

Desarrollo instrumental de ACV en plataformas BIM: Herramienta paramétrica de visualización de resultados

TRABAJO FIN DE MASTER

Trabajo dirigido por:
Juan Carlos Gómez de Cózar_Tutor
Antonio García Martínez_Tutor
Marta Ruiz Alfonsea_Co-tutora

Trabajo realizado por:
Daniel Ramos Sánchez_Arquitecto



MIATD
MASTER OFICIAL EN INNOVACION EN ARQUITECTURA:
TECNOLOGÍA Y DISEÑO

ÍNDICE

0. INTRODUCCIÓN

- 0.1 AGRADECIMIENTOS
- 0.2 RESUMEN
- 0.3 JUSTIFICACIÓN Y ANTECEDENTES

1. OBJETIVOS

- 1.1 OBJETIVO PRINCIPAL
- 1.2 OBJETIVOS SECUNDARIOS

2. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA A SEGUIR

3. ESTADO DEL ARTE

- 3.1 ACV (ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA) Y BIM (BUILDING INFORMATION MODELING)
- 3.2 CORRELACIÓN ACV-BIM (ARTÍCULOS CIENTÍFICOS)
- 3.3 RESUMEN Y CONCLUSIONES DE LA BIBLIOGRAFÍA CIENTÍFICA ESTUDIADA
- 3.4 ESTUDIO DE HERRAMIENTAS ACTUALES PARA EL ACV (TALLY)
- 3.5 RESUMEN Y CONCLUSIONES DE LA HERRAMIENTA ESTUDIADA

4. ELECCIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL MODELO SELECCIONADO

- 4.1 ACV JUSTIFICACIÓN DE LA ELECCIÓN
 - 4.2 PLANIMETRÍA DEL EDIFICIO
 - 4.3 ESTRUCTURA GENERAL DEL EDIFICIO
-

5. BÚSQUEDA DE ARMONIZACIÓN: ACV MANUAL

- 5.1 MÉTODO DE TRABAJO
- 5.2 CREACIÓN DE LA TABLA Nº 1 (Etapa de producción/deproducción y construcción/deconstrucción)
- 5.3 CREACIÓN DE LA TABLA Nº 2 (Etapa operacional)

6. BÚSQUEDA DE SISTEMATIZACIÓN: ACV PROGRAMADO

- 6.1 ELABORACIÓN EN DYNAMO DE LA HERRAMIENTA PARAMÉTRICA DE VINCULACIÓN BIM-ACV
- 6.2 EJEMPLO DE VISUALIZACIÓN EN DYNAMO

7. CONCLUSIONES

8. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

9. BIBLIOGRAFÍA

0. INTRODUCCIÓN

0.1 AGRADECIMIENTOS

*“A mi familia, por darme todo lo que está a su alcance para que me supere cada día personal y profesionalmente, y ser mi estímulo en la realización de todos los proyectos de mi vida. Por apoyarme desde el primer momento tanto en los buenos como en los malos momentos y hacer que me sienta orgulloso de hablar de ella allá dónde voy.
Por eso y por miles de razones más:
GRACIAS.*

A Juan Carlos, por ser de ese grupo reducido de profesores que se recuerdan al finalizar la carrera por su total entrega al alumno. Por todas esas charlas informales que motivan a seguir adelante.

A Antonio, por su sobresaliente tutorización y dedicación hacia mi persona y por enseñarme tanto en un tiempo tan reducido.

Por último, a todos mis amigos y compañeros, en especial a aquellos que forman parte de il grupe, arquiamigos y speakeasy.”

0.2 RESUMEN

El impacto ambiental según la norma ISO 14.05 es cualquier cambio producido en el medioambiente. El caso que abordaremos será el producido por los humanos a través de la construcción, el cual es negativo y se traduce directamente en contaminación dado que se introducen sustancias al medioambiente que provocan que este se convierta en un medio no apto para su uso. Parece clara la necesidad de disminuir este impacto medioambiental producido por el sector de la construcción y es por ello se están desarrollando herramientas de evaluación y control de impactos. Una de las más conocidas es el Análisis de Ciclo de Vida (ACV).

El problema que tiene el ACV es su aplicación a modo de evaluación una vez el edificio ya ha sido construido. Sin embargo gracias a las plataformas Building Information Modeling (BIM) es posible realizar dicha evaluación en tiempo real en etapa de diseño.

El presente trabajo se centrará en la creación de una herramienta paramétrica que nos ayude a visualizar el ACV en tiempo real y así minorizar el impacto medioambiental desde la etapa de diseño arquitectónico.

0.2 ABSTRACT

The environmental impact according to ISO 14.05 is any change in the environment. The case that we will deal with will be the one produced by humans through construction, which is negative and translates directly into contamination given that substances are introduced into the environment that cause it to become a means unfit for use.

It seems clear the need to reduce this environmental impact produced by the construction sector and that is why tools for evaluation and control of impacts are being developed. One of the best known is the Life Cycle Analysis (LCA).

The problem that the LCA has is its application as an evaluation once the building has been built. However, thanks to the Building Information Modeling (BIM) platforms it is possible to perform this evaluation in real time at the design stage.

The present work will focus on the creation of a parametric tool that will help us visualize the LCA in real time and thus minimize the environmental impact from the architectural design stage.

0.3 JUSTIFICACIÓN Y ANTECEDENTES

El presente trabajo fin de máster se plantea desde una visión continuista al trabajo que se lleva realizando durante años dentro del grupo de investigación TEP-130: Arquitectura, patrimonio y sostenibilidad de la Universidad de Sevilla, que pone hincapié tanto en el "Desarrollo de mallas para la arquitectura" como en el "Análisis de ciclo de vida de soluciones arquitectónicas" (siendo éste último el tema fundamental del presente documento).

Actualmente, tal grupo de investigación se encuentra en fase de elaboración de una herramienta unificada para la cuantificación y reducción del impacto ambiental, social y económico del ciclo de vida de los edificios en plataformas BIM correspondiente al programa estatal de investigación, desarrollo e innovación (I+D+I) orientada a los retos de la sociedad, en el marco del plan estatal de investigación científica y técnica y de innovación convocatoria 2017.

Asimismo y en este contexto el grupo investigador está trabajando en un proyecto conjuntamente con el llamado grupo ANNEX-72 (Agencia Internacional de la Energía) en los que participan países como Alemania, Japón o Bélgica entre otros.

En el proyecto se está investigando los problemas de armonización entre países que surgen al aplicar enfoques de ACV en edificios. Funciona como una plataforma para intercambiar experiencias y conocimientos dentro de los países socios y para fomentar la aplicación de ACV en edificios en países que aún cuentan con poca experiencia en el tema.

El interés en el análisis del ciclo de vida es un hecho dentro del mundo investigador en arquitectura, sin embargo actualmente no es una disciplina que sea un trabajo sistemizado dada la falta de homogenización entre países, es por ello que el TFM se centrará en intentar aportar un modelo sistemizado mediante tablas de excell que realicen el ACV de un edificio en concreto.

Además de ello, se trabajará en la búsqueda de la realización de un análisis más operativo mediante el uso de herramientas paramétricas que se ajusten a la manera de proyectar actual y del futuro cercano: las plataformas BIM.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO PRINCIPAL

Desarrollo de una herramienta original que permita realizar ACV y visualizar sus resultados sobre un modelo BIM.

1.2 OBJETIVOS SECUNDARIOS

1. Analizar el estado actual de los conocimientos científico-técnicos en relación a la vinculación BIM-ACV
2. Automatizar el proceso de cálculo de ACV en plataformas BIM mediante el empleo de software paramétrico.
3. Armonizar el proceso de cálculo manual de ACV mediante empleo de tablas de cálculo.



2. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA A SEGUIR

La metodología que se seguirá en la realización de este trabajo fin de máster será aquella que muestre un correcto y lógico desarrollo del mismo, partiendo desde la búsqueda inicial de información para contextualizarlo hasta la aplicación de la herramienta a desarrollar, para comprobar su funcionamiento, todo ello con el fin de lograr cumplir los objetivos nombrados anteriormente.

Es por ello que se seguirá la siguiente línea metodológica:

1. Estado del arte

Es la etapa inicial en la que se realiza la búsqueda de información, que en nuestro caso, se subdividirá en dos partes:

- Definición, a partir de la bibliografía científica adecuada, del estado del arte en materia de vinculación BIM-ACV: En ella se seleccionarán los artículos científicos actuales más relevantes para su lectura, comprensión y resumen, de forma que nos ayude a contextualizar y justificar las decisiones que se tomen en la realización de la herramienta paramétrica.

- Definición, a partir del estudio de herramientas actuales para el análisis de ACV, del estado del arte en materia de vinculación BIM-ACV: De igual manera, se seleccionarán los programas informáticos actuales más relevantes para comprender su funcionamiento y carencias a la hora de realizar el ACV a un modelo de edificio, de forma que nos ayude a justificar las decisiones que se tomen en la realización de la herramienta paramétrica.

2. Elección y descripción del modelo BIM a estudiar

Una vez analizada la información anterior, tras una bibliografía consultada, se procederá a seleccionar el modelo principal de estudio.

3. Búsqueda de homogenización: ACV Manual

En este paso, se creará un modelo a seguir para la realización del análisis del ciclo de vida

de cualquier edificio mediante el uso de tablas de cálculo. Mediante el empleo de esta metodología de ACV y con los datos extraídos del modelo virtual, se obtendrán los resultados de cuantificación en lo que se refiere al impacto ambiental.

4. Búsqueda de sistematización: ACV Programado

Tras hacer el cálculo manual del ACV, se pasará a la realización de la herramienta paramétrica que nos permita visualizar el impacto ambiental que produce el mismo edificio y la aplicación instrumental de la misma, pero esta vez en tiempo real.

El software utilizado en la realización del TFM es el siguiente:

- **ECOINVENT:** Base de datos que proporciona los procesos unitarios necesarios para el cálculo del ACV.
- **REVIT:** Software específico de modelización y evaluación de impactos ambientales según la metodología ACV.
- **DYNAMO:** Software para la programación del scrip visuales que nos permita crear un algoritmo personalizado a fin de procesar los datos y visualizar el ACV en tiempo real
- **MICROSOFT EXCEL:** Software que nos permite la obtención de datos y creación de tablas de cálculo para el desarrollo del ACV.

3. ESTADO DEL ARTE

3.1 ACV (ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA) Y BIM (BUILDING INFORMATION MODELING)

3.1.1 ¿Qué es el ACV?

El Análisis de Ciclo de Vida (ACV) es una de las técnicas desarrolladas para comprender y tratar los impactos asociados a los productos o servicios. Trata los aspectos e impactos ambientales potenciales a lo largo de todo el ciclo de vida de un producto desde la adquisición de la materia prima, pasando por la producción, uso, tratamiento final, reciclado, hasta su disposición final.

La aplicación en los edificios del ACV es catalogada, en muchos casos, como una metodología compleja que requiere de una inversión de tiempo grande para su aprendizaje y comprensión. El gran problema es la carencia de exigencias legislativas u otros incentivos como la desvinculación entre los procedimientos de certificación energética y el ACV.

Para este apartado cabe mencionar el gran trabajo realizado tanto por M^a Dolores Martín Miranda alumna del Máster en Innovación en Arquitectura: Tecnología y Diseño en el curso 2014-2015 con su TFM "*Análisis del ciclo de vida de construcciones ligeras y de rápido montaje. La obra de Shigeru Ban*" como por sus respectivas referencias. Gracias a sus aportaciones se ha podido realizar tal desglose de información.

3.1.2 Reseña Histórica

A finales de los sesenta, comenzó a usarse simultáneamente en Estados Unidos y Europa el Análisis del Ciclo de Vida (ACV) como herramienta que servía para cuantificar el consumo energético asociado a los procesos productivos, predominando en el sector de la industria química.

A principios de la década de los setenta, a causa de la crisis del petróleo, se desarrollaron estudios enfocados en la optimización de los recursos energéticos, además del consumo

de materias primas y la generación de residuos por el gasto energético que suponen. Se crearon las primeras herramientas analíticas y metodologías de ACV, siendo los precursores los científicos de Reino Unido, Estados Unidos y Suecia.

Una vez asimilada la crisis del petróleo, se pierde el interés por temas relacionados con el ACV, retomándose al comienzo de los años ochenta como consecuencia de una mayor concienciación de la población por el medioambiente, que empezó con la motivación de distintas administraciones en la promulgación de normativas o criterios que hicieran posible cuantificar la carga medioambiental tanto de los procesos como de los productos, y a los industriales a diseñar y fabricar reduciendo el impacto ambiental. De esta forma, se consiguen promocionar los "productos verdes" para aumentar sus ventas.

En el año 1979, se crea la fundación SETAC (Society for Environmental Toxicology and Chemistry), para desarrollar la metodología y los criterios sobre los que se sustenta el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) de los procesos y productos, además de dar la primera definición oficial de ACV, siendo ésta la de "un proceso objetivo para evaluar cargas ambientales asociadas a un producto, proceso o actividad identificando y cuantificando el uso de materia y energía y los vertidos al entorno; para determinar su impacto en el medioambiente y evaluar y poner en práctica estrategias de mejora medioambiental".

A principios de la década de los 90, el ACV fue de gran interés para los técnicos, ya que se trata de una herramienta que facilita la elaboración de estudios enfocados a prevenir la contaminación y reducir el impacto sobre el medioambiente.

En 1992, se creó la SPOLD (Society for the Promotion of LCA Development) con la finalidad de potenciar y normalizar el uso del ACV y fue compuesta por 20 compañías europeas.

Un año después, surge el Comité Técnico 207 (ISO/TC 207) en ISO (Internacional Standards Organization), encargado de desarrollar normas internacionales para la gestión medioambiental. El Subcomité SC 5 fue el responsable de la elaboración de las normas para regular el Análisis de Ciclo de Vida, entre las que destacan:

- UNE-EN ISO 14040. Gestión medioambiental. Análisis del Ciclo de Vida. Principios y estructura.
- UNE-EN ISO 14041. Gestión medioambiental. Análisis del Ciclo de Vida. Definición de objetivos y alcance y análisis de inventario.
- ISO 14042. Gestión medioambiental. Análisis del Ciclo de Vida. Evaluación de impacto de ciclo de vida.
- ISO 14043. Gestión medioambiental. Análisis del Ciclo de Vida. Interpretación del ciclo de vida.

Además, para la correcta elaboración de estudios de ACV, se elaboraron documentos técnicos recogidos en:

- ISO/TR 14047: Illustrative examples on how to apply ISO 14042: Life cycle assessment, Life cycle impact assessment (2002)
- ISO/CD TR 14048: Environmental management Life cycle assessment LCA data documentation format (2002).
- ISO/TR 14049: Illustrative examples on how to apply ISO 14041 (1998).

En los últimos años, diferentes autores han propuesto la ampliación del enfoque del ACV atendiendo a tres ámbitos de la sostenibilidad: social, ambiental y económica; proponiendo un análisis para la sostenibilidad que consista en la fusión de un ACV convencional y un análisis de ciclo de vida social.

Por todo ello, disminuir el impacto medioambiental de los edificios requiere aplicar metodologías de evaluación de impactos adecuadas, de carácter global, y que tengan en cuenta todas las etapas de la vida de un edificio. Todo esto no tiene otro propósito que el de construir de una manera sostenible.

Información obtenida en: The Hitch Hiker's Guide to LCA: An Orientation in Life Cycle Assessment Methodology and Applications. de Henrikke Baumann , Anne-Marie Tillman.

3.1.3 Categorías de impacto

Al hablar de categorías de impacto, nos encontramos con gran multitud de éstas en función del campo de actuación y basadas en diferentes bases de datos, por lo que es de gran importancia definir desde el principio la base de datos desde donde se extraerá la información para la realización del ACV. En nuestro caso, los datos medioambientales de los materiales que usamos en nuestros modelos se obtienen a partir de la base de datos de ECOINVENT.

Saber qué impactos existen se hace indispensable para poder llevar a cabo este trabajo. Por ello, se expondrán a continuación las doce categorías de las que constan los impactos de tipo medioambiental:

- Calentamiento global (GWP). Es el proceso de aumento gradual de la temperatura de la Tierra a consecuencia del incremento de la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera, incremento provocado por los procesos de combustión con fines energéticos de carburantes fósiles y por la deforestación.
- Disminución de la capa de ozono. Como su nombre indica, es el proceso de reducción, tanto en concentración como en grosor, de la capa de partículas de ozono presente en la estratosfera. Este fenómeno es consecuencia de la alteración del balance atmosférico de oxígeno y ozono. Las emisiones de clorofluorocarbonos (CFC), un hidrocarburo sintético utilizado como refrigerante, son las principales responsables de este impacto.
- Acidificación. Es el proceso de introducción de sustancias ácidas en el medioambiente provocado por las emisiones a la atmósfera de óxidos de azufre y de nitrógeno provenientes principalmente de la quema de combustibles fósiles. Tras reaccionar el vapor de agua presente en el aire, estos óxidos se convierten en los compuestos ácidos que la lluvia precipita sobre la superficie terrestre.
- Eutrofización. Proceso de acumulación de nutrientes en las aguas con el consiguiente crecimiento masivo de organismos, fundamentalmente algas, y la disminución de la con-

centración de oxígeno.

- Generación de residuos industriales. Son aquellos producidos por la industria.
- Radiactividad. Es el proceso por el cual determinados isótopos de algunos elementos químicos, como, por ejemplo, el uranio, emiten espontáneamente partículas y/o rayos nocivos para los seres vivos.
- Residuos radiactivos. Son aquellos que presentan trazas de radiactividad en concentraciones superiores a los valores límites establecidos. Son producidos fundamentalmente por las centrales nucleares.
- Agotamiento de los recursos energéticos. Disminución de recursos energéticos por su alta demanda en etapas de producción y de-producción de elementos. Se puede valorar atendiendo a la denominación de "demanda de recursos energéticos o Cumulative energy demand", donde se manifiestan los consumos energéticos generados durante las etapas de vida de los edificios. Se cuantifica toda la energía consumida directa o indirectamente a lo largo del ciclo de vida del producto. Estos son el consumo directo de energía durante la extracción y transporte de las materias primas, la fabricación, distribución, utilización y tratamiento de los residuos del producto, el consumo de energía asociada a los materiales, el consumo indirecto de energía relacionado con las infraestructuras necesarias para utilizar el producto, como por ejemplo, la producción de electricidad, combustibles, maquinaria, camiones, etc.

3.1.4 Procedimientos de cálculo

Para nuestro TFM haremos una división en el estudio de los impactos medioambientales según hagamos el ACV manual o el ACV programado, así pues:

- ACV Manual: Las categorías de impacto que se estudiarán serán las siguientes:
 - Potencial de acidificación
 - Cambio climático
 - Potencial de eutrofización
 - Ecotoxicidad acuática de agua dulce
 - Toxicidad humana
 - Oxidación fotoquímica (niebla tóxica de verano)
 - Recursos
 - Agotamiento del ozono estratosférico
 - Ecotoxicidad terrestre

Y de una manera más exhaustiva y desglosada la demanda de energía acumulada

- ACV Programado: Se hará hincapié en el estudio del Calentamiento Global o GWP (Global Warming Potential que es el factor más determinante en el Cambio Climático.

3.1.5 ¿Qué es el BIM?

El BIM (Building Information Modeling), es el proceso de generación y gestión de datos del edificio durante su ciclo de vida utilizando software dinámico de modelado de edificios en tres dimensiones y en tiempo real, para disminuir la pérdida de tiempo y recursos en el diseño y la construcción. Este proceso produce el modelo de información del edificio (también abreviado BIM), que abarca la geometría del edificio, las relaciones espaciales, la información geográfica, así como las cantidades y las propiedades de sus componentes.

La aplicación del Building Information Modeling abarca todas las fases o ciclo de vida de un proyecto. Esto implica que, entre las diferentes dimensiones de las que se compone este toda la relacionada con el diseño, pero también los costes, el tiempo y el mantenimiento. Esto significa que todos los agentes del mundo de la construcción, edificación y obra civil se ven involucrados en los procesos.

Este tipo de sistemas presentan dos particularidades importantes:

- El diseño Paramétrico. Permite que los elementos que antes tenían propiedades fijas, ahora son caracterizados por parámetros y reglas que determinan su geometría, composición, etc.
- La Bidireccionalidad Asociativa. Permite gestionar los cambios a lo largo del diseño, de modo que todos los cambios que se efectúen se modifican automáticamente.

3.1.5 Reseña histórica

En 1975 se publica el primer trabajo sobre BIM a cargo del profesor Chuc Eastman

Nueve años más tarde se crea el ISO STEP, que regula la forma estándar del modelo de datos para el intercambio de productos.

La primera vez que apareció el primer programa BIM, fue bajo el nombre de Virtual Build-

ding, en el programa ArchiCAD1 en 1982, de la empresa húngara Graphisoft. La falta de conexión existente entre las representaciones en programas CAD, ponía de manifiesto la falta de coherencia que ofrecía la representación gráfica de un mismo edificio, es decir, las líneas representadas estaban sujetas a la voluntad del proyectista y no vinculadas entre ellas, por lo que la representación de una planta y un alzado de un mismo edificio eran coherentes en tanto en cuanto se hubiera precisado su coherencia. Ante esta arbitrariedad aparece una nueva forma de representar con los sistemas BIM.

Ya en 1996 comienza a funcionar el Consorcio Industrial IAI que asesora el desarrollo de aplicaciones integradas, y esto hace que 4 años después, en el 2000, aparezca Revit de la mano de Autodesk.

Gracias a los avances, se crea el primer proyecto BIM integrado en Finlandia en el 2002, y en el 2006 se lleva a cabo el primer proyecto IPD en EEUU. Estos dos países, un año más tarde crean las guías que hay que seguir para llevar a cabo un proyecto BIM (GSA por EEUU y Senate Properties por parte de Finlandia).

En 2010 el Gobierno de Reino Unido anuncia los requisitos para la implantación del BIM. Finlandia publica los requerimientos BIM comunes a nivel nacional y países como España en 2015 adoptan una hoja de ruta para su implantación.

Como consecuencia de ello, en 2016 Reino Unido hace obligatoria la implantación de la metodología BIM en los proyectos de obras públicas y este año 2018 el uso de BIM pasa a ser de carácter obligatorio en España para los proyectos de licitaciones públicas de edificación.

3.2. Correlación ACV-BIM

Como hemos podido observar en las reseñas históricos del ACV y el BIM, ambas llevan un camino paralelo bastante parecido, pues las dos surgieron entre los años 60-70 con un desarrollo más o menos lento, que por el contrario en esta última década ha tenido un crecimiento exponencial, tanto en interés acerca de sus filosofías de trabajo como en su implementación práctica para sacarle el mayor rendimiento posible. Ambas dos se encuentran en fase de ensayo-error probando alternativas de funcionamiento con su consiguiente verificación y posterior mejora.

Es por ello que, los artículos científicos acerca de estos dos temas han desarrollado el mismo crecimiento exponencial estos últimos años. A continuación se hará una selección de aquellos artículos que nos han parecido más interesantes y que nos ayudarán a la hora de la realización del TFM y de la toma de decisiones. Los artículos seleccionados son los siguientes:

- The development of apartment house life cycle CO2 simple assessment. (Revista: Renewable and Sustainable Energy Reviews, año 2011)
- BIM implementation throughout the UK construction project cycle life. (Revista: Automation in Construction, año 2013)
- Building Information Modeling (BIM) for existing buildings. (Revista: Automation in Construction, año 2013)
- The past, present and future of carbon labelling for construction. (Revista: Building and Environment, año 2014)
- The importance of use and end-of-life phases to the life cycle. (Revista: Renewable and Sustainable Energy Reviews, año 2014)
- Enhancing environmental sustainability over building life cycles through green BIM. (Revis-

ta: Automation in Construction, año 2015)

- LCA in architectural design. A parametric approach. (Revista: Building components and buildings, año 2016)

- Building simulations supporting decision making in early. (Revista: Renewable and Sustainable Energy Reviews, año 2016)

- Simplification in life cycle assessment of single-family houses A review of recent developments. (Revista: Building and Environment, año 2016)

- An integrated BIM based framework for minimizing embodied energy during building design. (Revista: Energy and Buildings, año 2016)

- A mixed review of the adoption of Building Information. (Revista: Journal of Cleaner Production, año 2016)

- Recent developments, future challenges and new research directions in LCA of buildings. (Revista: Renewable and Sustainable Energy Reviews, año 2016)

- Environmental design guidelines for digital fabrication. (Revista: Journal of Cleaner Production, año 2016)

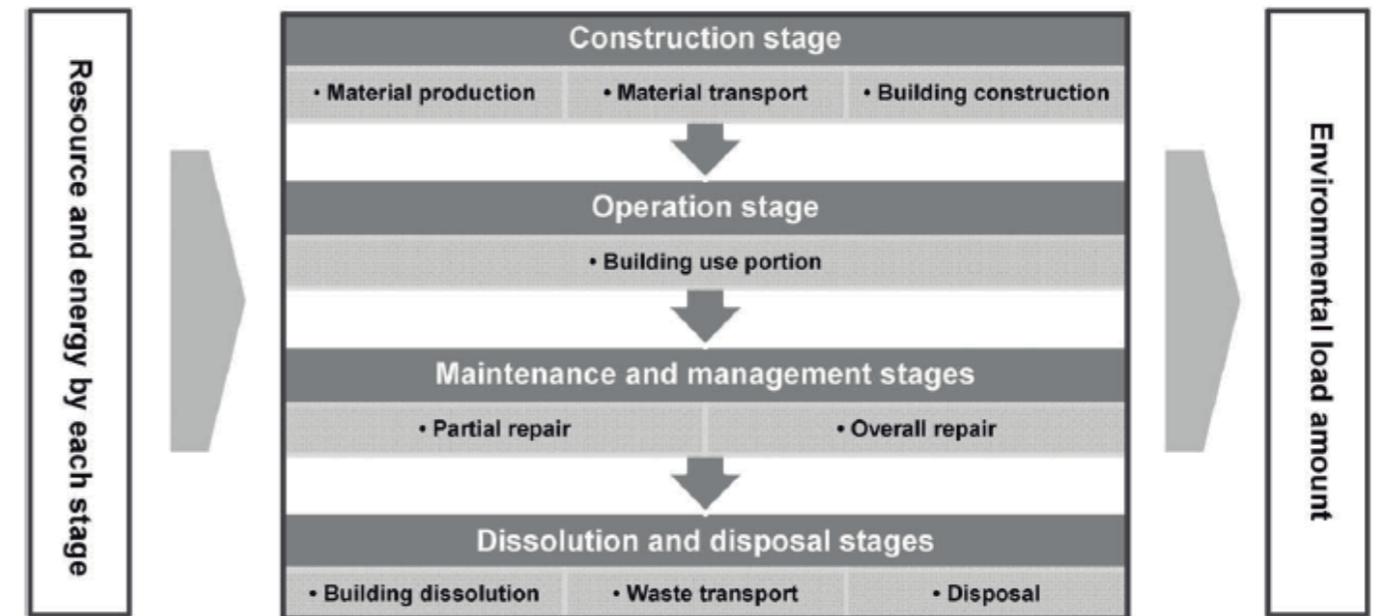
- Integration of BIM and LCA Evaluating the environmental impacts of building materials at an early stage of designing... (Revista: Journal of Building Engineering, año 2017)

- Modeling the energy and environmental life cycle of buildings. (Revista: Renewable and Sustainable Energy Reviews, año 2017)

- Life Cycle Assessment of embodied and operational energy for a passive. (Revista: Renewable and Sustainable Energy Reviews, año 2018)

Una vez hemos sintetizado los artículos que conformarán la realización del estado del arte, vamos a señalar aquellas cuestiones que nos han parecido más interesantes y relacionadas con nuestro trabajo.

En primer lugar señalaremos que ya desde el año 2011 con "The development of apartment house life cycle CO2 simple assessment" se señalan las etapas del análisis del ciclo de vida, que no son otras que la de construcción, operacional, mantenimiento y la última que sería la de disolución/eliminación (como podemos observar en la siguiente tabla):



Se propuso un método de evaluación de CO2 para cada etapa con el propósito de crear un sistema simple de evaluación y además, se evaluó el potencial de aplicar un programa de evaluación simple en relación con una simulación de evaluación de CO2 del ciclo de vida que utiliza un edificio de apartamentos real. Aquí reside la importancia del mismo, dado que no solo se intentó estudiar el ACV del edificio, sino que se propuso un programa

específico para la evaluación del mismo. Así pues, el primer programa de estudio de LCA (datado en 1996, Holland) fue **Eco-Quantum** y se centró en el análisis post-diseño del edificio, es decir, no se puede utilizar en ideación.



Sin embargo, el cálculo del impacto no se realizó de una manera unificada, sino que la etapa de operación del edificio y la etapa de mantenimiento se calcularon en base al "Sistema de certificación de vivienda ecológica" y al "Plan de reparación y reparación a largo plazo de la construcción de viviendas" del Ministerio de Corea y para la etapa de disolución / eliminación, se propuso un método de evaluación de CO2 que ingresaría en una base de datos la cantidad de petróleo utilizado por el equipo de eliminación y otros tipos relacionados de máquinas y analizaría el proceso de tratamiento de desechos.

En este contexto, en 2013 en " BIM implementation throughout the UK construction project cycle life" se pone de manifiesto que los sistemas BIM se usan más en las primeras etapas de proyecto y que los agentes que más se benefician del uso de estas plataformas son los clientes, seguidos por los proveedores de instalaciones. Sin embargo más del 70% de los encuestados no proporcionan un modelo 3D del proyecto y la razón más repetida (con un 74%) por la que no se usa BIM es la falta de experiencia dentro de esta metodología del equipo del proyecto. Además como se expresa en " Building Information Modeling (BIM) for existing buildings" la tecnología BIM se ha desarrollado en mayor medida para edificios de nueva planta y sin embargo hay una escasa implementación de BIM en edificios existentes debido al alto esfuerzo de modelado, una escasa actualización de información en BIM y porque se manejan muchos datos inciertos del edificio existente. Esto extrapolado a nuestro objetivo significa que LCA de edificios existentes sólo se podrá automatizar si las plataformas BIM se actualizan para edificios existentes.

Todo ello nos pone de manifiesto la oportunidad de educación en plataformas BIM.

En este punto y ya en 2014, encontramos el artículo " The past, present and future of carbon labelling for construction" en el que se aborda el tema sobre el desarrollo de una forma creíble y significativa de medir las emisiones de gases de efecto invernadero y se nombra la primera norma de valores de referencia para las emisiones de gases de efecto invernadero: PAS 2050. En ella se expone la necesidad de acciones futuras como:

- Búsqueda de sensibilización a los consumidores
- Proporcionar evaluaciones comparativas
- Asegurar una correcta estandarización
- Desarrollar tecnologías de simulación para proporcionar información creíble, precisa y transparente sobre las emisiones de GEI.

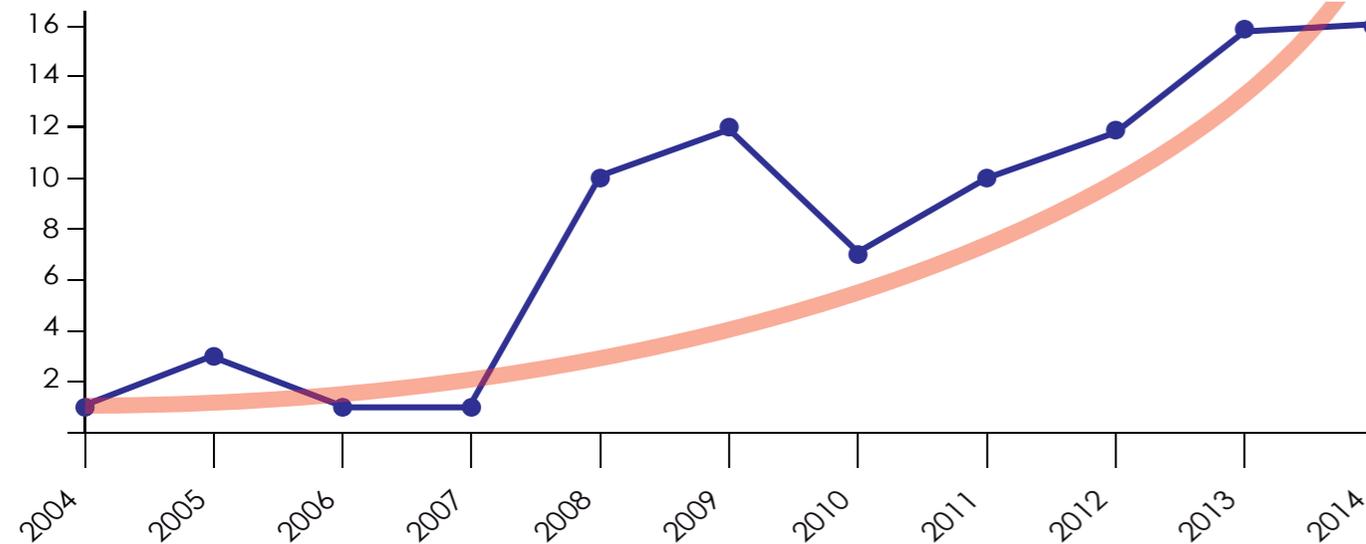
Continuando con la investigación, en "The importance of use and end-of-life phases to the life cycle", se le da importancia mayúscula al desarrollo de esquemas creíbles de etiquetado para materiales que contengan carbono, debido a su alta contribución a las emisiones globales de gases de efecto invernadero. Además se pone de manifiesto que las llamadas "etiquetas ecológicas" pueden no ser satisfactorias, dado que no se tienen en cuenta las fases de uso y final de vida (que tienen un impacto significativo en el LCA) y se advierte que en las plataformas BIM no pueden pasar por alto las fases de uso y final de vida.



Como podemos observar, la relación BIM y LCA se empieza a estudiar más a fondo y aparecen bastantes artículos que abordan este tema. En "Enhancing environmental sustainability over building life cycles through green BIM" se sugiere la realización de futuras investigaciones para el desarrollo dentro de plataformas BIM de una "ventanilla única" que monitorice y gestione la sostenibilidad ambiental durante el ciclo de vida completo de un edificio.

Además de ello, se expone que las futuras herramientas de BIM deberían incluir el concepto de las tres R (reducir, reutilizar y reciclar).

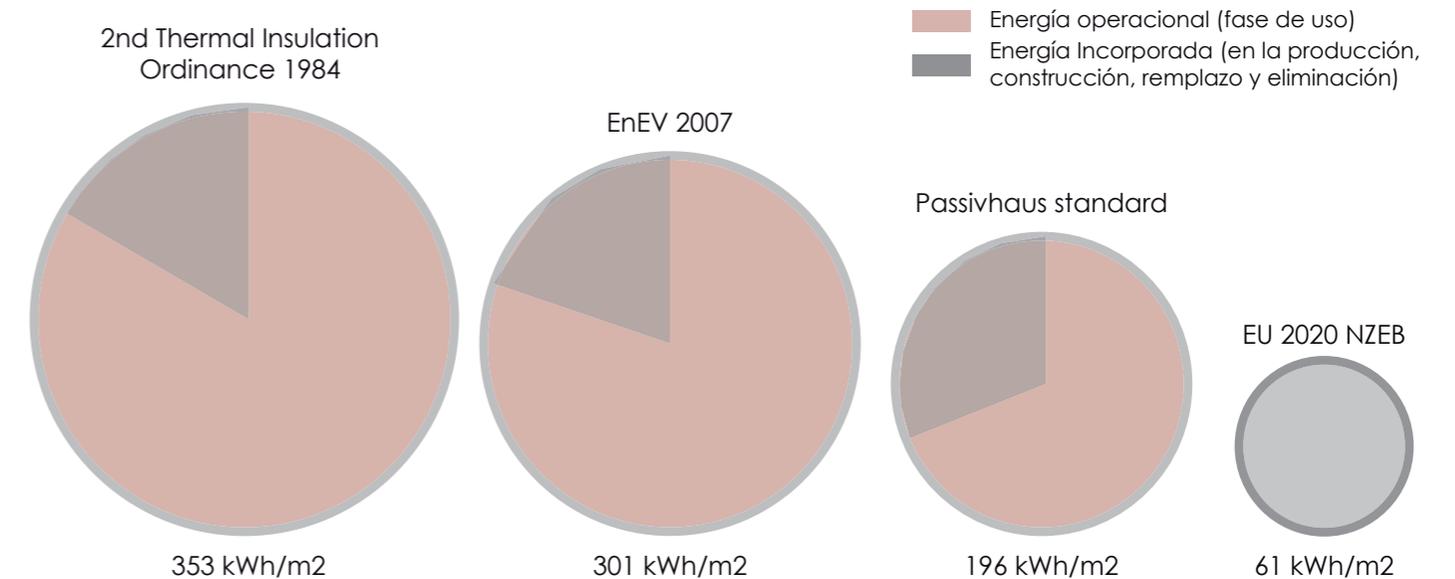
A continuación y en relación a lo antes mencionado, se muestra una tabla con las publicaciones de artículos científicos en revistas de primer nivel acerca de la relación de BIM y medioambiente:



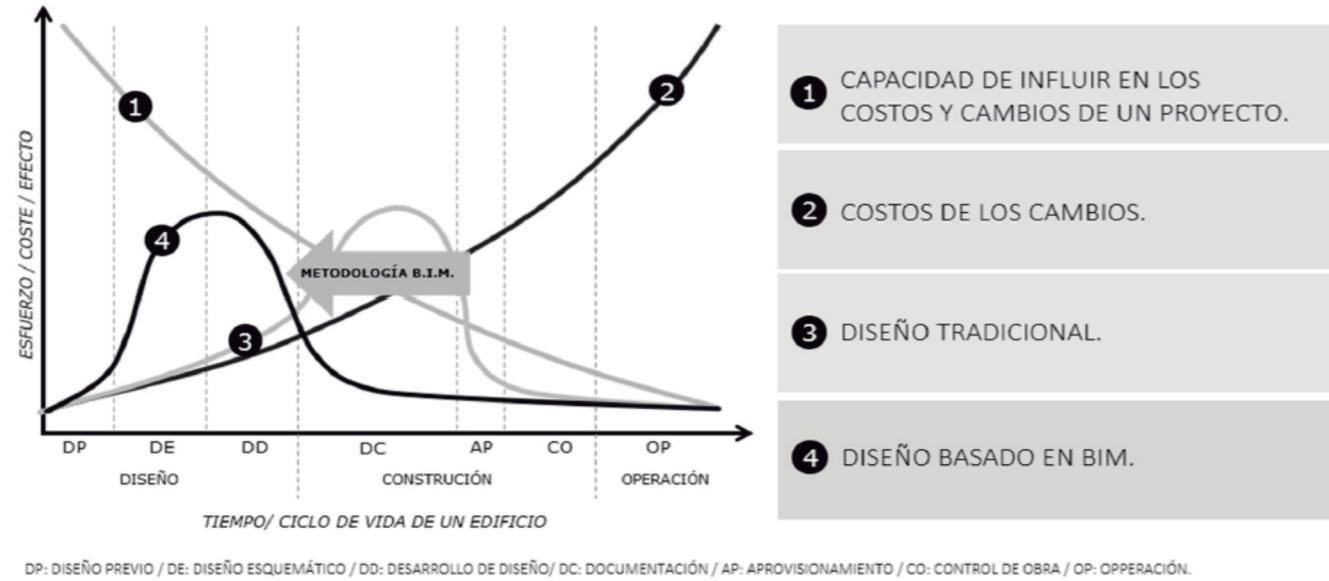
En esta gráfica se pone de manifiesto la relevancia que está adquiriendo actualmente en el mundo investigador el tema que se aborda en el TFM.

El problema actual del ahorro de la energía, como bien explicó en 2016 "LCA in architectural design. A parametric approach" es el siguiente:

Actualmente la Unión Europea mediante su Directiva de eficiencia energética en edificios (EPBD) apuesta por "Consumo energético casi nulo", es decir, una energía operacional casi nula. Sin embargo, no existe la mentalidad de ACV del edificio, dado que no se hace referencia a la energía incorporada a los edificios. Lo que esto está provocando es que todo el esfuerzo que implica este cambio de mentalidad a favor del medioambiente, no llegue a ser efectivo en el 100% de las etapas del edificio y por ello insuficiente para alcanzar esta meta.



Lo anteriormente explicado, se muestra en estas gráficas de manera simplificada. En ellas podemos observar como el grueso de la energía utilizada en la construcción de un edificio pertenece a la energía operacional. Con el paso del tiempo, esta energía operacional se ha ido disminuyendo gracias a los avances en la materia, sin embargo la energía incorporada no ha sufrido tal disminución.

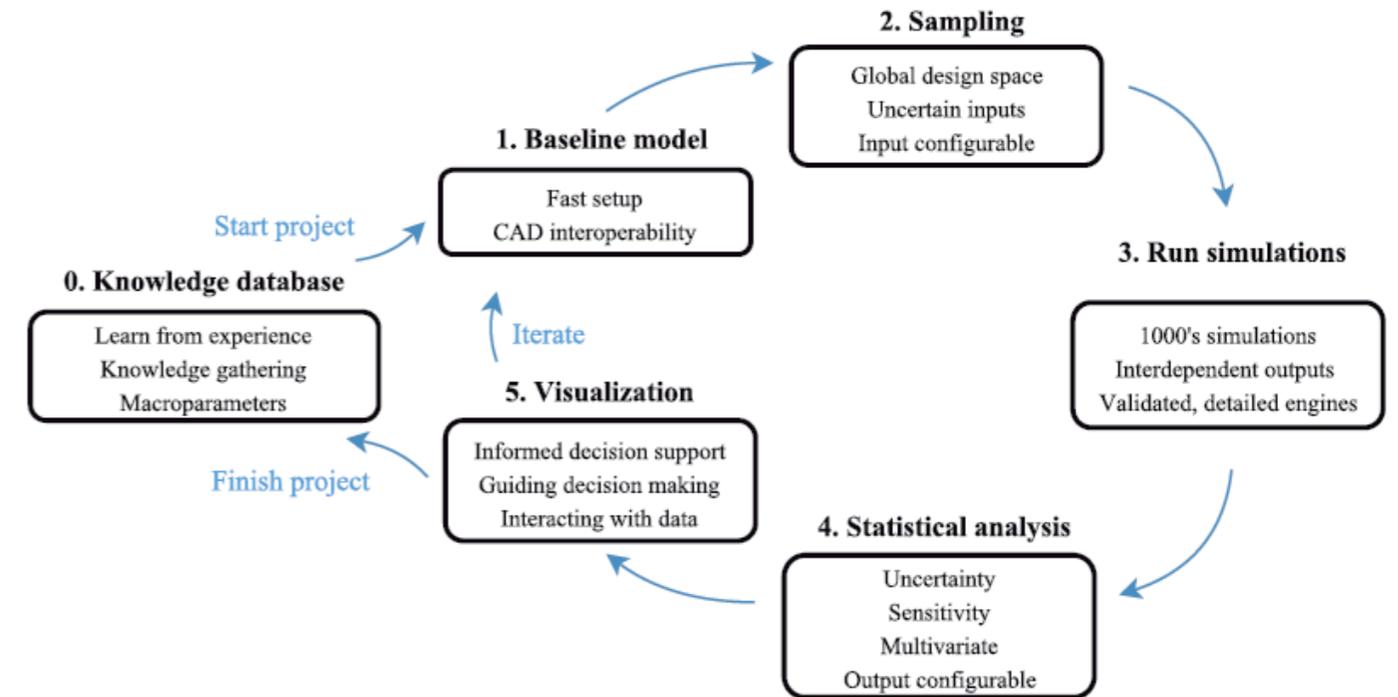


Además como podemos observar en la tabla anterior, el dilema actual del ACV es que las decisiones en las etapas iniciales, lógicamente, condiciona a todo el proyecto, siendo éstas las que mayor peso tienen a la hora de realizar los cambios.

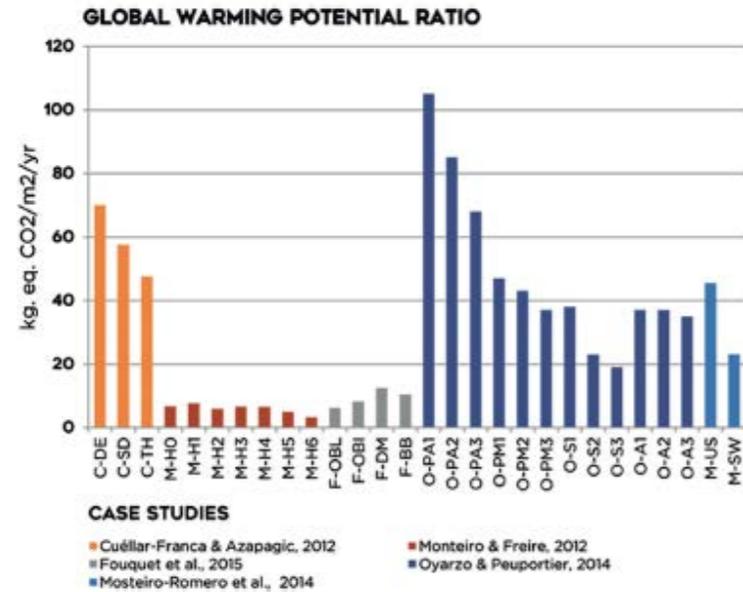
Es por ello que se indica que en el futuro, el costo podría ser integrado en el análisis de rendimiento del ciclo de vida.

Como acabamos de decir, las decisiones más importantes se toman en las etapas iniciales del proyecto y por ello sería muy útil la implementación de una herramienta que se utilice desde el inicio. Este software, como se expone en "Building simulations supporting decision making in early_Renewable and Sustainable Energy Reviews" se enfrenta a varios desafíos. Por un lado, la herramienta debe ser rápida a la hora de calcular el ACV, sin embargo, realizar el modelo del edificio en plataforma BIM requiere bastante tiempo si se quiere ser exhaustivo; además de ello, las decisiones que implican cambios en el diseño no solo están sujetas al pensamiento del arquitecto, sino que influyen otros agentes como ingenieros,

promotores o los propios propietarios de los edificios. Es por ello que se propone un método de trabajo en plataforma BIM, pero con soporte de CAD, el cual una vez terminado el proyecto pueda ser extrapolado al ACV y al LCC. En el siguiente gráfico se puede observar tal método de trabajo de una manera simplificada:



Tal es la importancia del ACV que en el mismo año 2016 se realiza una revisión del ACV de 20 viviendas unifamiliares (14 europeas, 5 no europeas y 1 modelo mixto) en "Simplification in life cycle assessment of single-family houses A review of recent developments" en la cual, se utilizan las normas ISO 14040, ISO 14044, EN 15978 y EN 15804. En tal revisión se incluyen las fases de producción, uso y demolición del edificio, y el impacto ambiental más considerado es el de GWP.



Las conclusiones a las que se llegaron tras este estudio fueron las siguientes:

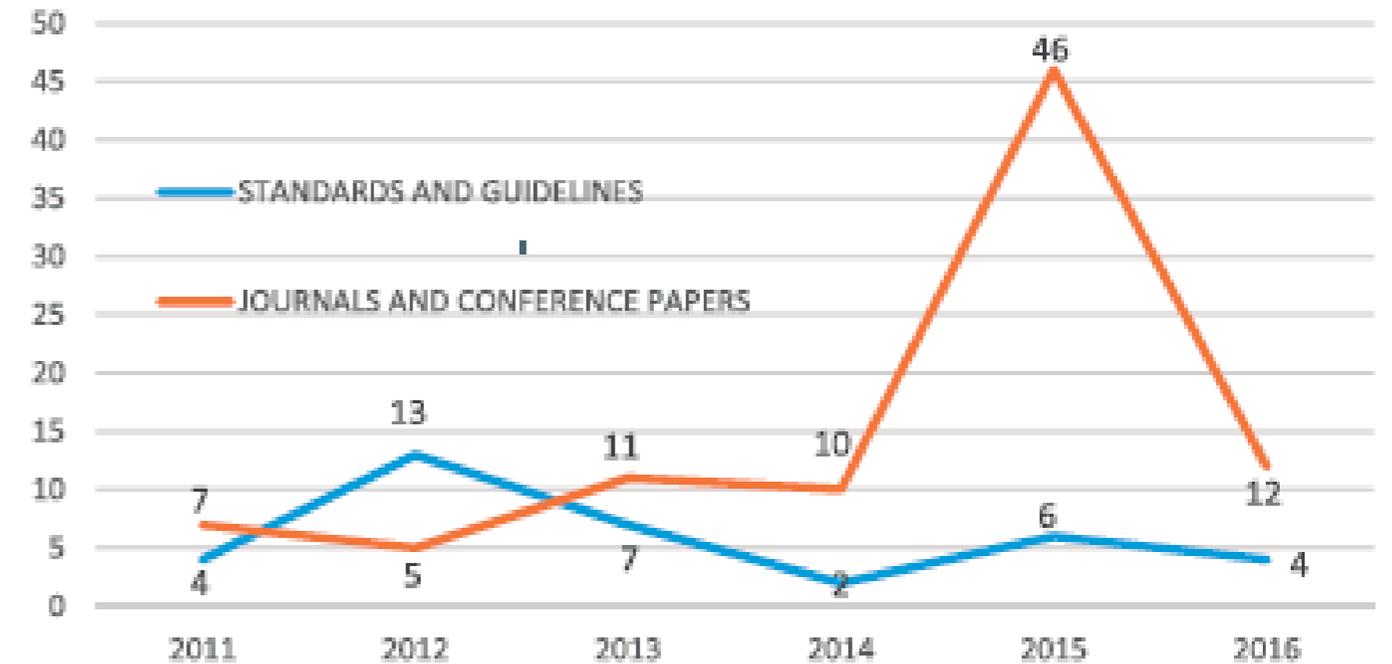
- Existe la necesidad de desarrollar un criterio común para poder comparar resultados.
- Los EPD ((Environmental Product Declaration) para productos de construcción deben seguir siendo desarrollados para una mayor fiabilidad de los resultados
- Necesidad de incluir BIM en LCA dado que casi el 15% de los artículos revisados para la elaboración de tal artículo han recomendado o usado modelos BIM durante la aplicación LCA.

- Hay que desarrollar criterios comunes para comparar resultados de tipologías de construcción similares. Una posibilidad es presentar resultados por sistemas (cimentación, estructura, paredes...)

Al hilo de las conclusiones arrojadas por el anterior estudio, "An integrated BIM based framework for minimizing embodied energy during building design " señala que Muchas bases de datos LCA utilizan valores promedio de la industria, no los específicos del material de cada proveedor. Este es otro motivo más para desarrollar los EPD. Además de ello se señala que la energía incorporada asociada a fases de producción y transporte de materiales tiene un gran efecto en el uso de la energía y la sostenibilidad del edificio y es por ello que se presenta un marco en el que se evalúa la energía incorporada asociada a la cadena de suministro de materiales de construcción en función de las Declaraciones de Producto Ambiental (EPD) de los proveedores.

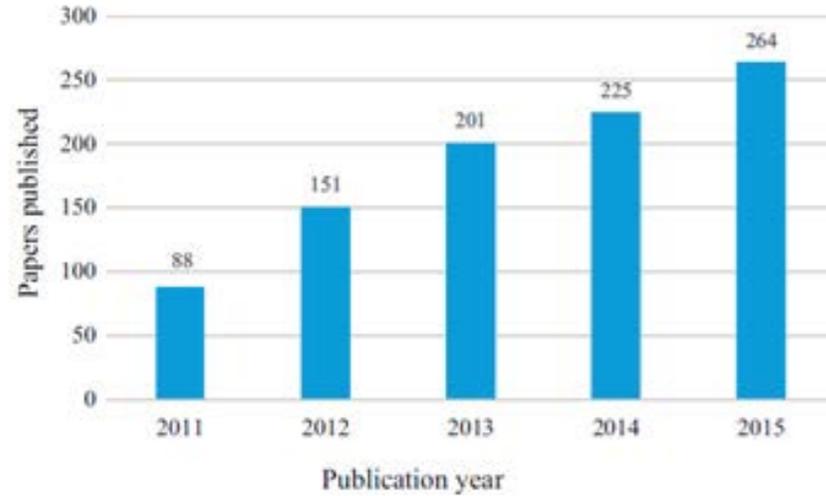
En este momento de la investigación, se encuentran dos artículos más que resumen la im-

portancia que adquiere la sostenibilidad en edificios. El primero es "A mixed review of the adoption of Building Information", en el que además de resaltar que aunque ha habido una cantidad significativa de investigación y desarrollo sobre el uso de BIM durante varias fases del proyecto, poco se ha llevado a cabo sobre cómo se podría aplicar en restauración y demolición, se muestra la siguiente tabla:



Llama la atención la inmensa cantidad de referencias a nuestro tema en el año 2015 (dado que el estudio está realizado sin que hubiera terminado el año 2016, se aprecia una bajada considerable que no refleja la realidad actual). Por esto, se señala la necesidad de la creación de Nuevas herramientas BIM para evaluar los criterios de sostenibilidad, la simplificación de BIM en remodelación y demolición de edificios y un sistema innovador que no solo tenga en cuenta el impacto ambiental y el coste económico de un proyecto, sino que la dimensión social adquiera un estatus importante.

El segundo artículo que hace referencia al creciente interés en LCA es "Recent developments, future challenges and new research directions in LCA of Buildings". En él se expone la siguiente tabla:

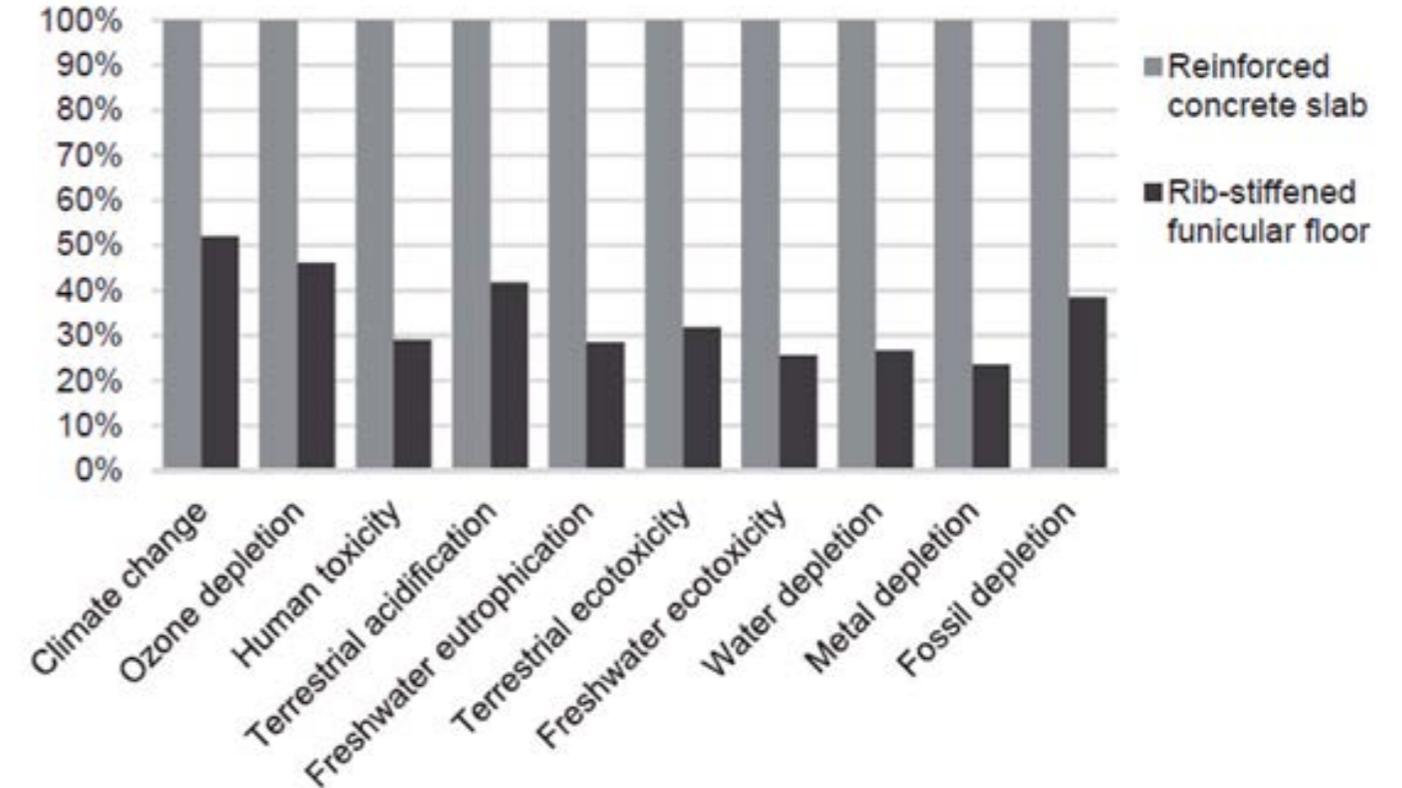


De nuevo se aprecia una curva ascendente en cuanto a publicaciones por año de ACV. Se llega a la conclusión de que la mayoría de las publicaciones del año 2015-2016 se centran en la energía incorporada y se resalta que hay varias áreas que requieren desarrollo en investigación y colaboración industrial para poder maximizar el uso del ACV.

Como último artículo revisado de 2016 se encuentra "Environmental design guidelines for digital fabrication". En él se advierte de que ha aumentado la energía incorporada a los edificios porque las regulaciones energéticas (Parlamento y Consejo Europeo 2012) se centraron en optimizar el rendimiento energético de los edificios solo en la fase operacional.

Como solución se propone lo que venimos señalando desde el principio de la investigación: Incorporar el ACV a las primeras etapas del proyecto dado que actualmente se aplica después por la complejidad del proceso y necesidad de información detallada y para entonces los resultados no son tan valiosos como los serían al principio del diseño. Por otra parte, se señala que el impacto de la fabricación digital (en particular la impresión 3D) es insignificante en comparación con el proceso de fabricación de materiales y se expone

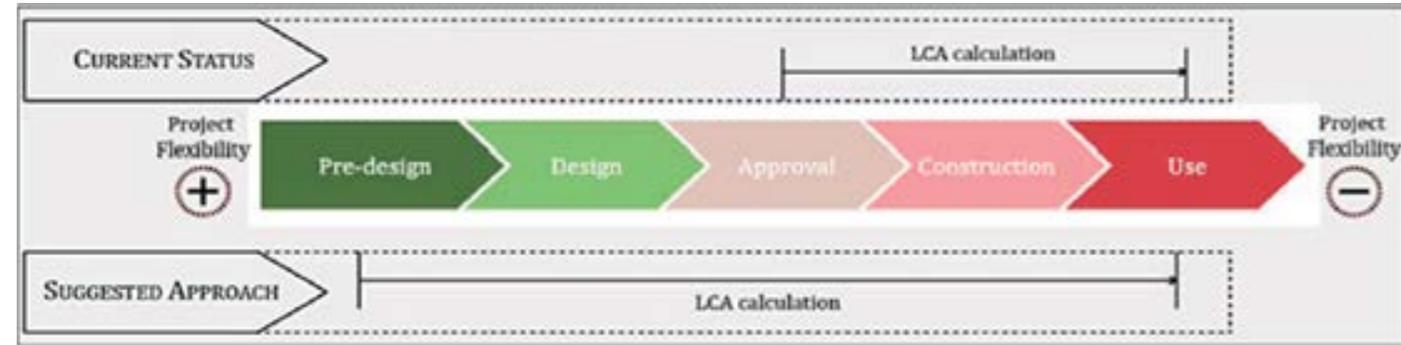
el siguiente gráfico:



En él se observa la gran diferencia que existe entre una losa de hormigón armado y un forjado reticular de costillas rígidas realizado con impresión 3D. El impacto ambiental que genera el forjado de hormigón armado en la mayoría de los impactos ambientales es el doble que la del forjado creado con impresión 3D.

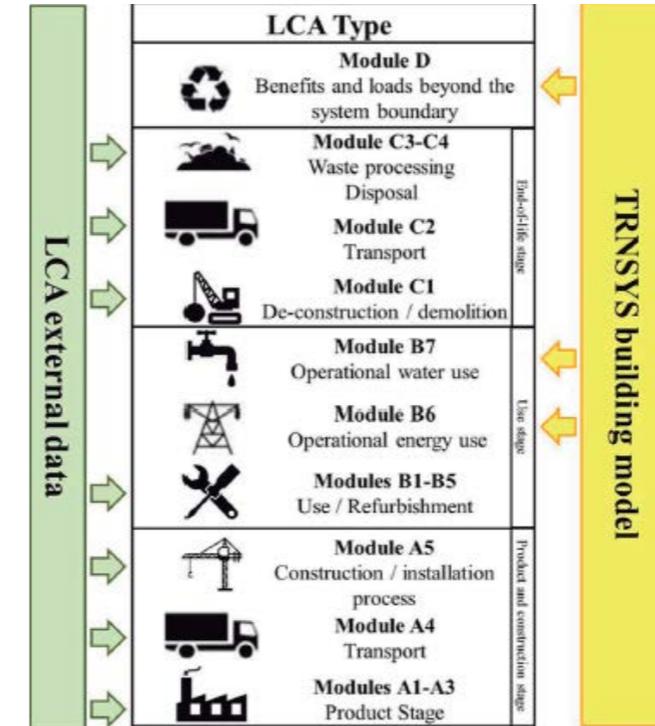
Ya en 2017, "Integration of BIM and LCA Evaluating the environmental impacts of building materials at an early stage of designing" realiza un estudio de un edificio de oficinas de varias plantas para validar el desarrollo de conceptos de diseño y analizar los resultados

generados por las herramientas BIM y ACV. Se evaluó la metodología ACV con las directrices ISO 14040 y 14044 utilizando Autodesk Revit como un programa BIM y las aplicaciones Green Building Studio y Tally integradas en Revit.



Tras este estudio, Se indicó que la integración de BIM-LCA es un procedimiento óptimo para lograr el desarrollo sostenible y la protección del medio ambiente y empodera el proceso de toma de decisiones en el sector de la construcción. Además, este trabajo describe que la mayoría de los impactos ambientales negativos ocurren durante las fases de fabricación y operación. Por lo tanto, alienta a revisar la aplicación de materiales de construcción a fin de reducir la contribución pasiva al medio ambiente.

Asimismo, y en este mismo año, "Modeling the energy and environmental life cycle of buildings" arroja el dato de que, en edificios de bajo rendimiento, la energía incorporada está entre un 70% y un 90% del total (operativa+incorporada). Se defiende que El ACV sirve para comparar diferentes soluciones que brindan un mismo servicio, optimizando así los procesos y componentes durante su ciclo de vida y por último, Se realiza un análisis del ACV a través de la programación de un componente de TRNSYS, en la que se tienen en cuenta todas las fases que intervienen en el ACV, como podemos observar en el siguiente gráfico:



Para finalizar esta búsqueda de información, destacaremos lo expuesto en "Life Cycle Assessment of embodied and operational energy for a passive", artículo publicado en este año 2018. En él se señalan temas tales como que el uso de madera en lugar de hormigón es ventajoso en términos de minimizar tanto el GWP como el AP (potencial de adificación) o que los edificios "pasivos" o de energía cero", que optimizan la energía operativa, requieren materiales adicionales o la instalación de tecnologías que aumentan aún más la energía incorporada del edificio y las emisiones ambientales relacionadas. Es por ello por lo que el factor más importante es el de diseñar el edificio con estrategias pasivas en vez de recurrir a la tecnología.

Este camino de investigación nos ha servido para ponernos en contexto y poder encaminar la realización del TFM, de acuerdo con las ideas más importantes extraídas de los distintos artículos científicos que se han publicado los últimos años en revistas de primer nivel como por ejemplo:

- Renewable and Sustainable Energy Reviews
- Automation in Construction
- Building and Environment
- Renewable and Sustainable Energy Reviews
- Journal of Cleaner Production

Estas ideas que se han señalado a lo largo del estado del arte se explican a continuación.

3.3 RESUMEN Y CONCLUSIONES DE LA BIBLIOGRAFÍA CIENTÍFICA ESTUDIADA

Una vez que hemos repasado los artículos científicos más relevantes para la realización de nuestro trabajo, se expondrán las conclusiones que se extraen de ellos para que nos ayuden a la hora de realizar la herramienta a desarrollar, la cual debería de tener en cuenta los siguientes aspectos:

- La herramienta debería de poder ser utilizada en todas las etapas de realización del proyecto (Ideación, proyecto básico, proyecto de ejecución...) siendo la más importante la etapa de ideación, dado que como hemos visto, las decisiones que se toman en esta etapa son las que influyen más tanto en los impactos ambientales como en el aspecto económico y de tiempo empleado para mejorar el proyecto.
- Los datos de impactos ambientales deben de ser importados desde una base de datos fiable y de calidad. En nuestro caso tenemos la suerte de contar con la extensa y precisa base de datos de Ecoinvent
- La herramienta debería de integrar las 4 etapas de LCA (producto, construcción, uso y final de vida), sin embargo actualmente y debido a los datos que tenemos al alcance, la etapa de uso/operacional no es posible incluirla en tal herramienta, por lo que sería una buena línea de investigación para trabajos futuros.
- Los impactos ambientales más relevantes y que se tienen en cuenta en más artículos científicos son los de GWP y CED, es por ello que se debería de integrar al menos uno de ellos en el análisis que se realice.
- Es evidente la potencia que las plataformas BIM tienen actualmente, por ello se aprovechará tal potencia integrando la herramienta en este tipo de plataformas. Se realizará en Revit y Dynamo.

3.4 ESTUDIO DE HERRMIENTAS ACTUALES PARA EL ACV

Para terminar este estado del arte, vamos a probar una herramienta de cálculo de ACV que actualmente se puede utilizar dentro de Revit. Se trata de Tally, que como bien dice en su página web KT Innovations, una filial de KieranTimberlake, comenzó a desarrollar Tally en 2008. En respuesta a la creciente concienciación de la industria sobre las consideraciones del ciclo de vida, KT Innovations se asoció con Autodesk Sustainability Solutions y thinkstep (antes PE International) para crear una herramienta completa y fácil de usar que aporta datos precisos del ciclo de vida al proceso de diseño.

Además, Tally es ganadora del Premio I + D de ARQUITECTO 2016 "Evaluación del impacto ambiental a la velocidad del diseño" y del premio BIM de AIA Technology in Architectural Practice 2014 "Destacando los mejores casos de estudio de casos en tecnología de modelado de información de edificios". Está aprobado para "LEED v4" por lo que ayuda a lograr un crédito para la reducción del impacto del ciclo de vida del edificio.

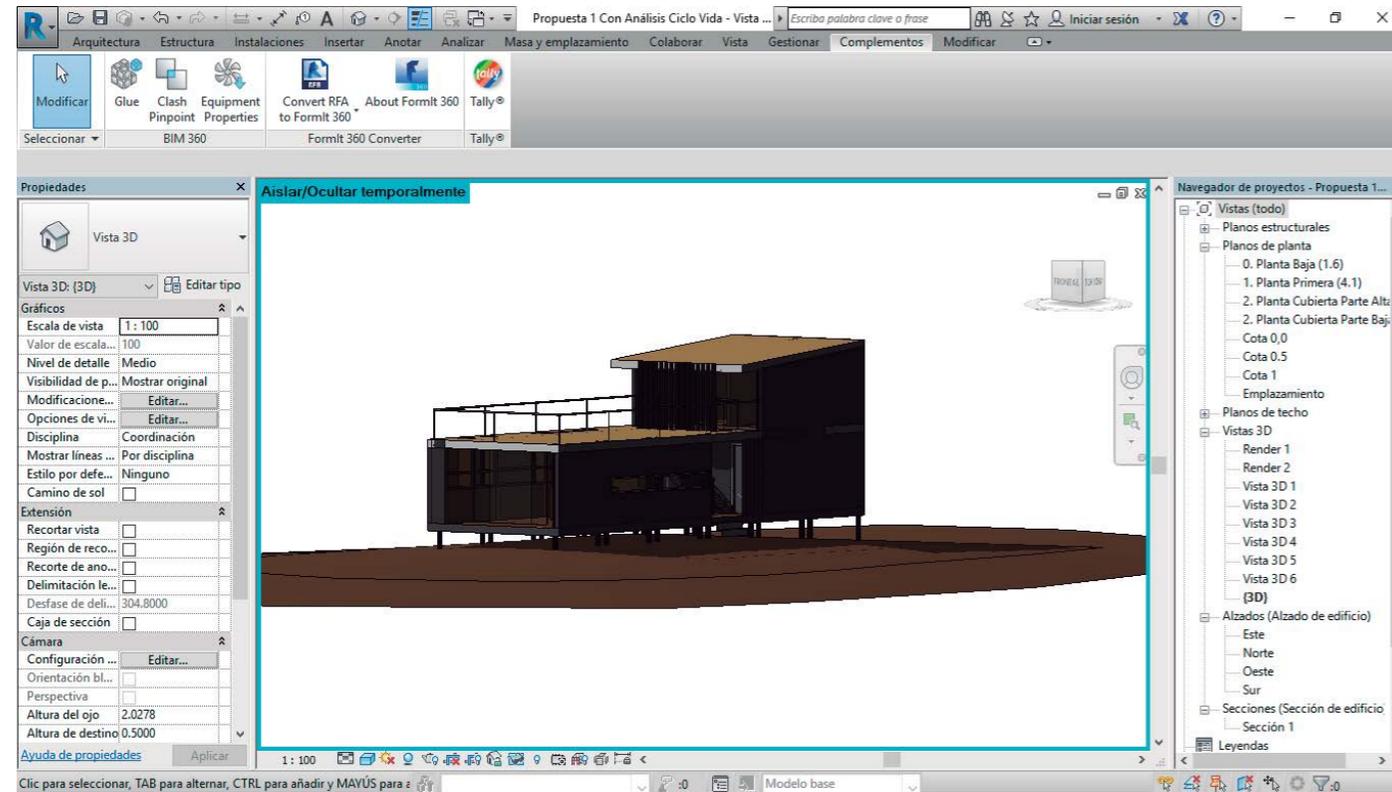
La metodología de Tally es consistente con los estándares ISO 14040 -14044, ISO 21930: 2017, ISO 21931: 2010. EN 15804: 2012 y EN 15978: 2011

A continuación se explicará la metodología seguida a la hora de testar la herramienta paso por paso.



Paso 0: Creación del modelo

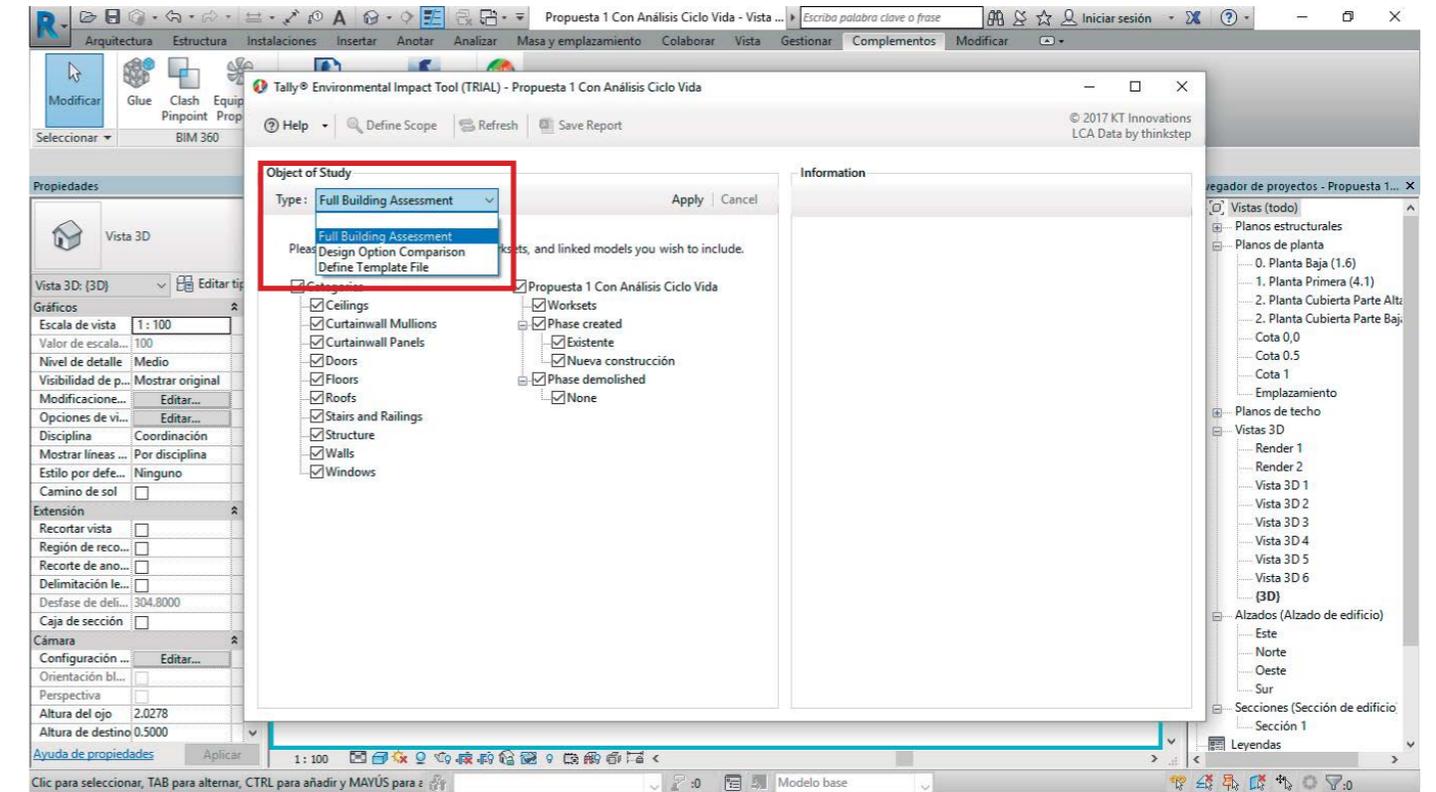
Para el análisis del ACV con Tally, se ha seleccionado un modelo 3D realizado en Revit durante el curso del MIATD 2017-2018 por Daniel Ramos Sánchez, Francisco Vázquez Naharro y Luisa Seixas Salles. El modelo elegido es el siguiente:



Como se puede apreciar, Tally está totalmente vinculado a Revit.

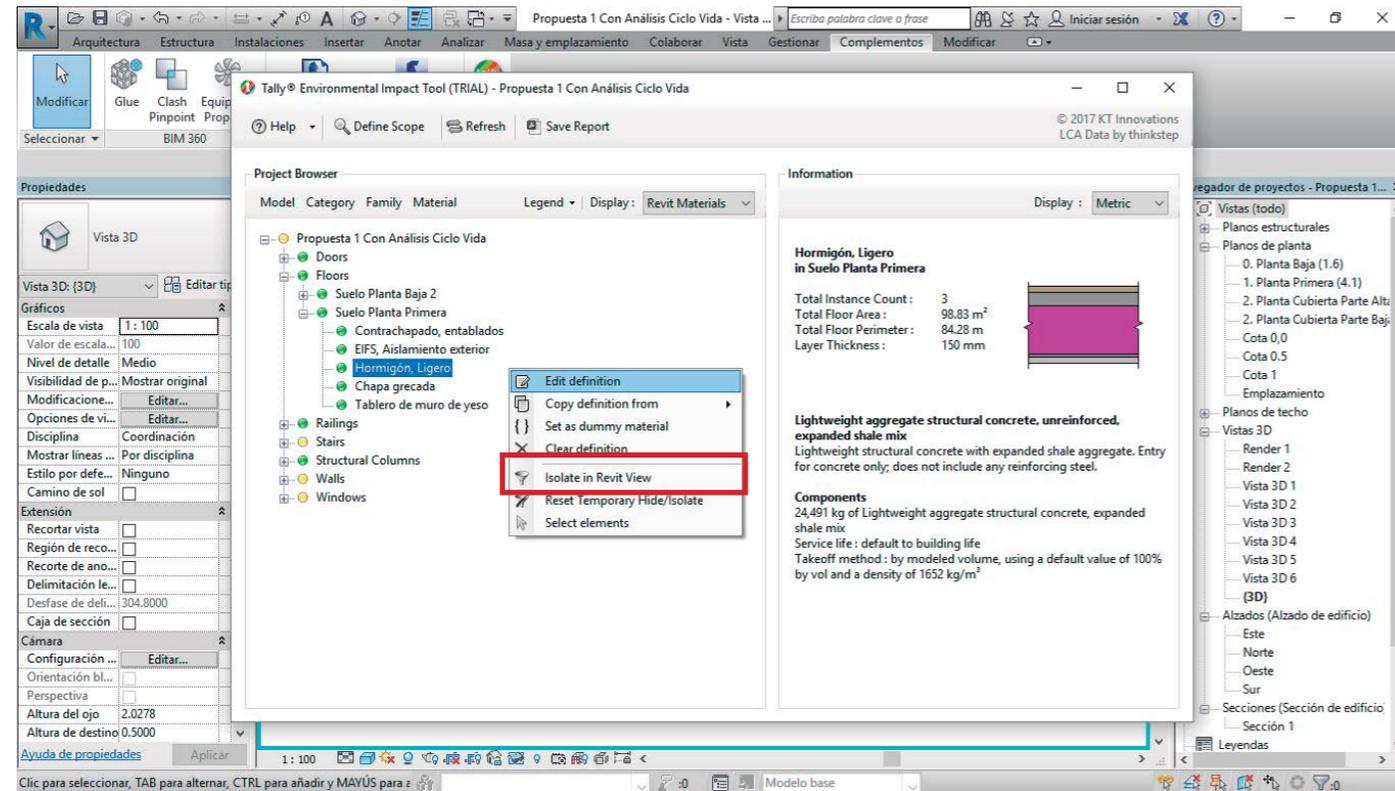
Paso 1: Elección del tipo de análisis

Dentro de Tally hay varios tipos de análisis, nosotros elegiremos el total del edificio



Paso 2: Introducción de materiales y posterior cálculo

Una vez que hemos realizado el modelo y elegido el tipo de análisis que queremos realizarle, necesitamos introducir cada uno de los materiales intervinientes en él dado que el programa por sí solo no reconoce los materiales que hemos introducido anteriormente en Revit.

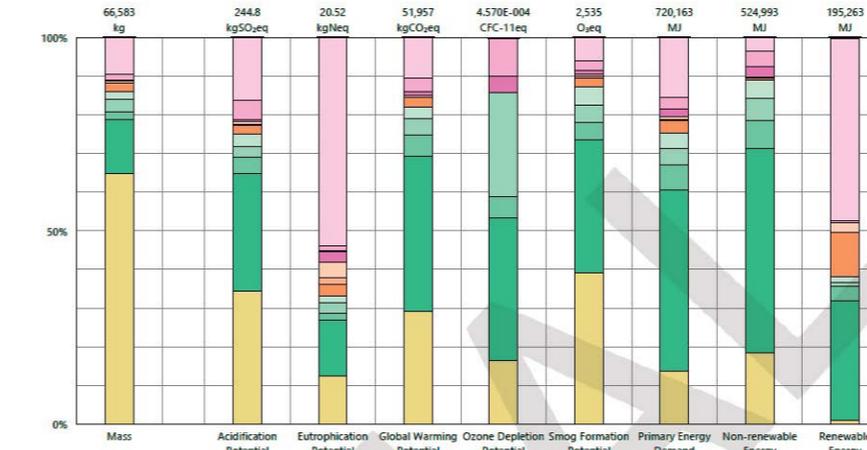


Una vez introducido el material, si éste se queda en verde está correctamente definido, en cambio si sale en amarillo tiene algún error que habría que revisar para un correcto cálculo del mismo.

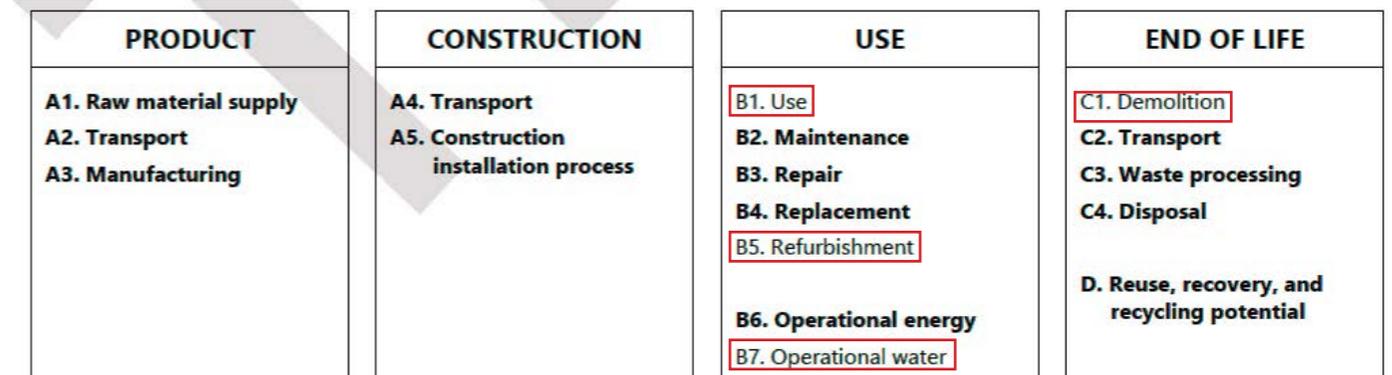
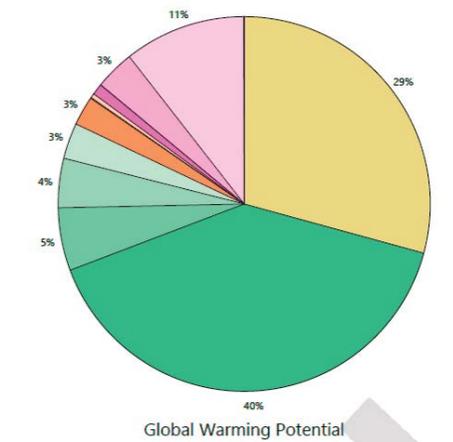
Paso 3: Análisis de los datos obtenidos

Una vez finalizado el cálculo, podremos interpretar los datos que nos arroja el informe que nos genera automáticamente Tally.

Results per Division, itemized by Material



Results per Division, itemized by Material



Los datos se muestran en distintas gráficas (columnas, sectores...) y como podemos ver, Tally no tiene en cuenta los impactos asociados a las etapas señaladas en la imagen anterior.

3.5 RESUMEN Y CONCLUSIONES DE LA HERRAMIENTA ESTUDIADA

Para hacer más visual nuestro resumen, las conclusiones las dividiremos en ventajas e inconvenientes que hemos extraído del ACV realizado con el programa Tally.

3.5.1 Ventajas

- Tally está dentro de Revit, es una pestaña que facilita la realización del ACV
- Puedes evaluar el proyecto de dos formas distintas, una total en la que se tiene en cuenta todos los elementos pertenecientes al modelo y otra de comparación entre dos o más elementos, que te permite elegir aquel que más interese. Con otras palabras, permite seleccionar aquellos grupos (o elementos) que interese analizar, por lo que no es necesario analizar todo para sacar conclusiones parciales.
- Es un programa que realiza el cálculo de una manera rápida, al rededor de 30 segundos.
- Implementa una opción en la que se permite crear plantillas dentro del programa Revit para proyectos futuros no estar obligado a empezar desde 0, por lo que agiliza el proceso.
- Los datos que se calculan dentro del programa se exportan y crean tablas de Excel resumiendo el ACV.

3.5.2 Inconvenientes

- No se actualiza al momento, si se cambia cualquier característica del modelo, no se cambia directamente en Tally, habría que rehacer el cálculo.
- No te ofrece alternativas más óptimas que las que se tienen en el momento del cálculo.
- No se puede proyectar a la vez que analizar.
- No sigue la filosofía BIM, debes de realizar doble trabajo dado que hay que introducir los materiales que conforman el proyecto primero en Revit y de nuevo en Tally.
- El análisis no es intuitivo ni visual directamente sobre el modelo.

Podemos afirmar tras este estudio, que Tally es una buena herramienta de análisis de los impactos asociados a un edificio puesto que arroja una serie de gráficos que resumen su comportamiento ambiental. Sin embargo la gran carencia que observamos es la de no poder utilizar la herramienta al mismo tiempo que estamos proyectando el edificio, sino que tenemos que realizar el proyecto y una vez hecho hacer el análisis.

Una vez que hemos realizado un análisis tanto de los artículos científicos como del programa Tally y extraído conclusiones de ambos, se da por finalizada la etapa de búsqueda de información del estado del arte.

4. ELECCIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL MODELO SELECCIONADO

4.1 Justificación de la elección

Aprovechando que a mediados del mes de Septiembre del presente año 2018 se ha celebrado una reunión del grupo IEA EBC Annex 72 "Assessing Life Cycle Related Environmental Impacts Caused by Buildings" (de ahora en adelante haremos referencia a este grupo como "Annex 72") para avanzar y debatir sobre el procedimiento a seguir a la hora de realizar un ACV, se ha elegido el modelo de estudio internacional propuesto por este grupo de investigadores, para a la vez de realizar un modelo a seguir para el ACV, apoyar la investigación que está realizando el grupo de investigación TEP-130 de la universidad de Sevilla conjuntamente con el grupo internacional Annex 72.

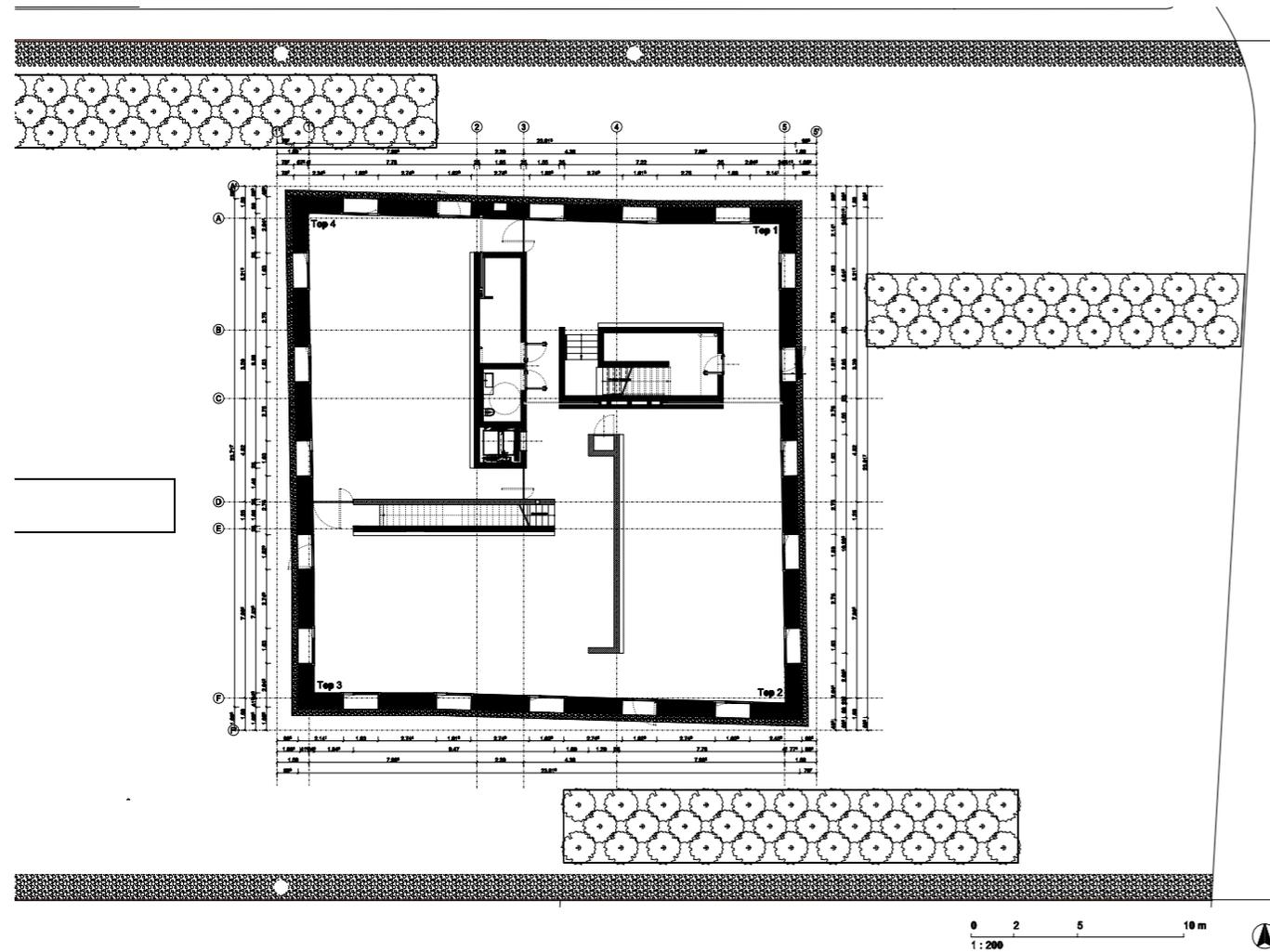
4.2 PLANIMETRÍA DEL EDIFICIO

A continuación, se mostrará la planimetría del edificio elegido, con referencia BE2226. Se ha considerado que el edificio está situado en Sevilla capital, en la Avenida Menéndez Pelayo, solar de La Florida (solar actualmente vacío)

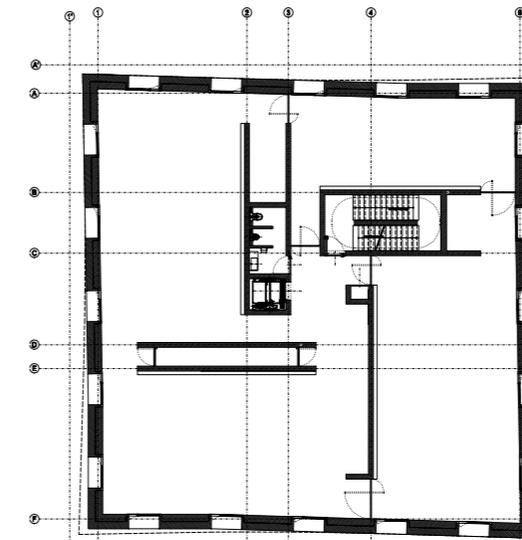


El edificio cuenta con planta baja más seis, en la que cada planta se desarrolla una vivienda y una cubierta transitable con placas solares. La planta es un cuadrilátero ligeramente romboidal, con tres núcleos de comunicación (dos escaleras y un ascensor)

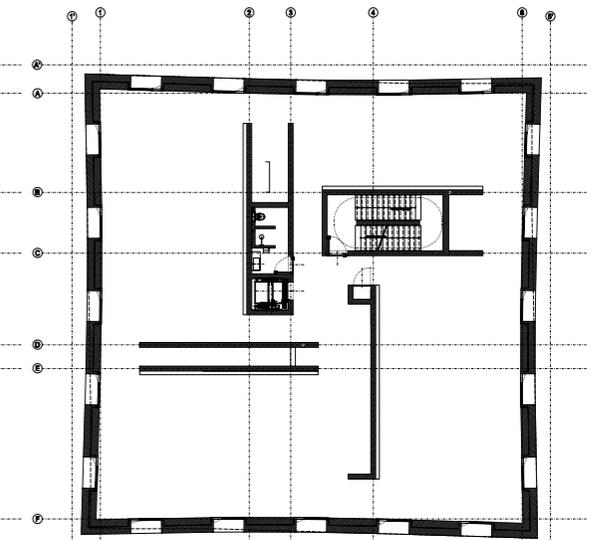
PLANTA BAJA



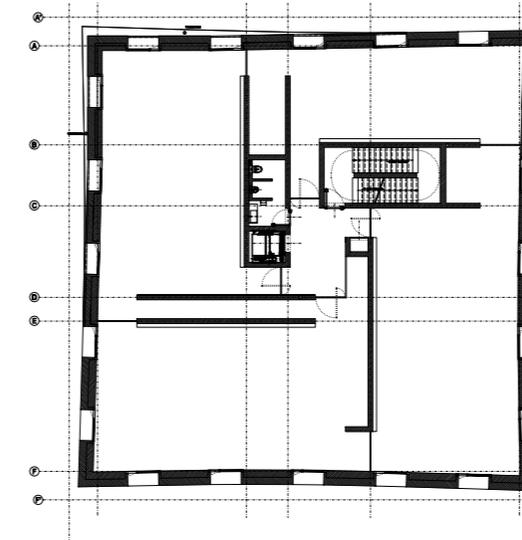
PLANTA PRIMERA



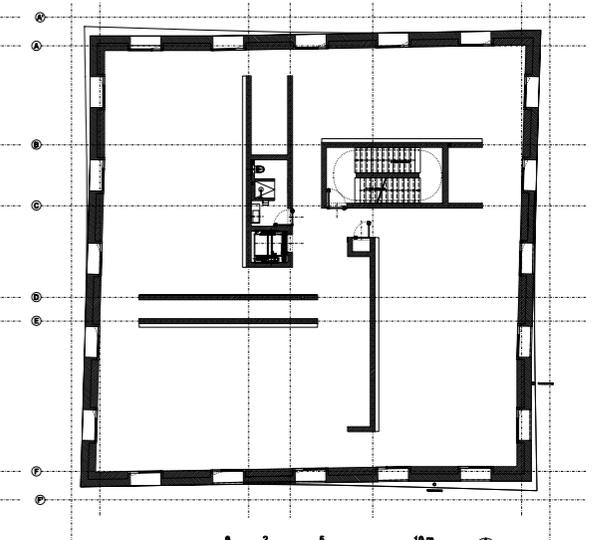
PLANTA SEGUNDA



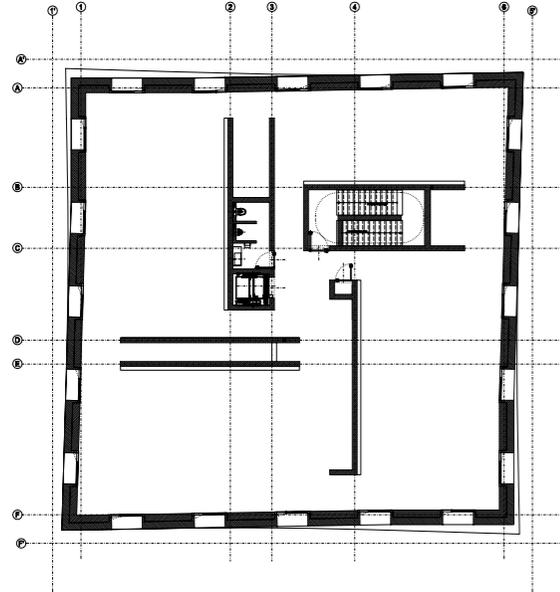
PLANTA TERCERA



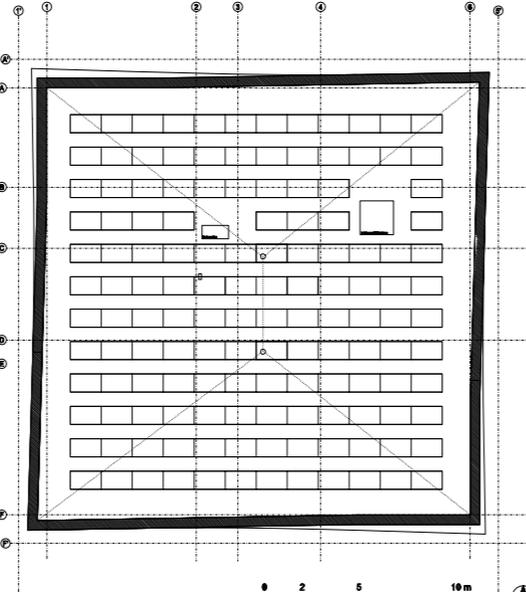
PLANTA CUARTA



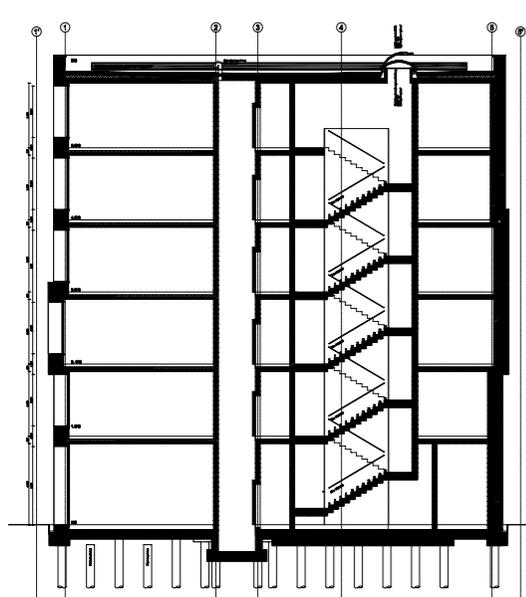
PLANTA QUINTA



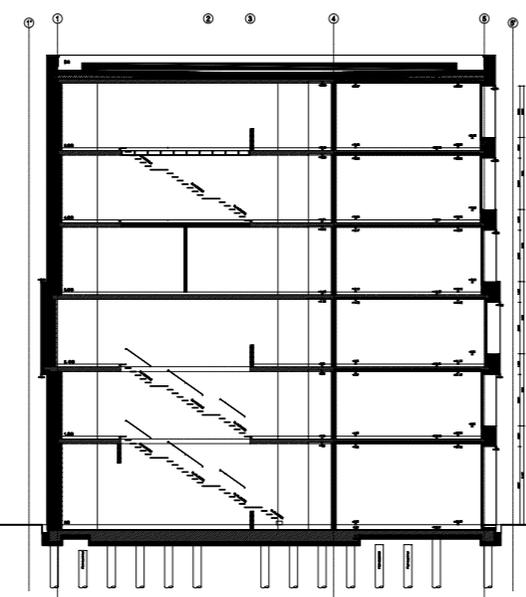
PLANTA CUBIERTA



SECCIÓN POR ESCALERA 1



SECCIÓN POR ESCALERA 2



4.3 ESTRUCTURA GENERAL DEL EDIFICIO

A continuación, se mostrará una tabla con todos los elementos y subelementos que conforman el edificio.

Building element Type	Building Element
Foundation	FN01_Structural foundation, driven piles new, d42.0
	FN02_Structural foundation, slab-on-grade slab, reinf. Concrete, 25.0
	FN03_Structural foundation, special
	FC01_Perimeter insulation (slab-on-grade)
External walls	EW01_External wall, outer brick + plaster, 40.5
	EW02_External wall, brick attica, 38.0
Floor structure	FS01_Floor structure, upper floors, concrete slab+plaster, 24.5
Roof structure	RS01_Roof structure, concrete slab, 24.0
Stairs	ST01_Stair primary, concrete, w 100.0
	ST02_Stair secondary, wood, w 100.0
Internal walls	IW01_Interior wall, brick + plaster 27.0
	IW02_Interior wall, brick + plaster 17.0
	IW03_Interior wall, brick+plaster, 12.0
Flooring	FL01_Floor finish, ground floor, 29.5
	FL02_Floor finish, upper floors, 14.5
Roofing	RF01_Roofing, sealing+insulation+foil+gravel, 36.0
Windows	WE01_Windows exterior, ground floor, incl. side panel
	WE02_Windows exterior, upper floors, incl. side panel
Doors	DE01_Door exterior, ground floor, incl. side panel
	DI01_Door interior, wooden door + frame
	DI02_Door interior, glass door (modelled as wall), 5.5
Building services	DI03_Door interior, wooden door + frame
	SA01_Sanitary equipment
	EL01_Elevator

5. BÚSQUEDA DE ARMONIZACIÓN: ACV MANUAL

5.1 Método de trabajo

El objetivo de este trabajo es el de hacer un análisis del ciclo de vida (LCA) del edificio con referencia BE2226. Para su realización se van a crear dos tablas de excell que, a través de cálculos dentro de la misma, nos de los datos relativos al impacto medioambiental tanto en la etapa de producción/deproducción y construcción/deconstrucción (Sistema 1) como en la operacional (Sistema 2) en las siguientes categorías de impacto medioambiental:

- Potencial de acidificación (kg SO₂-Eq)
- Cambio climático (kg CO₂-Eq)
- Potencial de eutrofización (kg NO_x-Eq)
- Ecotoxicidad acuática de agua dulce (kg 1,4-DCB-Eq)
- Toxicidad humana (kg 1,4-DCB-Eq)
- Oxidación fotoquímica (niebla tóxica de verano) (kg formed ozone)
- Recursos (kg antimony-Eq)
- Agotamiento del ozono estratosférico (kg CFC-11-Eq)
- Ecotoxicidad terrestre (kg 1,4-DCB-Eq)
- Demanda de energía acumulada (MJ-Eq): Biomasa, Fósil, Nuclear, Agua, Viento, Solar y Geotérmica.

Dado que el edificio no se encuentra en territorio español, se hace una hipótesis de ubicación por la cual el edificio estaría situado en Sevilla capital, en la Avenida Menéndez Pelayo, solar de La Florida. Este solar actualmente está sin edificar, tiene una superficie en la que hipotéticamente podría implantarse el edificio y es de uso residencial, que coincide con el programa de este.

Los datos de los que partiremos para el análisis del ciclo de vida del edificio con referencia BE2226 provienen de una tabla de excell proporcionada por el grupo Annex 72. Es por ello que se ha extraído de esta tabla la cantidad de material del edificio y se ha comprobado que tales datos coinciden con los del modelo en Revit.

Tras ello, procederemos a rellenar las dos tablas de excell (Sistema 1 y Sistema 2)

5.2 CREACIÓN DE LA TABLA N° 1

SYSTEM 1_ Impacto medioambiental en la etapa de producción/deproducción y construcción/deconstrucción

Paso 01. Sistema 1 (Cantidad de material): Crear la lista de materiales del edificio.

Los datos pertenecientes a las columnas C-D-E-F y G se han extraído directamente de la información proporcionada por Annex 72. A estos materiales se le ha asignado un código (M01, M02...) y se les ha añadido una columna con unas unidades diferentes a las proporcionadas que nos servirán más adelante. Por ello se deben de tener algunas consideraciones:

- M05 (Brick): Se ha considerado que mu (mil unidades) de ladrillo hueco doble 7cm tiene un peso de 3.125kg. Al tener un total de 1200873.92 kg de ladrillo, habría 384 mu.
- M07 (ConcretePrefab): Se ha considerado que 1u (una unidad) de bloque de hormigón 15x20x40 tiene un peso de 12.5kg. Al tener un total de 30576 kg de hormigón prefabricado, habría 2446 u.
- M10 (PVCfoil): Se ha considerado que los tubos de PVC son de 110 mm de diámetro. Para saber cuántos metros lineales tenemos, cogemos el valor del tubo de 110 mm de la marca SIKLA que sería de 0.85 kg/m. Por lo que tendríamos 918 metros de tubo.
- M11 (Rockwool): Se ha considerado que la lámina de roca tiene un grosor de 40 mm, por lo que tendríamos 681 m² de lana de roca.
- M12 (Plywood): Se ha considerado que la madera de contrachapado tiene 1cm de grosor, por lo que tendríamos un total de 6321 m².
- M13 (EPDM): Se ha considerado que la lámina de polietileno (EPDM) tiene un grosor de 2 mm, por lo que tendríamos 655 m² de EPDM.

- M16 a M21: Se considera que todos los materiales desde M16 a M21 conforman una unidad de ascensor

Cantidad de material total en el edificio								
Código	Material	Cantidad 1	Unidad	Cantidad 2	Unidad	Cantidad 3	Unidad	Traducción
			[pcs, m ² , m ³]		[kg]	Dato para 3. Embalaje	[mu, m ² , u]	
M01	ConcreteInSitu	1.079,60	m ³	2.554.170,10	kg	1.079,60	m ³	HORMIGÓN
M02	ReinforcingSteel	10,91	m ³	85.604,41	kg	85.604,41	kg	ACERO
M03	XPS	337,80	m ³	11.823,07	kg	-	-	POLIESTIRENO
M04	LimePlaster	129,83	m ³	228.963,93	kg	-	-	YESO
M05	Brick	1.652,99	m ³	1.200.873,92	kg	384,00	mu	LADRILLO
M06	CementMortar	119,10	m ³	214.385,69	kg	-	-	MORTERO
M07	ConcretePrefab	12,74	m ³	30.576,00	kg	489,20	u	HORMIGÓN
M08	SawnTimber	40,39	m ³	22.212,70	kg	40,39	m ³	MADERA
M09	AnhydriteFloor	136,31	m ³	272.621,00	kg	-	-	MORTERO
M10	PVCfoil	0,65	m ³	780,53	kg	918,00	m	PVC
M11	Rockwool	27,26	m ³	954,17	kg	681,00	m ²	LANA DE ROCA
M12	Plywood	63,21	m ³	34.764,66	kg	6.321,00	m ²	MADERA
M13	EPDM	1,31	m ³	973,06	kg	655,00	m ²	POLIETILENO
M14	Gravel	105,20	m ³	89.416,60	kg	105,20	m ³	GRAVA
M15	SanitaryCeramics	12,00	pcs	162,00	kg	-	-	CERÁMICA
M16	Aluminium	1,00	pcs	18,00	kg			ALUMINIO
M17	Cast Iron	1,00	pcs	1.070,00	kg			HIERRO
M18	Copper	1,00	pcs	26,00	kg	1,00	u	CALDERA
M19	Steel	1,00	pcs	1.542,00	kg			ACERO
M20	Polyethylene	1,00	pcs	22,00	kg			POLIETILENO
M21	Electronics	1,00	pcs	136,00	kg			ELECTRONICO
				4.751.095,83	kg			

Nota: Columnas C, D, E, F y G: Datos extraídos de la información proporcionada por Annex 72

Paso 02. Sistema 1 (Hipótesis de Transporte Mat): Realizar la hipótesis del transporte de materiales en los recorridos de fábrica hasta el punto limpio, pasando por los centros de distribución y el solar.

Se ha considerado que el transporte de materiales se hace en los siguientes transportes:

- Desde la fábrica del material hasta el centro de distribución (D1): Se realiza en camión de 32 toneladas.
- Desde el centro de distribución regional hasta el solar del edificio (D2): Se realiza en camión de 16 toneladas.
- Desde el solar del edificio hasta el punto limpio más cercano (D3): Se realiza en camión de 16 toneladas.

Dado que hay hormigón que se realiza in situ, solo se ha tenido en cuenta el transporte de material desde el centro de distribución hasta el solar y desde él hasta el punto limpio, obviando el transporte desde la fábrica al centro de distribución, dado que se fabrica en el mismo solar.

En la tabla de excell se les ha asignado un código a las ubicaciones tanto de las fábricas (F01, F02...) como de los centros de distribución (CD01, CD02...) para simplificar la tabla. Gracias a esta tabla extraemos los datos de tonelada por kilómetro en la etapa de construcción y final de vida de los distintos camiones (16/32 toneladas) que se utilizará más adelante.

Material	Fábrica	Centro de distribución	D1 (Fx a CDx)	D2 (CDx a S)	Toneladas de material	Toneladas por km (T*km) (32T)	Toneladas por km (T*km) (16T)
ConcretelnSitu	-	CD01	-	4,40	2.554,17	-	11.238,35
ReinforcingSteel	F01	CD02	998,00	4,30	85,60	85.433,20	368,10
XPS	F02	CD03	473,00	16,10	11,82	5.592,31	190,35
LimePlaster	F03	CD4	47,80	5,30	228,96	10.944,48	1.213,51
Brick	F04	CD05	254,00	18,10	1.200,87	305.021,98	21.735,82
CementMortar	F05	CD6	8,90	5,40	214,39	1.908,03	1.157,68
ConcretePrefab	F07	-	868,00	21,00	30,58	26.539,97	642,10
SawnTimber	F08	CD8	660,00	6,80	22,21	14.660,38	151,05
AnhydriteFloor	F05	CD06	8,90	5,40	272,62	2.426,33	1.472,15
PVCfoil	F09	CD09	3,80	3,40	0,78	2,97	2,65
Rockwool	F10	CD03	852,00	16,10	0,95	812,96	15,36
Plywood	F08	CD10	660,00	5,90	34,76	22.944,68	205,11
EPDM	F11	CD03	997,00	16,10	0,97	970,14	15,67
Gravel	F06	CD06	840,00	5,40	89,42	75.109,94	482,85
SanitaryCeramics	F12	CD11	995,00	5,50	0,16	161,19	0,89
Ascensor	F13	CD12	16,00	2,50	2,81	45,02	7,04
			7.682,40	141,70		552.573,57	38.898,67
						TOTAL TONELADA * KM	591.472,24

UBICACIÓN FÁBRICAS

F01_Celsa Barcelona: Carrer de la Ferralla, 12, Pol. Ind. San Vicente 08755 Castellbisbal (Barcelona)
F02_Soprema Iberia, S.L.U. : Ctra.CM-4006 Km. 36 45740 Villasequilla
-
F04_Cerámica la Andaluza: Carr. Madrid Cádiz, Km. 293, 23710 Bailén, Jaén
-
F6_Canteras Y Aridos De Villamediana SI: Calle Piqueras, 74, Logroño, 26006 , La Rioja
F7_Tecnyconta: Ctra. Gallur-Sangüesa, km 11. 50660 Tauste (Zaragoza)
F08_Trazos de Madera SL: Avenida Palmar, 10, 46460, Silla Valencia, Valencia
F9_HYTUSUR Hierros y Tubos del Sur, S.A. : Pol. Ind. Navisa c/ Identidades nº 15 - 41006 Sevilla
F10_ROCKWOOL Peninsular S.A.U. : Ctra. de Zaragoza. Km. 53,5, N-121. 31380, Caparros, Navarra
F11_Cidac Central Barcelona:Carrer del Priorat, 08940, Barcelona
F12_Industrias AJA S.A. : Polígono Industrial Comte de Sert. C/ Industria, 34-36. 08755 Castellbisbal (Barcelona)
F13_Díaz Cubero Sa Y Tecnicos De Ascensores Reunidos S: Callejuela Del Carmen, 10, 41500, Alcala Guadaira Sevilla, Sevilla

UBICACIÓN CENTROS DE DISTRIBUCIÓN

CD1_Holcim Hormigones: Carr. de la Exclusa, 0, 41011 Sevilla
CD2_Hierros García Junco: Carretera de la Exclusa, Km. 0,600. 41011. Sevilla
CD3_Diseyco:Calle Extremadura, 109. Pol. Empresarial Los Llanos. 41909 Salteras (Sevilla).
CD4_Decal: Calle Algodón, 5 (Pol Ind Hytasa), 41006 Sevilla
CD5_Malpasa: Calle Labradores, 41909 Salteras (Sevilla)
CD6_Bazarot e Hijos: C/ San José de Palmente 11 Sevilla, Sevilla 41006
CD7_Prefabricados Leflet: Calle Las Pompas, Polígono Industrial Las Pompas, 41130 La Puebla del Río, Sevilla
CD8_Financiera Madera: Av. la Aeronáutica, 0, 41020 Sevilla
CD9_Agro Gomas: Polígono Industrial Carretera Amarilla, Av. la Prensa, 25, 41007 Sevilla
CD10_La forestal: Pol. Ind. San Jerónimo, Calle Tamarguillo, 20, parcelas 18-20 Sevilla ES-SE ES 41015, Calle Tamarguillo, 20, 41015
CD11_Nova Deluxe: Calle Identidades, 10, 41006 Sevilla
CD12_Kone Elevadores: Calle Hespérides, 14, 41008 Sevilla

DATO TRANSPORTE PARA ETAPA DE FINAL DE VIDA SEGÚN NORMA EN 15978 (C2)

Punto limpio Los Naranjos: Ctra. Su Eminencia, 26, 41006 Sevilla
Distancia a punto limpio (km) 5,00
Toneladas por km (T*km) (16T) 23.755,48

Paso 03. Sistema 1 (Datos de entrada): Cálculo de las operaciones directas e indirectas.

La cantidad de material del edificio no coincide con la cantidad de material que se utiliza para su construcción (dado que nunca hay un aprovechamiento del 100% del material en una obra), por ello se hace una hipótesis en las que se tiene en cuenta las cantidades relativas a operaciones directas (las relativas al edificio una vez construido) e indirectas (cantidad de material que se desaprovecha). Para estas operaciones indirectas se considera un mínimo del 5% en todos los materiales, exceptuando la unidad de ascensor, que no genera pérdidas en obra.

CÓDIGO	UNID	MATERIAL	TOTAL PESO (KG)	TOTAL PESO/SUPERFICIE CONSTRUIDA DE EDIFICIO (Kg/m2c)	TRADUCCIÓN	Q1	OPERACIONES DIRECTAS	OPERACIONES INDIRECTAS	
M1	kg	ConcreteInSitu	2.554.170,10	756,12	HORMIGÓN	2.554.170,10	2.426.461,60	127.708,51	
M2	kg	ReinforcingSteel	85.604,41	25,34	ACERO	85.604,41	81.324,19	4.280,22	
M3	kg	XPS	11.823,07	3,50	POLIESTIRENO	11.823,07	11.231,92	591,15	
M4	kg	LimePlaster	228.963,93	67,78	YESO	228.963,93	217.515,73	11.448,20	
M5	kg	Brick	1.200.873,92	355,50	LADRILLO	1.200.873,92	1.140.830,22	60.043,70	
M6	kg	CementMortar	214.385,69	63,47	MORTERO	214.385,69	203.666,40	10.719,28	
M7	kg	ConcretePrefab	30.576,00	9,05	HORMIGÓN	30.576,00	29.047,20	1.528,80	
M8	kg	SawnTimber	22.212,70	6,58	MADERA	22.212,70	20.613,38	1.599,31	
M9	kg	AnhydriteFloor	272.621,00	80,70	MORTERO	272.621,00	258.989,95	13.631,05	
M10	kg	PVCfoil	780,53	0,23	PVC	780,53	741,50	39,03	
M11	kg	Rockwool	954,17	0,28	LANA DE ROCA	954,17	906,46	47,71	
M12	kg	Plywood	34.764,66	10,29	MADERA	34.764,66	32.261,61	2.503,06	
M13	kg	EPDM	973,06	0,29	POLIETILENO	973,06	924,41	48,65	
M14	kg	Gravel	89.416,60	26,47	GRAVA	89.416,60	84.945,77	4.470,83	
M15	kg	SanitaryCeramics	162,00	0,05	CERÁMICA	162,00	153,90	8,10	
M16	kg	Aluminium	18,00		ALUMINIO	18,00	18,00	-	
M17	kg	Cast Iron	1.070,00		HIERRO	1.070,00	1.070,00	-	
M18	kg	Copper	26,00	0,83	CALDERA	26,00	26,00	-	ASCENSOR
M19	kg	Steel	1.542,00		ACERO	1.542,00	1.542,00	-	
M20	kg	Polyethylene	22,00		POLIETILENO	22,00	22,00	-	
M21	kg	Electronics	136,00		ELECTRONICO	136,00	136,00	-	
kg	TOTALES		4.751.095,83			4.751.095,83	4.512.428,24	238.667,59	KG

Nota: Se considera un mínimo del 5% de operaciones indirectas a todos los materiales (excepto al ascensor que no ocasiona pérdidas)

Nota2: Superficie construida m2 del ec 3.378,00

Paso 04. Sistema 1 (Agrupación de n2 a n1)

En esta hoja, se han agrupado los materiales que usan el mismo tipo de embalaje, para que el cálculo posterior sea más sencillo.

Código	Material	Agrupación	Agrupación para embalajes	Cantidad	Unidad
M02	ReinforcingSteel	ACERO	ACERO	85.604,41	kg
M19	Steel	ACERO	ACERO	1.542,00	kg
M16	Aluminium	ALUMINIO	ALUMINIO	18,00	kg
M18	Copper	CALDERA	ALUMINIO	26,00	kg
M15	SanitaryCeramics	CERÁMICA	CERÁMICA	162,00	kg
M21	Electronics	ELECTRONICO	ELECTRONICO	136,00	kg
M14	Gravel	GRAVA	GRAVA	89.416,60	kg
M17	Cast Iron	HIERRO	HIERRO	1.070,00	kg
M01	ConcretelnSitu	HORMIGÓN	HORMIGÓN	2.554.170,10	kg
M07	ConcretePrefab	HORMIGÓN	HORMIGÓN	30.576,00	kg
M05	Brick	LADRILLO	LADRILLO	1.200.873,92	kg
M11	Rockwool	LANA DE ROCA	LANA DE ROCA	954,17	kg
M12	Plywood	MADERA	MADERA	34.764,66	kg
M08	SawnTimber	MADERA	MADERA	22.212,70	kg
M06	CementMortar	CEMENTO	MORTERO	214.385,69	kg
M09	AnhydriteFloor	MORTERO	MORTERO	272.621,00	kg
M03	XPS	POLIESTIRENO	POLIESTIRENO	11.823,07	kg
M13	EPDM	POLIETILENO	POLIETILENO	973,06	kg
M20	Polyethylene	POLIETILENO	POLIETILENO	22,00	kg
M10	PVCfoil	PVC	PVC	780,53	kg
M04	LimePlaster	YESO	YESO	228963,93	kg

Paso 05. Sistema 1 (Embalajes)

Dado que el hormigón prefabricado se usa para la escalera, pero en la tabla de referencia no se tiene un valor concreto para ella, se estima que el porcentaje de embalaje con respecto al que tendrían los bloques de hormigón prefabricados sería de un 20% al ser ésta de un tamaño superior y no tener tanta discontinuidad como podrían tener los bloques.

% participación	CÓDIGO	UNIDAD	EMBALAJES				Q total
			TOTAL PLASTICO	TOTAL CARTÓN	TOTAL MADERA	TOTAL METAL	
1,00							
105,20	M14	m3	0,000000	0,00	0,000000	0,000000	105,20
85.604,41	M2	kg	0,000000	0,00	0,000000	0,000000	85.604,41
1.079,60	M01	m3	0,000000	0,00	0,000000	0,000000	1.079,60
40,39	M08	m3	0,000000	0,00	0,000000	0,000000	40,39
6.321,00	M12	m2	0,000000	0,00	0,000000	0,000000	6.321,00
489,20	M07	u	0,684880	0,00	22,014000	0,000000	489,20
384,00	M05	mu	101,376000	0,00	4.608,000000	0,000000	384,00
487,01	M06 Y M09	t	102,271404	4.051,90	1.826,275080	0,000000	487,01
228,96	M04	t	47,853460	1.900,40	870,062915	0,000000	228,96
12,00	M15	u	0,000000	0,00	0,000000	0,000000	12,00
1,00	M16-M21	u	0,000000	0,00	0,000000	0,000000	1,00
337,80	M03	m3	0,111475	0,00	0,000000	0,000000	337,80
918,00	M10	m	0,000000	0,00	0,000000	0,000000	918,00
655,00	M13	m2	0,275755	111,35	5,502000	0,000000	655,00
681,00	M11	m2	2,655900	38,82	0,000000	0,000000	681,00
TOTALES (KG)			255,23	6.102,46	7.331,85	0,00	

Paso 06. Sistema 1 (Energía)

Para el cálculo de la energía tanto en construcción como en demolición del edificio de diesel y electricidad se ha vinculado el dato de volumen total de material del edificio.

Nota: La mayor parte del consumo durante la construcción y demolición es debida al transporte de obra de materiales (el asociado a unidades de obra representa menos del 10%)

Masa Edificio (KG)	4.764.785,38		
Volumen Material (m3)	1.590,71		
Primary energy consumption	MJ/m3 material	MJ/ building	KW/h building
Construcción	481	765.130,66	212536,29
Demolición	370	588.562,05	163489,46
Total	851	1.353.692,70	376025,75
Diesel consumption (70 %)			
(Diesel in building machine)	595,7	947.584,89	263.218,03
Electricity (30%)			
(Spanish consumption mix)	255,3	406.107,81	112.807,73

Paso 07. Sistema 1 (Procesos)

Se comprueba que la cantidad de material y embalaje que entra al edificio y por lo tanto se tiene en cuenta a efectos de impactos, coincide con el material y embalaje que sale para el punto limpio. Asimismo, se comprueba las toneladas por km total de transporte tanto en construcción como en deconstrucción.

58 compost, at plant	0,00	kg	4.751.095,83 TOTAL MATERIAL ENTRANTE KG
464 gravel, round, at mine	89.416,60	kg	
504 concrete, normal, at plant	2.584.746,10	kg	
512 ceramic tiles, at regional storage	0,00	kg	
534 sanitary ceramics, at regional storage	162,00	kg	
538 clay plaster, at plant	0	kg	
559 diesel, burned in building machine	947.584,89	MJ	
698 electricity mix, Spain (USO)		KWh	
698 electricity mix, Spain (construcción)	112.807,73	KWh	
805 flat glass, coated, at plant	0,00	kg	
995 glass wool mat, at plant	0,00	kg	
1056 aluminium, production mix, at plant	44,00	kg	
1074 copper, at regional storage	0,00	kg	
1141 reinforcing steel, at plant	1.286.478,33	kg	
1154 steel, low-alloyed, at plant	230.505,93	kg	
1670 alkyd paint, white, 60% in solvent, at plant	11.823,07	kg	
1829 polyethylene, HDPE, granulate, at plant	780,53	kg	
1838 polyurethane, flexible foam, at plant	0,00	kg	
1840 polyvinylchloride, at regional storage	36.691,90	kg	
1847 synthetic rubber, at plant	1.228,00	kg	
1850 extrusion, plastic film	36.691,90	kg	
2507 sawn timber, softwood, planed, kiln dried, at plant	22.212,70	kg	
466 limestone, at mine	0,00	kg	
537 cement mortar, at plant	487.006,69	kg	
1814 bitumen sealing, at plant	0,00	kg	
2288 tap water, at user	0,00	kg	
alkylbenzene sulfonate, linear, petrochemical, at plant	0,00	kg	
1998 plant	0,00	kg	
443 solvents, organic, unspecified, at plant	0,00	kg	
416 lubricating oil, at plant	0,00	kg	
1180 zinc coating, coils	0,00	kg	
998 polystyrene foam slab, at plant	0,00	kg	

443 solvents, organic, unspecified, at plant	0,00	kg	4.751.095,83 TOTAL MATERIAL ENTRANTE KG
416 lubricating oil, at plant	0,00	kg	
1180 zinc coating, coils	0,00	kg	
998 polystyrene foam slab, at plant	0,00	kg	
1943 transport, lorry 32t	552.573,57	tkm	TOTAL TRANSPORTE TKM
1941 transport, lorry 16t (construcción)	38.898,67	tkm	615.227,72
1941 transport, lorry 16t (disposal)	23.755,48	tkm	
2005 disposal, building, brick, to final disposal	162,00	kg	TOTAL MATERIAL SALIENTE KG
2007 disposal, building, cement (in concrete) and mortar, to final disposal	3.071.752,79	kg	4.751.095,83
2014 disposal, building, emulsion paint on wood, to final disposal	11.823,07	kg	
2019 disposal, building, glass sheet, to final disposal	0,00	kg	
2023 disposal, building, mineral wool, to final disposal	0,00	kg	
2031 disposal, building, PE sealing sheet, to final disposal	2.008,53	kg	
2040 disposal, building, polyurethane foam, to final disposal	0,00	kg	
2043 disposal, building, polyvinylchloride products, to final disposal	36.691,90	kg	
2052 disposal, building, waste wood, untreated, to final disposal	22.212,70	kg	
2221 disposal, inert material, 0% water, to sanitary landfill	89.416,60	kg	
2082 disposal, steel, 0% water, to inert material landfill	230.505,93	kg	
2090 disposal, aluminium, 0% water, to municipal incineration	44,00	kg	
2096 disposal, copper, 0% water, to municipal incineration	0,00	kg	
2217 disposal, bitumen, 1.4% water, to sanitary landfill	0,00	kg	
2021 disposal, building, mineral plaster, to final disposal	0	kg	
2038 disposal, building, polyethylene/polypropylene products, to final disposal	0	kg	
2131 disposal, zinc in car shredder residue, 0% water, to final disposal	0,00	kg	
1854 packaging film, LDPE, at plant	255,23	kg	
1691 corrugated board, recycling fibre, double wall, at plant	6.102,46	kg	
2507 sawn timber, softwood, planed, kiln dried, at plant	7.331,85	kg	
1154 steel, low-alloyed, at plant	0,00	kg	
2048 disposal, building, reinforcement steel, to final disposal	1.286.478,33	kg	
2077 disposal, packaging cardboard, 19.6% water, to inert	255,23	kg	
2242 disposal, wood untreated, 20% water, to sanitary landfill	6.102,46	kg	
2082 disposal, steel, 0% water, to inert material landfill	7.331,85	kg	
2230 disposal, plastics, mixture, 15.3% water, to sanitary landfill	0,00	kg	

Paso 08. Sistema 1 (Medición Ecoinvent)

En esta hoja se saca una tabla con los materiales que intervienen tanto en la construcción como en la deconstrucción en el edificio (madera, metal, piedra...) tanto en masa (kg) como en masa unitaria (kg/m2) y la energía utilizada durante la construcción.

Paso 09. Sistema 1 (LCI Producción, const-deconst, final, total, 1.CML01, 2.CML01)

En estas hojas, gracias a la base de datos de Ecoinvent, se vinculan los datos que hemos introducido referentes a nuestro edificio, que se multiplican por el impacto medioambiental que generan. Estos datos finales se recogen en una tabla resumen más adelante.

Paso 10. Sistema 1 (Declaración): Tabla resumen del impacto asociado a las etapas de producción/deproducción y construcción/deconstrucción

Una vez que ya hemos metido los datos y vinculado con la base de datos de ecoinvent, realizamos la tabla resumen de los impactos. En ella tenemos que introducir:

- La superficie construida del edificio (este valor lo hemos tomado del modelo de Revit, dado que la cantidad de material la hemos extraído de ahí)
 - El número de personas del edificio. Siendo la media 2,55 nºpersonas/vivienda y teniendo 6 viviendas (una por planta) tenemos un total de 15,3 personas en el edificio
- Los resultados obtenidos de todos los impactos medioambientales son:
- Impacto medioambiental total del edificio.
 - Impacto medioambiental total por vivienda.
 - Impacto medioambiental total por m2 construido
 - Impacto medioambiental total por persona

Siendo este último dato el más importante, debido a que queremos saber cuál es el impacto medioambiental unitario generado por cada persona en todo el ciclo de vida de un edificio

		PRODUCTION / DEPRODUCTI ON		PRODUCT ION/ DEPRODU CTION
		Building	Dwelling	m2/floor
CML 2001	Unit			
acidification potential	kg SO2-Eq	11.745,80	1.957,63	3,48
climate change	kg CO2-Eq	2.772.960,73	462.160,12	820,89
eutrophication potential	kg NOx-Eq	8.954,62	1.492,44	2,65
freshwater aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DCB-Eq	1.435.167,18	239.194,53	424,86
human toxicity	kg 1,4-DCB-Eq	1.570.790,18	261.798,36	465,01
photochemical oxidation (summer smog)	kg formed ozone	1.451,59	241,93	0,43
resources	kg antimony-Eq	17.314,65	2.885,77	5,13
stratospheric ozone depletion	kg CFC-11-Eq	0,18	0,03	0,00
terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB-Eq	4.735,86	789,31	1,40
Cumulative energy demand				
biomass	MJ-Eq	800.200,71	133.366,78	236,89
fossil	MJ-Eq	30.722.094,48	5.120.349,08	9.094,76
nuclear	MJ-Eq	8.453.420,15	1.408.903,36	2.502,49
water	MJ-Eq	1.545.246,87	257.541,15	457,44
wind, solar, geothermal	MJ-Eq	196.908,51	32.818,09	58,29

		CONSTRUCT ION/ DECONSTRU CTION		CONSTRU CTION/ DECONST RUCTION
		Building	Dwelling	m2/floor
CML 2001	Unit			
acidification potential	kg SO2-Eq	2.085,80	347,63	0,62
climate change	kg CO2-Eq	248.949,62	41.491,60	73,70
eutrophication potential	kg NOx-Eq	2.480,46	413,41	0,73
freshwater aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DCB-Eq	13.267,95	2.211,33	3,93
human toxicity	kg 1,4-DCB-Eq	75.252,08	12.542,01	22,28
photochemical oxidation (summer smog)	kg formed ozone	43,35	7,22	0,01
resources	kg antimony-Eq	1.725,39	287,57	0,51
stratospheric ozone depletion	kg CFC-11-Eq	0,02	0,00	0,00
terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB-Eq	37,57	6,26	0,01
Cumulative energy demand				
biomass	MJ-Eq	12.756,44	2.126,07	3,78
fossil	MJ-Eq	3.570.713,46	595.118,91	1.057,05
nuclear	MJ-Eq	601.062,81	100.177,13	177,93
water	MJ-Eq	108.562,07	18.093,68	32,14
wind, solar, geothermal	MJ-Eq	38.516,81	6.419,47	11,40

		TOTAL		TOTAL	
		Building	Dwelling	m2/floor	total impact building / person
CML 2001	Unit				
acidification potential	kg SO2-Eq	13.831,61	2.305,27	4,09	904,03
climate change	kg CO2-Eq	3.021.910,35	503.651,72	894,59	197.510,48
eutrophication potential	kg NOx-Eq	11.435,08	1.905,85	3,39	747,39
freshwater aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DCB-Eq	1.448.435,13	241.405,86	428,78	94.668,96
human toxicity	kg 1,4-DCB-Eq	1.646.042,25	274.340,38	487,28	107.584,46
photochemical oxidation (summer smog)	kg formed ozone	1.494,93	249,16	0,44	97,71
resources	kg antimony-Eq	19.040,04	3.173,34	5,64	1.244,45
stratospheric ozone depletion	kg CFC-11-Eq	0,20	0,03	0,00	0,01
terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB-Eq	4.773,43	795,57	1,41	311,99
Cumulative energy demand					
biomass	MJ-Eq	812.957,15	135.492,86	240,66	53.134,45
fossil	MJ-Eq	34.292.807,94	5.715.467,99	10.151,81	2.241.360,00
nuclear	MJ-Eq	9.054.482,96	1.509.080,49	2.680,43	591.796,27
water	MJ-Eq	1.653.808,94	275.634,82	489,58	108.092,09
wind, solar, geothermal	MJ-Eq	235.425,32	39.237,55	69,69	15.387,28
		46.049.482,31	7.674.913,72	13.632,17	3.009.770,09

Como podemos en los datos, el impacto ambiental más significativo es el de la demanda de energía acumulada (fósil), que representa el 74.47% del impacto total con un valor de 34,292,807.94 MJ / Eq, más de 4 veces que el siguiente impacto más importante (nuclear).

Una vez calculado el impacto medioambiental en la etapa de producción/deproducción y construcción/deconstrucción procederemos a realizar el cálculo del

5.3 CREACIÓN DE LA TABLA Nº 2

SISTEMA 2_ Impacto medioambiental en la etapa operacional

Paso 01. Sistema 2 (Consumo Eléctrico y de Agua)

Los datos tanto de consumo eléctrico como de agua se extraen directamente de la información proporcionada por Annex 72. En el caso del consumo eléctrico serían 131581,33 kWh por año y en el caso del consumo de agua contamos con 80m3 al año

Energy consumption (100% electricity) - 3-year average (2013-2015)	131.581,33	kWh * año
--	-------------------	-----------

	media personas por vivienda	
Consumo agua LC	2,55	80,00

Ajardinamientos	0,8582 m3 año por m2 ajardinado	
Superficie Irrigada	m2	0,00
Reducción por dispositivos	%	0,00
Consumo anual de agua	m3	0,00
Consumo agua LC	m3	0,00

Piscina	nº de renovaciones por temporada	3
Volumen	m3	0,00
Consumo anual	m3	0,00
Consumo agua LC	m3	0,00

TOTAL CONSUMO DE AGUA (m3)	80,00
-----------------------------------	--------------

Paso 02. Sistema 2 (Desplazamiento 1)

Se calcula el desplazamiento de los usuarios del edificio tanto al trabajo como a los centros de enseñanza y a los de ocio, con las siguientes hipótesis:

- N1: Suponemos que el 50% va a estudiar/trabajar en automóvil y el otro 50% en autobús.
- N2: En un área de 500 m. de radio realizado en el centro de Sevilla se cuentan 15 paradas de autobús, mientras que en el entorno de la parcela (con el mismo radio) se observan 8. De este modo consideramos las 15 paradas como el 100 % y obtenemos que las 8 paradas suponen un 53 % de transporte en autobús.
- N3: El coef. de simultaneidad es 0,5 ya que consideramos que H3 y M3 se desplazarían juntos.
- N4: El 75% utilizará el coche mientras que el 25% restante (correspondiente a los 3 primeros años) cogería el autobús para desplazarse.
- N5: Consideramos 0 días/semana ya que el desplazamiento del niño será siempre con uno de sus padres.
- N6: Consideramos hacia el centro de Sevilla en 1,2 Km. ya que el ocio del entorno se realizaría a pie.
- N7: Planteamos que el 10% de las personas utilizan coche. Dado que al ocio se haría en pareja consideramos como coef. el 10% entre 2
- N8: Sería el otro 10% que consideramos que utiliza el autobús
- N9: El coef. de simultaneidad es 0,5 ya que consideramos que H3 y M3 se desplazarían a la vez.
- N10: Consideramos que en los 3 últimos años cambiarían las condiciones de transporte. Equivale a un 25 % del total. De este 25 % la mitad irían andando y la otra mitad irían, en partes iguales, en automóvil y autobús
- N11: Planteamos que el 50% de las veces se centrarán en el ocio del entorno y el otro 50% se trasladarán con este fin (50% automóvil y 50% autobús).

Fuente: www.responsabilidad.net

	DATOS DE PARTIDA.			TRABAJO/EDUCACIÓN/COMPRAS					TOTAL TRABAJO
	AÑOS	SEMANAS	Nº PERS.	DISTANCIA (km.)	RECORRIDO (km./día)	MEDIO	COE F.	DÍA S/S EM	
H1	27	1408,82	1,000	10	20	AUTOMÓVIL	0,47 n2	5	66.214,61
				10	20	AUTOBÚS	0,53 n2	5	74.667,54
H2	9	469,61	1,000	2,7	5,4	A PIE	0	2	0,00
H3	15	782,68	1,000	2,7	5,4	AUTOMÓVIL	0,5 n3	1	2.113,23
M1	16	845,29	0,850	10	20	AUTOMÓVIL	0,47 n2	5	33.769,45
				10	20	AUTOBÚS	0,53 n2	5	38.080,44
M2	20	1033,14	0,850	2,7	5,4	A PIE	0	2	0,00
M3	15	782,68	0,850	2,7	5,4	AUTOMÓVIL	0,5 n3	1	1.796,25
N1	3	156,54	1,400	2,7	5,4	AUTOMÓVIL	1	0 n5	0,00
N2	10	521,79	1,400	2	4	A PIE	0	5	0,00
N3	15	782,68	1,400	10 n1	20	AUTOMÓVIL	0,5	5	54.787,50
				10	20	AUTOBÚS	0,5	5	54.787,50

	DATOS DE PARTIDA.			OCIO					TOTAL OCIO
	AÑOS	SEMANAS	Nº PERS.	DISTANCIA (km.)	RECORRIDO (km./día)	MEDIO	COEF.	DÍAS/S EM	
H1	27	1408,82	1,000	1,2 n6	2,4	AUTOMÓVIL	0,05 n7	2	338,12
				1,2	2,4	AUTOBÚS	0,1 n8	2	676,23
H2	9	469,61	1,000	1,2	2,4	AUTOMÓVIL	0,05 n7	2	112,71
				1,2	2,4	AUTOBÚS	0,1 n8	2	225,41
H3	15	782,68	1,000	1,2	2,4	AUTOMÓVIL	0,5 n9	1	939,21
M1	16	845,29	0,850	1,2	2,4	AUTOMÓVIL	0,05 n7	2	172,44
				1,2	2,4	AUTOBÚS	0,1 n8	2	344,88
M2	20	1033,14	0,850	1,2	2,4	AUTOMÓVIL	0,05 n7	2	210,76
				1,2	2,4	AUTOBÚS	0,1 n8	2	421,52
M3	15	782,68	0,850	1,2	2,4	AUTOMÓVIL	0,5 n9	1	798,33
N1	3	156,54	1,400	1,2	2,4	AUTOMÓVIL	1	0	0,00
N2	10	521,79	1,400	1,2	2,4	AUTOMÓVIL	0,0625 n10	1	109,58
				1,2	2,4	AUTOBÚS	0,0625	1	109,58
N3	15	782,68	1,400	1,2	2,4	AUTOMÓVIL	0,25 n11	3	1.972,35
				1,2	2,4	AUTOBÚS	0,25	3	1.972,35

DATOS DE PARTIDA.				TIPO TRANSP.	TOTAL POR FAMILIA	TOTAL POR EDIFICIO (x6 viviendas)
AÑOS	SEMANAS	Nº PERS.				
H1	27	1408,82	1,000		66.552,72	399.316,35
					75.343,77	452.062,62
H2	9	469,61	1,000		112,71	676,23
					225,41	1.352,47
H3	15	782,68	1,000		3.052,45	18.314,68
M1	16	845,29	0,850		33.941,89	203.651,34
					38.425,32	230.551,94
M2	20	1033,14	0,850		210,76	1.264,56
					421,52	2.529,12
M3	15	782,68	0,850		2.594,58	15.567,48
N1	3	156,54	1,400		0,00	0,00
N2	10	521,79	1,400		109,58	657,45
					109,58	657,45
N3	15	782,68	1,400		56.759,85	340.559,10
					56.759,85	340.559,10
					334.619,98	2.007.719,87
Automovil (km)					163.334,53	980.050,38
Autobus (kmp)					171.285,45	1.027.734,29

Paso 03. Sistema 2 (Desplazamiento 2)

Se calcula el recorrido medio por habitante en 50 años (tiempo estimado del ciclo de vida del edificio) en tren, avión y barco.

Fuentes: INE y Estimac

Transporte por tren			Recorrido medio por habitante en 50 años	Recorrido medio habitantes total edificio 50 años
Población española 2007 (ine)	p	46.745.807,00		
Recorrido entre total 2007 (kilómetros viajeros) ine	km	21.857.000.000,00		
Recorrido medio por habitante /año	km	467,57	23.378,57	59.615,35
Transporte por avion				
Población española 2007 (ine)	p	46.745.807,00		
Numero de pasajeros 2007 (ine)	p	60.395.000,00		
Recorrido entre total 2007 (kilómetros viajeros) ine	km	96.365.000.000,00		
Recorrido medio por habitante /año	km	2.061,47	103.073,42	262.837,21
Transporte por barco				
Población española 2007 (ine)	p	46.745.807,00		
Numero de pasajeros 2007 (ine)	p	22.144.000,00		
Recorrido medio por pasajero (estimac)	km	25,00		
Recorrido entre total 2007 (kilómetros viajeros) ine	km	553.600.000,00		
Recorrido medio por habitante /año	km	11,84	592,14	1.509,95

Paso 04. Sistema 2 (Transporte y Trans. de residuos)

Se calcula la cantidad de residuos generada por habitante al año, y se tiene en cuenta la distancia al vertedero más próximo, en este caso situado en Ctra. Su Eminencia, 26, 41006 (Sevilla)

Transporte de residuos domesticos		
Cantidad generada por persona año	kg*p*año	468,00
Distancia a vertedero	km	5,00
Transporte en camión 16 t por persona año	t km*p*año	2,34
Tratamiento de residuos por persona y año		
	kg	468,00

Paso 05. Sistema 2 (Medición)

Se realiza una tabla resumen con los datos de consumo eléctrico y de agua, los distintos desplazamientos, el tratamiento de residuos domésticos y aguas grises y se añaden los consumos referentes a alimentos, ropa y muebles.

Número de ocupantes Viviendas	p	2,55		
		Dwelling year	Dwelling LC (50 y)	Person year
Consumo Electrico				
Electricidad del Espacio	kwh	0,00	0,00	0,00
Iluminación	kwh	0,00	0,00	0,00
Sistema - Otros	kwh	0,00	0,00	0,00
Generación de Calor	kwh	0,00	0,00	0,00
Enfriadora	kwh	0,00	0,00	0,00
Total Consumo electrico	kwh	0,00	0,00	8.600,09
Consumo de agua				
Consumo familiar	m3	1,60	80,00	0,63
Ajardinamientos	m3	0,00	0,00	0,00
Piscina	m3	0,00	0,00	0,00
Total Consumo Agua	m3	1,60	80,00	0,63
Desplazamientos				
Desplazamiento en automovil	km	3.266,69	163.334,53	1.281,06
Desplazamientos en bus	km	3.425,71	171.285,45	1.343,42
Desplazamientos en tren	km	1.192,31	59.615,35	467,57
Desplazamientos en avion	km	5.256,74	262.837,21	2.061,47
Desplazamientos en barco	km	30,20	1.509,95	11,84
Transporte de residuos	t km	5,97	298,35	2,34
Consumo de Alimentos	kg	2.011,95	100.597,50	789,00
Consumo de Ropa	kg	24,30	1.215,08	9,53
Consumos de Muebles	kg	63,29	3.164,55	24,82
Tratamiento de residuos domésticos	m3	1.193,40	59.670,00	468,00
Tratamiento de aguas grises	kg	1,60	80,00	0,63

Paso 06. Sistema 2 (Procesos)

Se realiza una tabla resumen con todos los datos anteriormente calculados en hojas anteriores.

US-1	698	electricity mix, Spain (USO)	8.600,09	Kwh
US-1	2288	tap water, at user	627,45	kg
US-2	1934	operation, passenger car	1.281,06	km
US-2	6057	transport, regular bus	1.343,42	pkm
US-3	6076	operation, ICE	467,57	pkm
US-3	1888	operation, aircraft, passenger	2.061,47	pkm
US-3	1888b	operation, ship, passenger	11,84	pkm
US-4	agm1	Food	789,00	kg
US-4	agm2	Clothes	9,53	kg
US-4	agm3	Foniture	24,82	kg
US-5	1941	transport, lorry 16t	2,34	tkm
US-6	2103	disposal, municipal solid waste, 22.9% water, to municipal incineration	468,00	kg
US-7	2274	treatment, sewage, from residence, to wastewater treatment, class 2	0,63	m3

Paso 07. Sistema 2 (LCI Uso y CML01)

En estas hojas, gracias a la base de datos de Ecoinvent, se vinculan los datos que hemos introducido referentes a nuestro edificio, que se multiplican por el impacto medioambiental que generan. Estos datos finales se recogen en una tabla resumen más adelante.

Paso 08. Sistema 2 (Declaración): Tabla resumen del impacto asociado a la etapa operacional.

Una vez que ya hemos medido los datos y vinculado con la base de datos de ecoinvent, realizamos la tabla resumen de los impactos. En ella tenemos que introducir:

- La superficie construida del edificio (este valor lo hemos tomado del modelo de Revit, dado que la cantidad de material la hemos extraído de ahí)
- El número de personas del edificio. Siendo la media 2,55 nºpersonas/vivienda y teniendo 6 viviendas (una por planta) tenemos un total de 15,3 personas en el edificio
Los resultados obtenidos de todos los impactos medioambientales son:
- Impacto medioambiental total del edificio.
- Impacto medioambiental total por vivienda.
- Impacto medioambiental total por m2 construido
- Impacto medioambiental total por persona

Siendo este último dato el más importante, debido a que queremos saber cuál es el impacto medioambiental unitario generado por cada persona en todo el ciclo de vida de un edificio.

		Building	Dwelling	m2/floor	Person	total impact building / person
CML 2001	Unit					
acidification potential	kg SO2-Eq	51.382,22	8.563,70	2,54	3.358,31	559,72
climate change	kg CO2-Eq	4.538.993,33	756.498,89	223,95	296.666,23	49.444,37
eutrophication potential	kg NOx-Eq	21.398,63	3.566,44	1,06	1.398,60	233,10
freshwater aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DCB-Eq	1.253.857,46	208.976,24	61,86	81.951,47	13.658,58
human toxicity	kg 1,4-DCB-Eq	1.013.311,05	168.885,18	50,00	66.229,48	11.038,25
photochemical oxidation (summer smog)	kg formed ozone	666,25	111,04	0,03	43,55	7,26
resources	kg antimony-Eq	32.234,87	5.372,48	1,59	2.106,85	351,14
stratospheric ozone depletion	kg CFC-11-Eq	0,30	0,05	0,00	0,02	0,00
terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DCB-Eq	10.928,08	1.821,35	0,54	714,25	119,04
Cumulative energy demand						
biomass	MJ-Eq	3.315.269,55	552.544,92	163,57	216.684,28	36.114,05
fossil	MJ-Eq	57.068.605,88	9.511.434,31	2.815,70	3.729.974,24	621.662,37
nuclear	MJ-Eq	4.716.961,52	786.160,25	232,73	308.298,14	51.383,02
water	MJ-Eq	4.716.961,52	786.160,25	232,73	308.298,14	51.383,02
wind, solar, geothermal	MJ-Eq	2.134.139,95	355.689,99	105,30	139.486,27	23.247,71
Total embodied energy (MJ-Eq)				3.550,03	4.702.741,07	94.054,82

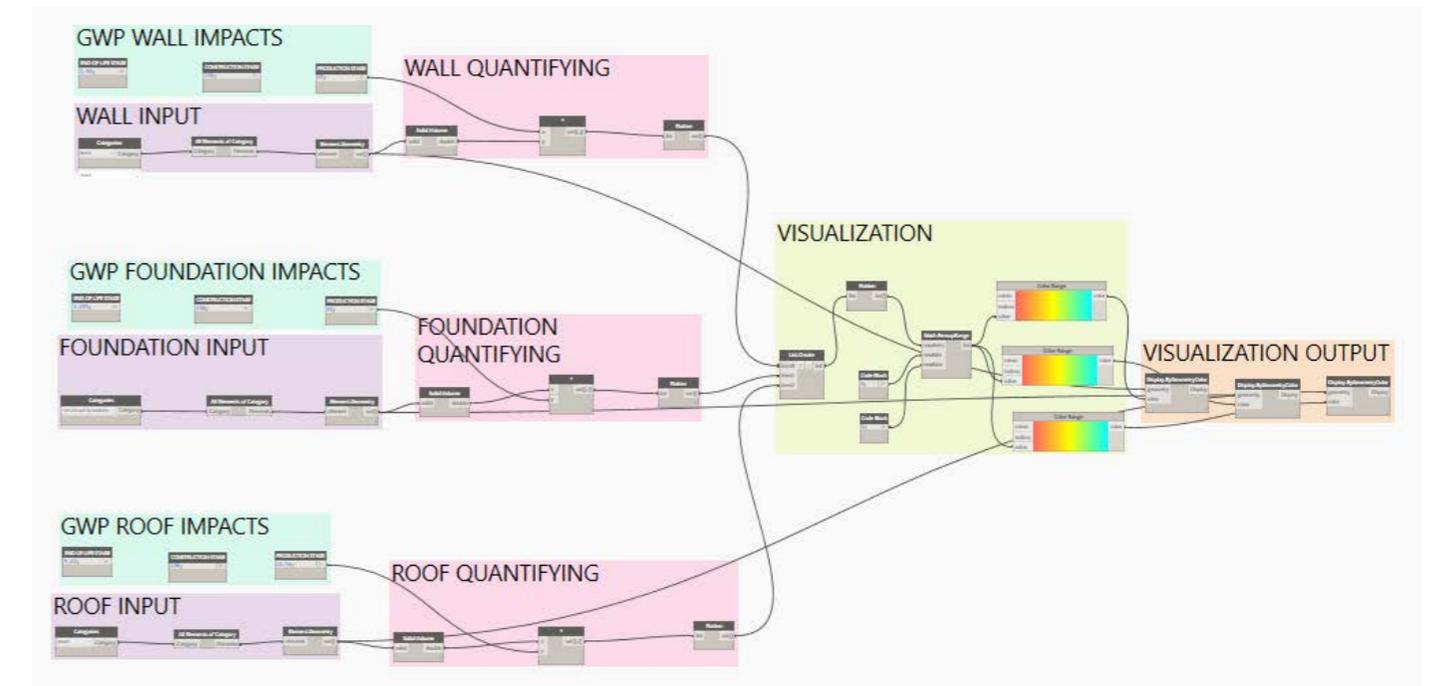
Como podemos ver tanto en la tabla como en los datos, el impacto más importante es una vez más el fósil. Esto indica que podría ser el indicador que debería intentarse minimizar en un futuro próximo.

6. BÚSQUEDA DE SISTEMATIZACIÓN: ACV PROGRAMADO

6.1 Elaboración en Dynamo de la herramienta paramétrica de vinculación BIM-ACV

Esta es la parte fundamental del trabajo, dado que gracias a todo el análisis previo, podemos llegar a desarrollar la herramienta paramétrica objeto de este TFM. El análisis se ha realizado por sistemas constructivos, es decir, separando paredes (walls), cimentación (foundation) y cubierta (roof). Esto es debido a que, gracias a algunos TFM de ediciones pasadas, sabemos que lo que supone un impacto mayor de un edificio es su cimentación (un valor muy por encima en comparación con las paredes y cubiertas). Por ello, de hacer el análisis visual con el valor total (sumando paredes, cubiertas y cimentación) siempre nos mostraría un impacto tan grande en la cimentación, que sería muy complicado poder visualizar dentro de todos los tipos de paredes que podemos tener en un proyecto, cual es la que tiene mayor impacto y en consecuencia la que debería de replantearse.

El script realizado en Dynamo es el siguiente:



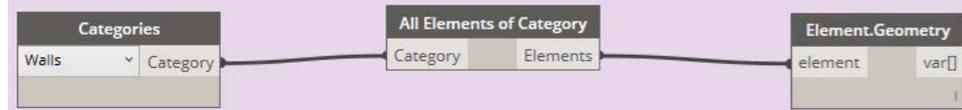
A continuación se explicará la metodología seguida a la hora de elaborar el script en Dynamo paso por paso.

Paso 1: Vincular los distintos sistemas constructivos (Muros, Cimentación y Cubierta)

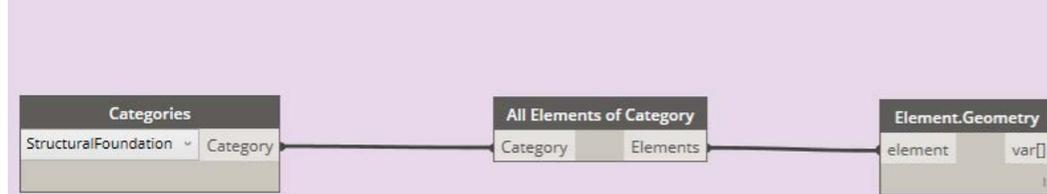
ROOF INPUT



WALL INPUT



FOUNDATION INPUT



Para que Dynamo reconozca los elementos del modelo de Revit, se utilizan los siguientes nodos

- Categories: Seleccionaremos aquellas categorías que necesitamos para realizar el ACV
- All Elements of Category: Para que nos reconozca todos los elementos de la categoría seleccionada con el nodo anterior.
- Element geometry: Para obtener la geometría asociada al objeto

Paso 2: Introducir el impacto de cada sistema en cada una de las etapas del ACV: Producción, construcción y fin de vida. En nuestro caso hemos elegido la categoría Global Warning Potential.

GWP ROOF IMPACTS



GWP WALL IMPACTS



GWP FOUNDATION IMPACTS

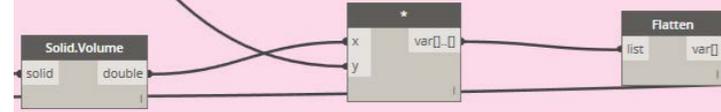


Para este paso solo necesitamos introducir el siguiente nodo:

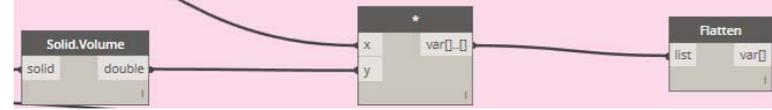
- Code Block: Te permite la creación directa de código de DesignScript, es decir, introducir un valor numérico.

Paso 3: Cuantificar el impacto de cada sistema en cada una de las etapas del ACV:
Producción, construcción y fin de vida

FOUNDATION QUANTIFYING



WALL QUANTIFYING



ROOF QUANTIFYING

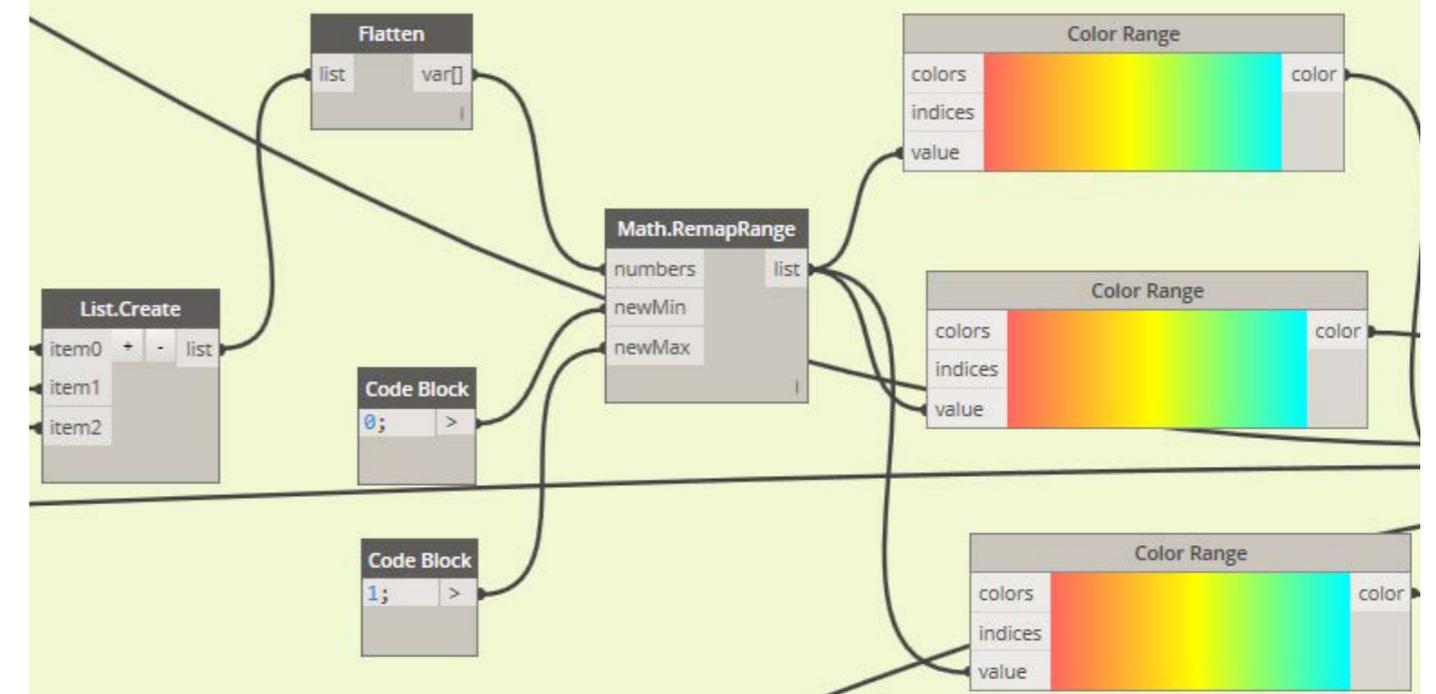


Para cuantificar el impacto, se utilizarán los siguientes nodos:

- Solid Volume: Te devuelve el volumen total del sólido que le vinculas
- * : Multiplica un valor "x" por un valor "y"
- Flatten: Devuelve la lista 1D aplanada de la lista de entradas multidimensional

Paso 4: Se programa la visualización con los datos anteriores

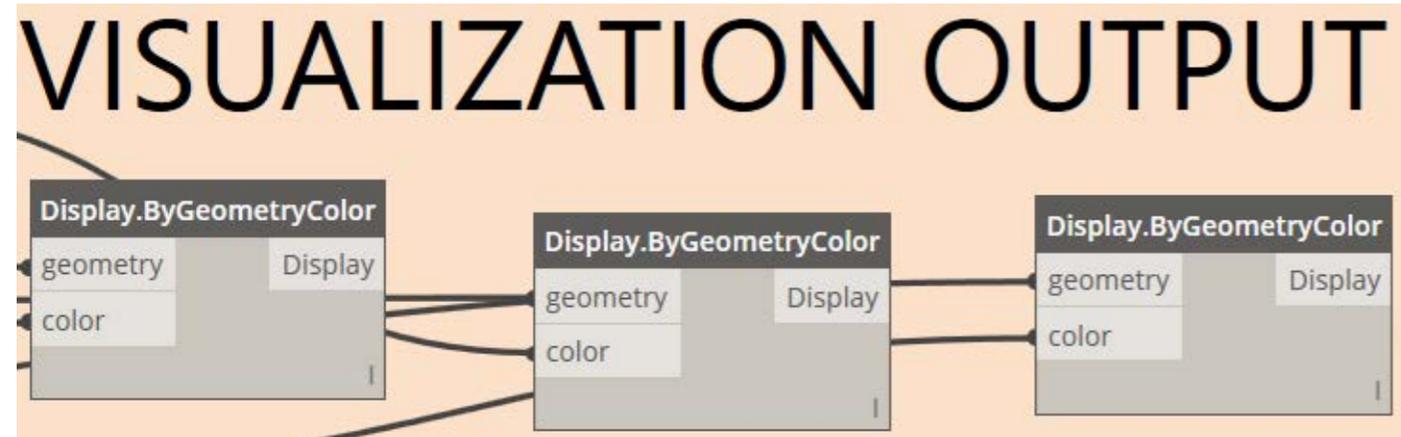
VISUALIZATION



Para este necesitamos introducir los siguientes nodos:

- List Create + Flatten: Recopila los datos anteriores y vuelve a crear una lista 1D con ellos
- Math RemapRange: Ajusta el rango de una lista de números conservando la relación de distribución.
- Color Range: Se obtiene un color según un rango de colores elegido.

Paso 5: Visualizar en Dynamo todo lo calculado anteriormente



Como último paso, lo programado en el paso 4 vamos a visualizarlo directamente sobre la tabla de trabajo de Dynamo con el siguiente nodo:

- Display by geometry color: Hay que conectar al nodo tanto la geometría que hemos extraído de Revit en el paso 1 como el gradiente de color que hemos programado en el paso 4

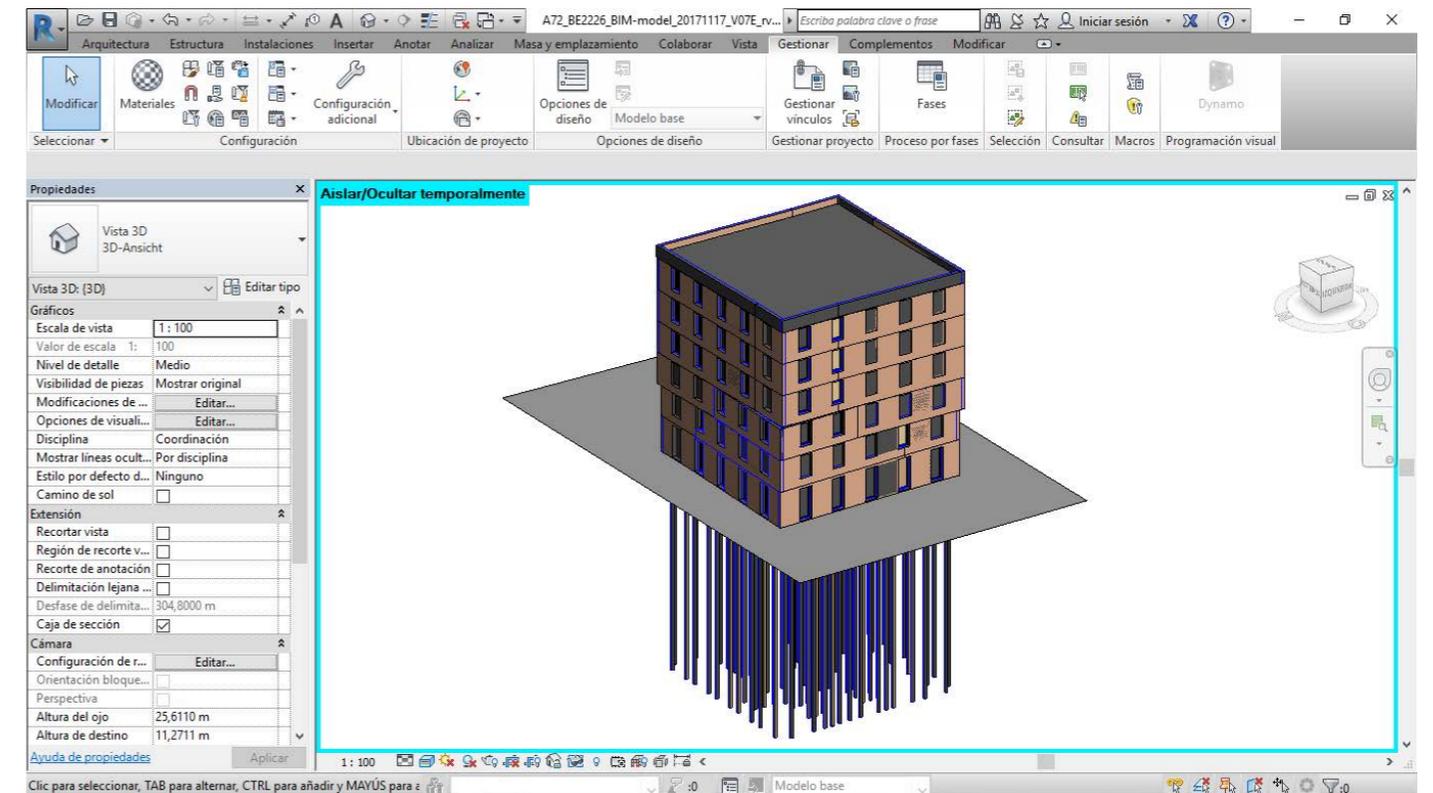
Una vez hemos programado el script completo, pulsamos el botón de ejecutar y esperamos unos segundos para que Dynamo te devuelva el edificio con el gradiente de color que hemos elegido.



6.2 Ejemplo de visualización en Dynamo

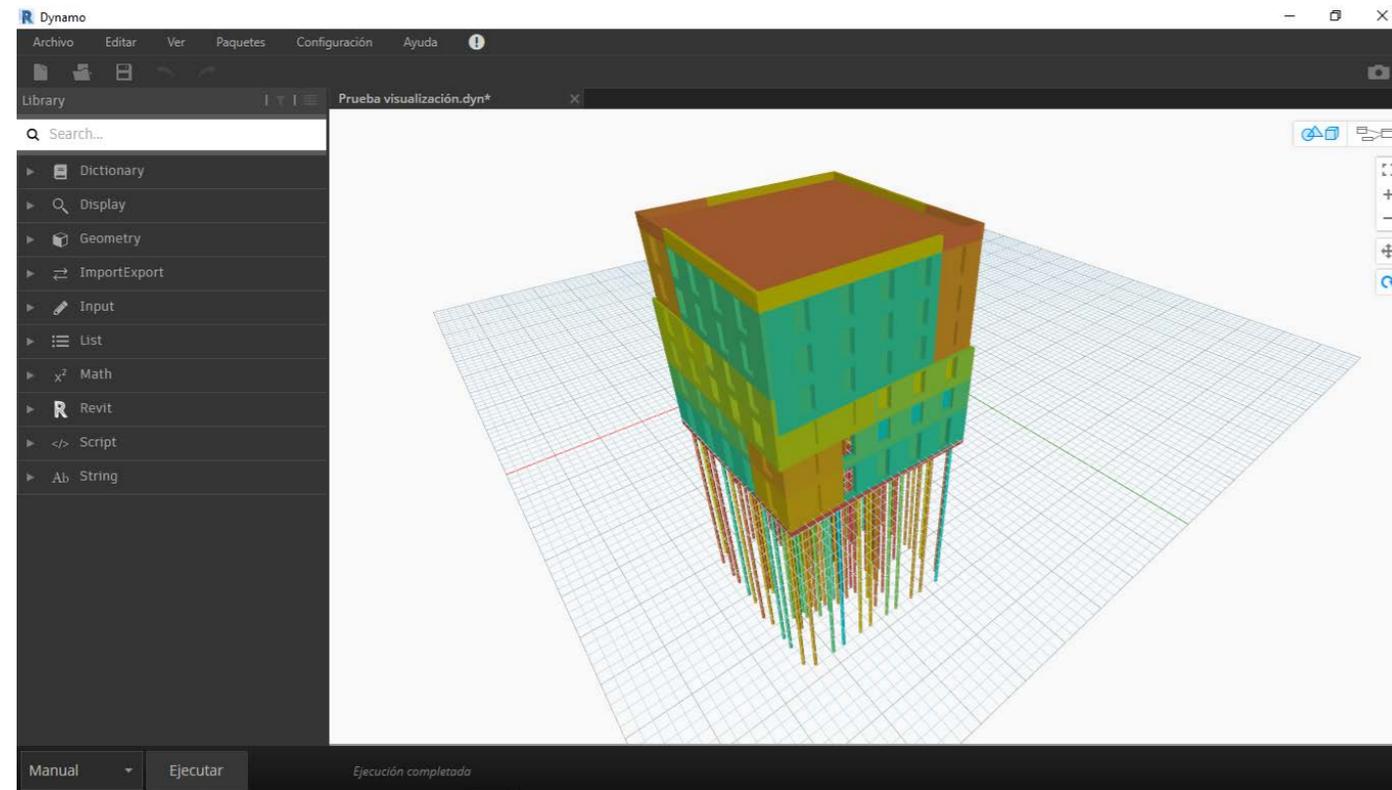
A continuación se muestra un ejemplo de como se vería el resultado de la ejecución del script que hemos programado.

En primer lugar mostramos el modelo de Revit facilitado por el grupo internacional Annex 72:

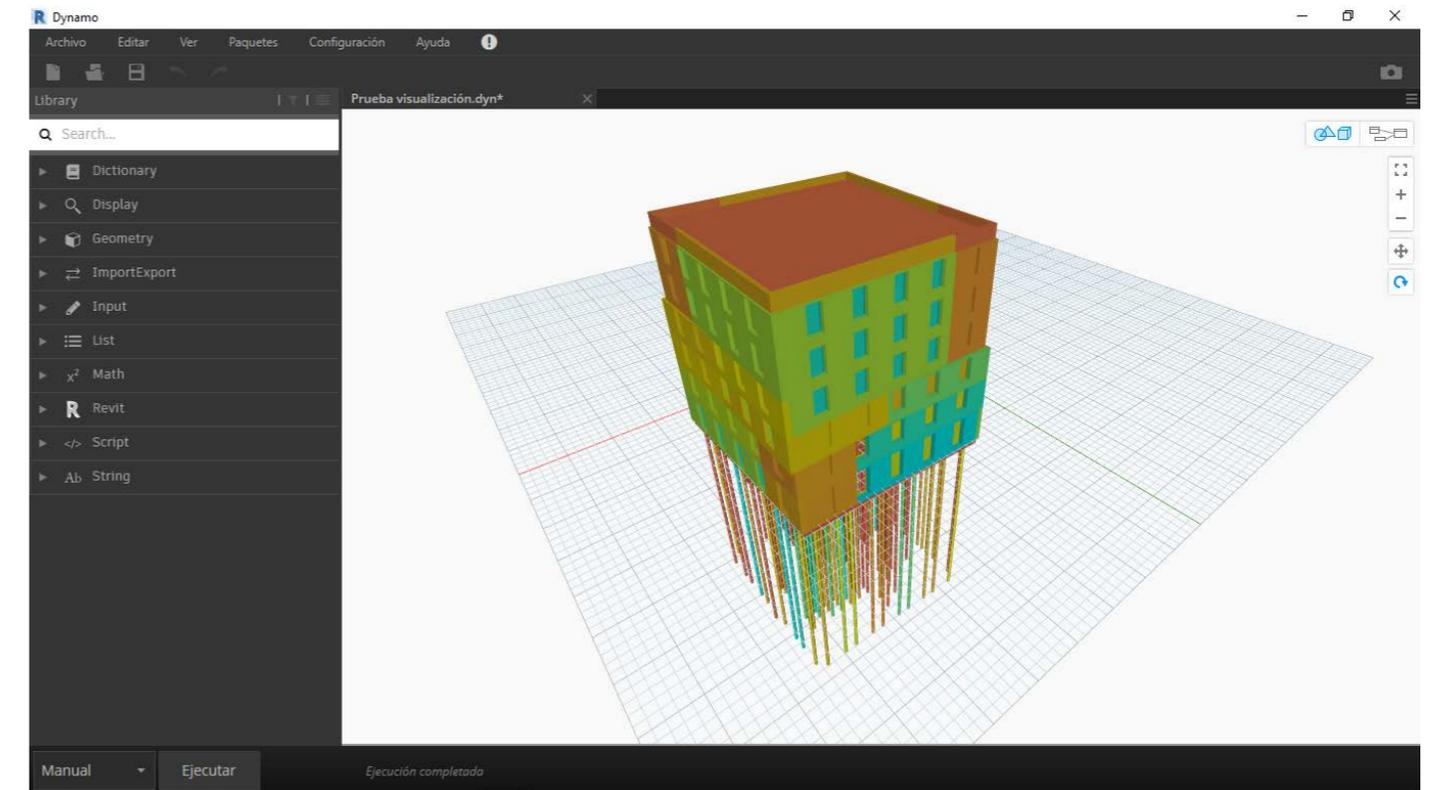


En segundo lugar, y tras el cálculo en Dynamo, podemos ver nuestro modelo de Revit con una gama de colores que hemos elegido para que sea más visual e intuitivo, pudiendo observar como los elementos en rojo son los que tienen mayor impacto y en azul los que tienen un impacto menor.

Si comparamos la cubierta con la fachada, parece evidente que la cubierta por su color más rojizo, posee una huella mayor a la hora de contabilizar el impacto medioambiental. Es por ello que el diseño del edificio en este punto, debería de centrarse en reducir lo máximo posible tal elemento



Por último, para comprobar que Dynamo realiza el cálculo teniendo en cuenta los elementos de Revit, rediseñamos el cerramiento del edificio, cambiando su estructura de forma que su grosor pase de 0.38m a 0.6m. Tras ello, recalculamos el modelo y como se puede comprobar en la siguiente imagen, la gama de colores varía. Esto nos indica que Dynamo ha realizado de nuevo el cálculo y ha redistribuido el impacto asociado a cada elemento con el cambio que hemos introducido.



7. CONCLUSIONES

En referencia a nuestro objetivo principal, que era el de desarrollar una herramienta original que permita realizar ACV y visualizar sus resultados sobre un modelo BIM, hasta el momento no existe otra herramienta capaz de realizar lo que se ha mostrado a lo largo de todo el trabajo, además hemos observado los impactos medioambientales que genera nuestro edificio con un gradiente de colores que se genera automáticamente al aplicar el script a cualquier modelo BIM que anteriormente se haya modelado de una manera correcta. Esto hace posible un análisis rápido de que partes de nuestro edificio podríamos perfeccionar para realizar una arquitectura sostenible y de poco impacto medioambiental.

En cuanto al objetivo secundario de automatizar el proceso de cálculo de ACV en plataformas BIM mediante el empleo de software paramétrico, gracias al programa Autodesk Dynamo y a un camino de investigación del mismo para entender su funcionamiento e intentar aplicarlo al ACV, se ha alcanzado un nivel óptimo de automatización, en el que tras vincular el archivo BIM con Dynamo, se realiza un cálculo de menos de 30 segundos, el cual consideramos que no puede compararse al realizado manualmente debido a la gran diferencia de tiempo empleado en uno y en otro, siendo el primero infinitamente más rápido que el segundo.

Nuestro objetivo de armonizar el proceso de cálculo manual de ACV mediante empleo de tablas de cálculo se ha realizado de una manera notable gracias a las tablas de excel anteriormente nombradas, fruto de un trabajo realizado conjuntamente con la línea de investigación TEP-130 de la ETSAS, que además, podrá servir en el futuro como punto de partida para posibles TFM.

Por último, el objetivo secundario de analizar el estado actual de los conocimientos científico-técnicos en relación a la vinculación BIM-ACV se ha llevado a cabo en el apartado de estado del arte, en el que se hace un repaso de los artículos científicos más relevantes y una prueba con la herramienta Tally.

En resumen, y una vez finalizado el TFM podemos asegurar que los objetivos, tanto principal como secundarios propuestos al principio del estudio, se han realizado satisfactoriamente.

8. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Tras la realización de este TFM, se podría reflexionar acerca de los siguientes temas:

- Continuar con la realización de la herramienta paramétrica de cálculo y visualización del ACV incluyendo otros impactos medioambientales no tenidos en cuenta en este TFM.
- Continuar con la realización de la herramienta paramétrica de cálculo y visualización del ACV vinculando los datos de impacto medioambiental asociados a cada elemento constructivo de una manera automática y no manual.
- Continuar con la realización de tablas de cálculo del ACV, depurando este sistema y haciéndolo más operacional e intuitivo.
- Incluir la fase operacional en el ACV, para obtener unos resultados de vida útil de las edificaciones mucho más completos y acordes a la realidad.
- Continuar con el análisis de modelos arquitectónicos para una clasificación de ligereza y minimización de los impactos medioambientales para seguir contribuyendo a la base de datos de la línea de estudio.

9. BIBLIOGRAFÍA

ARTÍCULOS CIENTÍFICOS

- Tae, Sungho_Shin, Sungwoo_Woo, Jeehwan_Roh Seungjun. – (2011). "The development of apartment house life cycle CO2 simple assessment system using standard apartment houses of South Korea". En: Renewable and Sustainable Energy Reviews 15: 1454-1467.
- Volk, Rebekka_Stengel, Julian_Schultmann, Frank. – (2014). "Building Information Modeling (BIM) for existing buildings — Literature review and future needs". En: Automation in Construction 38: 109-127.
- Wu, Peng_Xia, Bo_Pienaar, Josua_Zhao, Xianbo. – (2014). "The past, present and future of carbon labelling for construction materials - A review". En: Building and Environment 77: 160-168.
- Wu, Peng_Xia, Bo_Zhao, Xianbo. – (2014). "The importance of use and end-of-life phases to the life cycle greenhouse gas (GHG) emissions of concrete – A review". En: Renewable and Sustainable Energy Reviews 37: 360-369.
- Kwok Wai Wong, Johnny_Zhou, Jason. – (2015). "Enhancing environmental sustainability over building life cycles through green BIM: A review". En: Automation in Construction 57: 156-165.
- Østergård, Torben_RasmusL.Jensen_SteffenE.Maagaard. – (2016). "Building simulations supporting decision making in early design – A review". En: Renewable and Sustainable Energy Reviews 64: 187-201.
- Soust-Verdaguer, Bernardette_Llatas, Carmen_García-Martínez, Antonio. (2016). "Simplification in life cycle assessment of single-family houses: A review of recent developments". En Building and Environment 103: 215-227.
- Heap-Yih, Chong_Cen-Ying, Lee_Xiangyu, Wang. – (2017). "A mixed review of the adoption of Building Information Modelling (BIM) for sustainability". En Journal of Cleaner Produc-

tion 142: 4114-4126.

- Kaur Chirjiv, Anand_Amor, Ben. – (2017). "Recent developments ,future challenges and new research directions in LCA of buildings: A critical review". En: Renewable and Sustainable Energy Reviews 67: 408-416.

- Kovacic, Iva_Reisinger, Julia_Honic, Meliha. – (2018). "Life Cycle Assessment of embodied and operational energy for a passive housing block in Austria". En: Renewable and Sustainable Energy Reviews 82: 1774-1786.

- Hollberg, Alexander_Ruth, Jürgen. – (2016). "LCA in architectural design - a parametric approach". En: Building Components And Buildings 21: 943-960.

- Agustí-Juan, Isolda_Habert, Guillaume. – (2017). "Environmental design guidelines for digital fabrication". En: Journal of Cleaner Production 142: 2780-2791.

- Soust-Verdaguer, Bernardette_Llatas, Carmen_García-Martínez, Antonio. (2017). "Critical Review of bim-based LCA method to buildings". En: Energy and Buildings 136: 110-120.

- Cellura, Maurizio_Guarino, Francesco_Longo, Sonia_Mistretta, Marina. – (2017). "Modeling the energy and environmental life cycle of buildings: A co-simulation approach". En: Renewable and Sustainable Energy Reviews 80: 733-742.

- Eadie, Robert_Browne, Mike_Odeyinka, Henry_McKeown, Clare_McNiff, Sean. – (2013). "BIM implementation throughout the UK construction project lifecycle: An análisis". En: Automation in Construction 36: 145-151.

- Álvarez Antón, Laura_Díaz, Joaquín. – (2014). "Integration of life cycle assessment in a BIM environment". En: Precedia Engineering 85: 26-32.

- Shadram, Farshid_David Johansson, Tim_Lu, Weizhou_Olofsson, Thomas. – (2016). "An integrated BIM-based framework for minimizing embodied energy during building design". En:

Energy and Buildings 128: 592-604.

- Najjar, Mohammad_Figueiredo, Karoline_Palumbo, Mariana_Haddad, Assed. – (2017). "Integration of BIM and LCA: Evaluating the environmental impacts of building materials at an early stage of designing a typical office building". En: Journal of Building Engineering 14: 115-126.

OTROS

- García Martínez, Antonio. "Análisis del ciclo de vida (ACV) de edificios. Propuesta metodológica para la elaboración de Declaraciones Ambientales de Viviendas en Andalucía". Tesis Doctoral. Universidad de Sevilla, 2010.

- Haya Leiva, Esperanza. "Análisis de Ciclo de Vida". Master en Ingeniería y Gestión Medioambiental.

- Conejero Díaz, Javier. "Análisis de ciclo de vida de la casa Wichita. Materialidad y proceso constructivo". Trabajo fin de máster MIATD 2016-2017

- Ormaza García, Fabricio A. "Análisis De Ciclo De Vida De Modelos Habitacionales De Vivienda Unifamiliar En Entornos De Clima Cálido Húmedo. (Ecuador s. XXI)". Trabajo fin de Máster MIATD 2016-2017.

- Reyes Borbón, Mabel. "Análisis comparativo de sistemas constructivos pesados vs ligeros, mediante herramientas ACV/BIM, en el contexto caribeño (República Dominicana). Trabajo fin de máster MIATD 2016-2017.

- Ruiz Alfonsea, Marta. "Análisis del ciclo de vida de modelos de habitación construidps en entornos de clima tropical (Colombia, s. XX-XXI)". Trabajo fin de Máster MIATD 2015-2016.

- Mesa González, Alejandro. "Análisis de Ciclo de Vida de Soluciones Arquitectónicas Ligeras de Rápido Montaje: El Sistema Florín". Trabajo Fin de máster 2013-2014.



MIATD
MASTER OFICIAL EN INNOVACION EN ARQUITECTURA:
TECNOLOGÍA Y DISEÑO