LA COMISIÓN, de 16 de enero de 2012, que complementa la Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, relativa a la eficiencia energética de los edificios, estableciendo un marco

metodológico comparativo para calcular los niveles óptimos de rentabilidad de los requisitos mínimos de eficiencia energética de los edificios y de sus elementos.

REGLAMENTO (UE) 1025/2012 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 25 de octubre de 2012 sobre la normalización europea, por el que se modifican las Directivas 89/686/CEE y 93/15/CEE del Consejo y las Directivas 94/9/CE, 94/25/CE, 95/16/CE, 97/23/CE, 98/34/CE, 2004/22/CE, 2007/23/CE, 2009/23/CE y 2009/105/CE del Parlamento Europeo y del Consejo y por el que se deroga la Decisión 87/95/CEE del Consejo y la Decisión n o 1673/2006/CE del Parlamento Europeo y del Consejo.

REGLAMENTO (UE) 305/2011 DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO, de 9 de marzo de 2011, por el que se establecen condiciones armonizadas para la comercialización de productos de construcción y se deroga la Directiva 89/106/CEE del Consejo.

RESOLUCIÓN de 29 de octubre de 2015, de la Subsecretaría, por la que se publica la Resolución conjunta de la Dirección General de los Registros y del Notariado y de la Dirección General del Catastro, por la que se regulan los requisitos técnicos para el intercambio de información entre el Catastro y los Registros de la Propiedad.

RESOLUCIÓN de la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental por la que se determina que la modificación del plan especial del sector PERI 141 en El Palmar, Murcia, no tiene efectos significativos sobre el medio ambiente.

UNE-EN ISO 14020:2002. Etiquetas ecológicas y declaraciones ambientales. Principios generales.

UNE-EN ISO 14021:2002. Etiquetas ecológicas y declaraciones medioambientales. Autodeclaraciones medioambientales

UNE-EN ISO 14024:2001. Etiquetas ecológicas y declaraciones medioambientales. Etiquetado ecológico Tipo I. Principios generales y procedimientos.

UNE-EN ISO 14040:2006 Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Principios y marco de referencia.

UNE-EN ISO 14044:2006 Gestión ambiental. Análisis del ciclo de vida. Requisitos y directrices.

UNE-EN 15643-1:2012 y UNE-EN 15643-2:2012 sobre Sostenibilidad en la construcción. Evaluación de la sostenibilidad de los edificios. Parte 1: Marco general y Parte 2: Marco para la evaluación del comportamiento ambiental, respectivamente.

UNE-EN 15804:2012+A1:2014. Sostenibilidad en la construcción. Declaraciones ambientales de producto. Reglas de categoría de producto básicas para productos de construcción

UNE-EN 15978. Sostenibilidad en la construcción. Evaluación del comportamiento ambiental de los edificios. Métodos de cálculo.

C. GUÍAS E INFORMES

ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE NORMALIZACIÓN (AENOR). *Estándares en apoyo del BIM. Informes de Normalización*, 2016. <http://www.aenor.es/DescargasWeb/normas/informe-bim.pdf>

BIMFORUM 2013 – *LOD specification*, 2013. <http://bimforum.org/wpcontent/uploads/2013/05/DRAFT-LOD-Spec.pdf>

CERMA. MINETUR. *Procedimientos simplificados para la certificación energética de edificios*. <http://www.minetur.gob.es/ENERGIA/DESARROLLO/EFICIENCIA ENERGETICA/CERTIFICACIONENERGETICA/DOCUMENTOSRECONOCIDOS/Paginas/procedimientos-certificacion-proyecto-terminados.aspx>

CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN (CTE). *Herramienta unificada LIDER-CALENER*. <http://www.codigotecnico.org/index.php/menu-recursos/menu-aplicaciones/282-herramienta-unificada-lider-calener>

CYPETHERM, de CYPE Ingenieros. *CYPE Ingenieros. CYPETHERM HE*. <http://cypeterm-he.cype.es/>

COMISIÓN EUROPEA. *Vivir bien, respetando los límites de nuestro planeta. VII PMA – Programa General de Acción de la Unión en materia de Medio Ambiente hasta 2020*, 2016. <http://ec.europa.eu/environment/pubs/pdf/factsheets/7eap/es.pdf>

DIRECCIÓN GENERAL DEL CATASTRO. *Formato GML de parcela catastral*. http://www.catastro.minhap.es/documentos/formatos_intercambio/Formato%20GML%20parcela%20catastral.pdf

LIBRO VERDE DE LA COMISIÓN, de 29 de noviembre de 2000, *Hacia una estrategia europea de seguridad del abastecimiento energético*. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=URISERV%3A127037>

IDAE. INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y AHORRO DE LA ENERGÍA. *Guía práctica de la energía para la rehabilitación de edificios*, 2008. http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_10501_Guia_practica_rehabilitacion_edificios_aislamiento_5266ec2a.pdf

INSPIRE *Data Specification on Cadastral Parcels - Guidelines version 3.0.1*. http://inspire.ec.europa.eu/documents/Data_Specifications/INSPIRE_DataSpecification_CP_v3.0.1.pdf

INSTITUTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN DE CATALUÑA (ITeC). BEDEC. *Contenido y criterios / Contents and criteria*. <http://docs1.itec.cat/e/Guia.criterios.bedec.pdf>

NACIONES UNIDAS. DEPARTAMENTO DE ASUNTOS ECONÓMICOS Y SOCIALES. *La situación demográfica en el mundo*, 2014. <http://www.un.org/en/development/desa/population/publications/pdf/trends/Concise%20Report%20on%20the%20World%20Population%20Situation%202014/es.pdf>

D. WEBS CONSULTADAS

arCO2. Guía metodología. http://huella-carbono.es/wp-content/uploads/2014/12/guia.metodologica.arco2_.pdf

AUTODIDACTA EN GEOMÁTICA. <http://autodidactaengeomatica.blogspot.com.es/2016/02/los-formatos-gis-raster-y-vectoriales.html>

AYUNTAMIENTO DE ALHAMA DE MURCIA. PGM0. <http://ayuntamiento.alhamademurcia.es/pgmo/index.asp>

BIMSERVER. <https://bimserver.center/>

BIMOBJECT. <https://bimobject.com>

BIMXML. <http://bimxml.org/>

BREEAM ES. <http://www.breeam.es/index.php/certifica/esquemas-de-certificacion>

CENER. Centro Nacional de Energías Renovables. <http://www.cener.com/es/>

DIRECCIÓN GENERAL DEL CATASTRO. Formato GML de parcela catastral. http://www.catastro.minhap.es/documentos/formatos_intercambio/Formato%20GML%20parcela%20catastral.pdf

E2CO2CERO. <http://tienda.e2co2cero.com/>

ECOMETRO. <http://ecometro.org/>

ECO Platform. DAP de paneles y rollos semirrígidos de lana mineral arena ISOVER. <http://www.environdec.com/en/Detail/epd759>

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. <https://standards.cen.eu/dyn>

CityGML <https://es.wikipedia.org/wiki/CityGML>

EUROSTAT. News release. Energy dependency in the EU. <http://ec.europa.eu/eurostat/documents/2995521/7150363/8-04022016-AP-EN.pdf/c92466d9-903e-417c-ad76-4c35678113fd>

EUROSTAT. Statistics Explained. Waste statistics http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Waste_statistics

EUROSTAT. News release. Energy dependency in the EU. <http://ec.europa.eu/eurostat/documents/2995521/7150363/8-04022016-AP-EN.pdf/c92466d9-903e-417c-ad76-4c35678113fd>

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>

GREENPEACE INTERNATIONAL. <http://www.greenpeace.org/international/en/>

INSTITUTO DE TECNOLOGÍA DE LA CONSTRUCCIÓN DE CATALUÑA (ITeC). Banco de Precios BEDEC. <http://metabase.itec.cat/vid/#/es/bedec>

INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL (IGN). Centro nacional de información geográfica. <http://www.ign.es/web/ign/portal>

LEED. <https://lo.usgbc.org>

PLATAFORMA COLABORATIVA BIM&CO. <https://www.bimandco.com>

PORTAL DIRECCIÓN GENERAL DEL CATASTRO. <http://www.catastro.meh.es/>

OGC, 2013. CityGML standard. <http://www.opengeospatial.org/standards/citygml>

PASSIVEHOUSE. www.passivehouse.com

PROYECTO EUROPEO EPISCOPE. Energy Performance Indicator Tracking Schemes for the Continuous Optimisation of Refurbishment Processes in European Housing Stocks. www.episcope.eu

PROYECTO EUROPEO HOLISTEEC. Holistic and Optimized Life-cycle Integrated Support for Energy-Efficient building design and Construction <http://www.holisteecproject.eu>

PROYECTO EUROPEO OERCO2. Centro de Recursos Online para el Estudio Innovador del Ciclo De Vida de los Materiales de Construcción. www.oerco2.eu

PROYECTO EUROPEO STONEPLACING. Mejora de la cualificación y empleabilidad de los trabajadores de piedra natural implementando un plan de estudios común a nivel europeo con el apoyo de herramientas basadas en las TIC's. www.stoneplacing.com

PROYECTO NACIONAL HERVEEA. Huella Ecológica de la Recuperación de Edificios: Viabilidad Económica y Ambiental. http://www.aopandalucia.es/inetfiles/agencia_innovacion_estructura/2032015123013.pdf

SEDE ELECTRÓNICA DEL CATASTRO. <https://www.sedecatastro.gob.es/>

SpainGBC. Certificado LEED. <http://www.spaingbc.org/web/leed-4.php>

SOFIAS. <http://www.sofiasproject.org/>

VERDE. <http://www.gbce.es/es/pagina/herramientas-de-evaluacion-de-edificios>

WIKIPEDIA. Big data. https://es.wikipedia.org/wiki/Big_data

E. SOFTWARE Y APLICACIONES ONLINE CONSULTADAS

arCO2. <http://huella-carbono.es/>

COLEGIO OFICIAL DE ARQUITECTOS DE LA REGIÓN DE MURCIA.
Aplicación web del COAMU para generar GML desde DXF. Colegio Oficial de
Arquitectos de la Región de Murcia. <http://www.coamu.es/gml/>

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

BIMvision. <http://bimvision.eu/en/free-ifc-model-viewer/>

Revit de Autodesk. Versión 2017. <https://www.autodesk.com/education/free-software/revit>

Cype Arquímedes. Versión 2016o. <http://arquimedes.cype.es/>

Cype. Generador de precios de Arquímedes. Versión 2016o. <http://arquimedes.cype.es/#generador>

Edificius. <http://www.accasoftware.com/es/software-bim/>

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Generación de residuos por actividad económica y hogares (Waste generation by economic activities and households, EU-28, 2014). Fuente: Eurostat.	27
Figura 2. Emisiones de CO ₂ eq (kt) en España. Fuente: "Las emisiones de gases de efecto invernadero en la Región de Murcia" (2015).	29
Figura 3. Triángulo de conocimiento del que se nutre la tesis. Elaboración propia.	35
Figura 4. Alcance de la tesis. Temas orbitantes analizados. Elaboración propia.	40
Figura 5. Estructura de la tesis. Elaboración propia.	41
Figura 6. Análisis de las regulaciones a escalas Producto / Edificio / Territorio en las áreas de recursos materiales, herramientas electrónicas e implementación. Elaboración propia.	48
Figura 7. Etapas del ciclo de vida del edificio. Fuente: UNE-EN 15978:2012.	53
Figura 8. Implantación BIM a nivel internacional en 2014. Fuente: AENOR.	61
Figura 9. Estado de la definición de EECN para nuevas edificaciones / Status of nZEB definition for new buildings. Fuente: BPIE, 2015.	65
Figura 10. Generación de fichero GML de una parcela catastral. Fuente: COAMU.	75
Figura 11. Lista de servicios al ciudadano. Fuente: Sede Electrónica del Catastro.	76
Figura 12. Cartografía Urbana disponible para el municipio de Murcia. Fuente: Sede Electrónica del Catastro.	76
Figura 13. Evolución de las directivas europeas. Elaboración propia.	79
Figura 14. Esquema metodológico de la tesis.	86
Figura 15. Elementos a calcular de los indicadores de CO ₂ eq y % de reciclabilidad. Elaboración propia.	105
Figura 16. Ejemplo de tablas de cuantificación. Fuente: Revit.	109

Figura 17. Ejemplo teórico de cálculo del impacto ambiental de aislamiento térmico colocado por cada m ² . Elaboración propia.	118
Figura 18. Ejemplo teórico de cálculo del impacto ambiental por cada UO. Ejemplo de fachada. Elaboración propia.	121
Figura 19. Esquema de metodología de ACV a través del modelo BIM. Elaboración propia.	123
Figura 20. Ejemplo de integración de datos de impacto ambiental en un material BIM. Elaboración propia a partir de Revit de Autodesk.	134
Figura 21. Conectividad del LOD 700. Elaboración propia.	139
Figura 22. Interoperabilidad del modelo BIM a la ciudad digital. Elaboración propia.	146
Figura 23. Integración de GML con datos de impacto ambiental en la cartografía del catastro. Elaboración propia.	147
Figura 24. Modelo de conectividad. Elaboración propia.	149
Figura 25. Flujo de trabajo teórico de la aplicación ecoeficiente. Elaboración propia.	152
Figura 26. 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.	155
Figura 27. Ejemplo de información online contenida en un objeto BIM del fabricante. Fuente: bimobject.	156
Figura 28. Etapa de herramienta de cálculo del flujo de trabajo de la aplicación ecoeficiente. Elaboración propia.	158
Figura 29. Logos. Propuesta de representación de certificados de sostenibilidad en categorías de impacto ambiental y residuos (izquierda) y reciclabilidad (derecha). Elaboración propia.	161
Figura 30. Diagrama procedimental de IESE (Informe de Evaluación de la Sostenibilidad de Edificios). Elaboración propia.	166
Figura 31. Etapa de implantación del flujo de trabajo de la aplicación ecoeficiente. Elaboración propia.	168
Figura 32. Flujo de implementación de la construcción de la ciudad digital. Elaboración propia.	170
Figura 33. Etapa de interpretación de macrodatos a escala territorial del flujo de trabajo de la aplicación ecoeficiente. Elaboración propia.	173

Figura 34. Proyectos Europeos. Líneas presentes y futuras relacionadas con la tesis. Elaboración propia.....	175
Figura 35. Hoja 21 de la documentación gráfica del PGMO de Alhama de Murcia. Fuente: Ayuntamiento de Alhama de Murcia.	198
Figura 36. Descarga masiva del Catastro mediante firma digital. Fuente: DGC	199
Figura 37. Consulta descriptiva y gráfica de datos catastrales donde se ubica el caso práctico objeto del estudio. Fuente: DGC	200
Figura 38. Planta baja acotada del caso práctico objeto de estudio con piscina. Software: Revit de Autodesk. Elaboración propia.	201
Figura 39. Vista 1. 3D de la fachada objeto de estudio. Software: Revit de Autodesk. Elaboración propia.	202
Figura 40. Vista 2. 3D de la fachada objeto de estudio. Software: Revit de Autodesk. Elaboración propia.....	202
Figura 41. Esquema constructivo de la fachada. Elaboración propia.	203
Figura 42. Esquema del ciclo de vida de los productos de construcción. Realizado por el autor para el proyecto BELIEFF.....	209
Figura 43. Esquema ETUE de análisis del ciclo de vida. Realizado por el autor para el proyecto BELIEFF.....	210
Figura 44. Esquema de comunicación (TransCITY communication). Realizado por el autor para el proyecto TransCITY.	213
Figura 45. Interrelación en la triple hélice. Realizado por el autor para el proyecto UrbanBIM.	224

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Metodología de aplicación en el desarrollo de la investigación. Elaboración propia.....	88
Tabla 2. Visión global de los principales aspectos relacionados con las definiciones nacionales del EECN en la UE28 (y Noruega). Definiciones 1. Fuente: proyecto EPISCOPE.....	95
Tabla 3. Visión global de los principales aspectos relacionados con las definiciones nacionales del EECN en la UE28 (y Noruega). Definiciones 2. Fuente: proyecto EPISCOPE.....	96
Tabla 4. Visión global de los principales aspectos relacionados con las definiciones nacionales del EECN en la UE28 (y Noruega). Leyenda. Fuente: proyecto EPISCOPE.....	97
Tabla 5. Indicadores de la tabla de resultados de impactos ambientales según UNE-EN 15978.....	99
Tabla 6. Indicadores de la tabla de resultados de uso de recursos según UNE-EN 15978.	100
Tabla 7. 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.....	107
Tabla 8. Ejemplo de impacto ambiental de paneles y rollos semirrígidos de lana mineral arena ISOVER. Fuente: ECO Platform.....	111
Tabla 9. Ejemplo de otros flujos de salida. Paneles y rollos semirrígidos de lana mineral arena ISOVER. Fuente: ECO Platform.....	112
Tabla 10. Ejemplo de categorías de residuos. Paneles y rollos semirrígidos de lana mineral arena ISOVER. Fuente: ECO Platform.	113
Tabla 11. Ejemplo de etapas contempladas en la metodología de cálculo por cada m ² de producto. Basado en DAP de ECO Platform.....	115
Tabla 12. Unidad de obra completa. KgCO ₂ eq por cada m ² de fachada. Elaboración propia mediante recopilación de datos.	120
Tabla 13. Ejemplo de categorías de impacto ambiental y residuos para cada indicador en base a la UNE-EN 15978:2012. Elaboración propia.	160

Tabla 14. Ejemplo de categorías de flujos de salida para cada indicador en base a la UNE-EN 15978:2012. Elaboración propia.....	161
Tabla 15. Hoja exterior de fachada, de fábrica de ladrillo cerámico para revestir. Fases A1-A4. Elaboración propia mediante recopilación de datos.	205
Tabla 16. Aislamiento por el interior en fachada de doble hoja de fábrica para revestir. Elaboración propia mediante recopilación de datos.	205
Tabla 17. Hoja interior de fachada, de fábrica de ladrillo cerámico para revestir. Elaboración propia mediante recopilación de datos.	206
Tabla 18. Enfoscado de cemento en el trasdós de la hoja exterior de fachada. Elaboración propia mediante recopilación de datos.....	206
Tabla 19. Revestimiento de mortero monocapa. Elaboración propia mediante recopilación de datos.	207

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: DOCUMENTACIÓN GRÁFICA	197
ANEXO 2: TABLAS DE CÁLCULO.....	204
ANEXO 3: LÍNEAS PREVIAS DE INVESTIGACIÓN PREVIAS.....	208
ANEXO 4: PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN CONCEDIDOS RELACIONADOS CON LA TESIS	215
ANEXO 5: LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN ABIERTAS.....	218
ANEXO 6: TRANSFERENCIA DE LOS RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	223