

Modelo BIM de sostenibilidad arquitectónica basada en el análisis del ciclo de vida para el barrio de Russafa de acuerdo con la normativa UNE/ISO



26 mayo 2017

AUTOR:

**RAIMON CALABUIG MORENO**

TUTOR ACADÉMICO:

**JAVIER OROZCO MESSANA**

Dpto. de Ingeniería Mecánica y de Materiales



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR  
ENGINYERIA  
D'EDIFICACIÓ





## Resumen

Este trabajo final de grado es como resultado de lo aprendido en la formación de Grado en Arquitectura Técnica de la Universitat Politècnica de València principalmente, de la estancia de 5 meses en la University of Applied Sciences of Utrecht cursando el minor *Smart Sustainable Cities* así como de la participación en varios workshop de carácter internacional e interdisciplinar relacionados con la sostenibilidad.

El presente trata de abordar el cálculo de la sostenibilidad del barrio de Russafa, València. Tras un primer período de contextualización para definir sostenibilidad y apoyándose de normas estándar internacionales, se pretende establecer una metodología que dé como resultado parámetros útiles y comparables con otras ciudades para medir la sostenibilidad.

Para la realización de los cálculos se ha explorado el potencial de la tecnología del modelado digital de la información y cómo ésta puede interactuar con los programas de sistemas de información geográfica y de bases de datos de materiales para tratar de obtener una herramienta integral para el cálculo de sostenibilidad.

Debido a la amplitud del concepto de sostenibilidad, este trabajo centraliza sus esfuerzos en calcular el análisis del ciclo de vida de los edificios construidos y la energía consumida durante la vida de estos. No se deja pasar la oportunidad de, someramente, analizar posibles acciones en los aspectos sociales y de actividad económica, que estén encarados a mejorar la sostenibilidad del barrio.

**Palabras clave:** Sostenibilidad, BIM, LCA, análisis ciclo de vida, Russafa



## Agradecimientos

Sense dubte, no podré mai agrair suficientment el suport i ànims que la gran família que tinc, pare, mare i germans i germanes m'han oferit. Sense ells hagués sigut impossible fer front i acabar aquesta carrera.

Companys i companyes de carrera, en especial Joan, Rosa, Raquel, David, Laura, Alba i tants altres impossibles de nomenar, per totes les hores hem passat junts i ajudes mútues que ens hem donat.

A Aïda, per la seua paciència, estima i estimul per encarar els reptes que aquesta titulació comportava.

A l'ETSIE, el seu professorat i en especial a Javier Orozco, per introduir-me en el món de la sostenibilitat.

A la meua colla del poble, amb ells tot és possible.



## Lista de acrónimos

**BIM:** Building Information Modeling

**CAD:** Diseño Asistido por Ordenador

**CTE:** Código Técnico de la Edificación

**GIS:** Sistema de información Geográfica

**IVE:** Insituto Valenciano de la Edificación

**LCA:** Análisis del Ciclo de Vida

**PGOU:** Plan General de Ordenación Urbana

**UN:** Naciones Unidas





# Índice

## TABLA DE CONTENIDOS

Resumen.....	I
Agradecimientos .....	III
Lista de acrónimos .....	V
Índice.....	VII
1. Introducción .....	1
1 Alcance .....	1
2 Metodología.....	1
2. Desarrollo .....	3
1 Introducción al barrio de Russafa .....	3
2 Sostenibilidad .....	4
3 Ciudades sostenibles. Indicadores de la norma ISO 37.120.....	7
4 Live Cycle Assessment (ISO 14040) .....	8
5 Clasificación tipológica de los edificios de Russafa .....	10
6 Modelado BIM. De modelar un edificio a un barrio .....	13
7 Cálculos .....	15
8 Implicación de los habitantes en la reducción de las emisiones.....	25
9 Implicación de las empresas .....	27
3. Conclusiones.....	29
4. Bibliografía .....	31
5. Referencias.....	33
Anejos.....	A
1 Tipologías constructivas .....	A
2 Tabla de cálculos de energía y campos para relaciones con otros softwares .....	A
3 Cuantificación de materiales.....	A
4 LCA Tally .....	A
5 LCA Ces EduPack.....	A
6 BMC.....	A



# 1. Introducción

## 1 Alcance

El objeto final de este trabajo final de grado (TFG) es cálculo y obtención de parámetros para poder analizar la sostenibilidad de los edificios del barrio de Ruzafa utilizando para ello la metodología conocida como *Building Information Modeling* (BIM) y el Análisis del Ciclo de Vida (LCA). Con esta finalidad, se hace un recorrido por las normas de estandarización internacionales (ISO) que definen las bases para un desarrollo sostenible de las ciudades, así como las que desarrollan el análisis del ciclo de vida. Por último, se hace un análisis energético de los edificios del barrio.

La importancia de usar BIM viene por la intención de no solo poder calcular la sostenibilidad del barrio sino, además, en futuros trabajos poder simular diferentes escenarios posibles en el modelo BIM y tener automatizados los cálculos. Se cuantifica así, cuanto mejora o empeora la sostenibilidad inicial del barrio y se consigue tener una herramienta que permite simular y comparar diferentes intervenciones en el parque de viviendas.

Cabe remarcar que estas simulaciones se realizan en base BIM. Con ello se aprovecha su potencial gráfico y de cálculo, para mostrar a la propiedad los resultados visuales y de confort de cada solución propuesta. Esto no es baladí porque se convierte en una herramienta útil para convencer a los usuarios y clientes (Breukers, Mourik, van Summeren, & Verbong, 2016).

Igual de útil se aprecia a la hora de planificar políticas de rehabilitación. Que una administración pueda saber el efecto que sus políticas tendrán sobre aquello edificado, cuantificar los costes y los beneficios esperados en términos de sostenibilidad, podrá hacer que el diseño de estas políticas sea más efectivo.

Queda fuera del alcance del presente trabajo, aunque se introducen datos en el modelo BIM, el efecto de la vegetación en la regulación térmica y en el confort acústico del barrio. El estrés térmico debido a los materiales usados en las zonas públicas del barrio, las partículas materiales finas y contaminación acústica producidas por el tráfico rodado del barrio. Estos y tantos otros aspectos sociales y económicos que se engloban en la norma ISO 37120 y que no da tiempo a abordar.

Aun sabiendo las limitaciones definidas en este TFG, es importante poder calcular y evaluar la sostenibilidad de los barrios y ciudades actuales. El mundo necesita acciones que ayuden a prevenir el cambio climático y las ciudades representan un factor importante en la generación de gases de efecto invernadero. El primer paso para poder establecer estrategias es saber el estado actual para poder definir donde actuar de forma más eficiente.

## 2 Metodología

El desarrollo de este TFG ha empezado con una primera fase de familiarización con el barrio y con los conceptos de sostenibilidad y LCA. Debido a la gran cantidad de información a que se hace frente cuando se habla de un barrio, la estrategia sigue dos caminos. Uno se centra en cómo se va a modelar en BIM y otro en cómo realizar los cálculos que necesarios.

Una vez definido el cómo, se pone en práctica y se prueba su efectividad en diferentes niveles. Se empieza modelando y calculando un edificio, luego una manzana y se termina con el barrio entero, tal y como se muestra en la ilustración 1. En cada nivel se comprueba que el modelo funciona y que se

pueden hacer los cálculos requeridos. En caso contrario, se revisa el procedimiento hasta conseguir hacer los resultados necesarios.

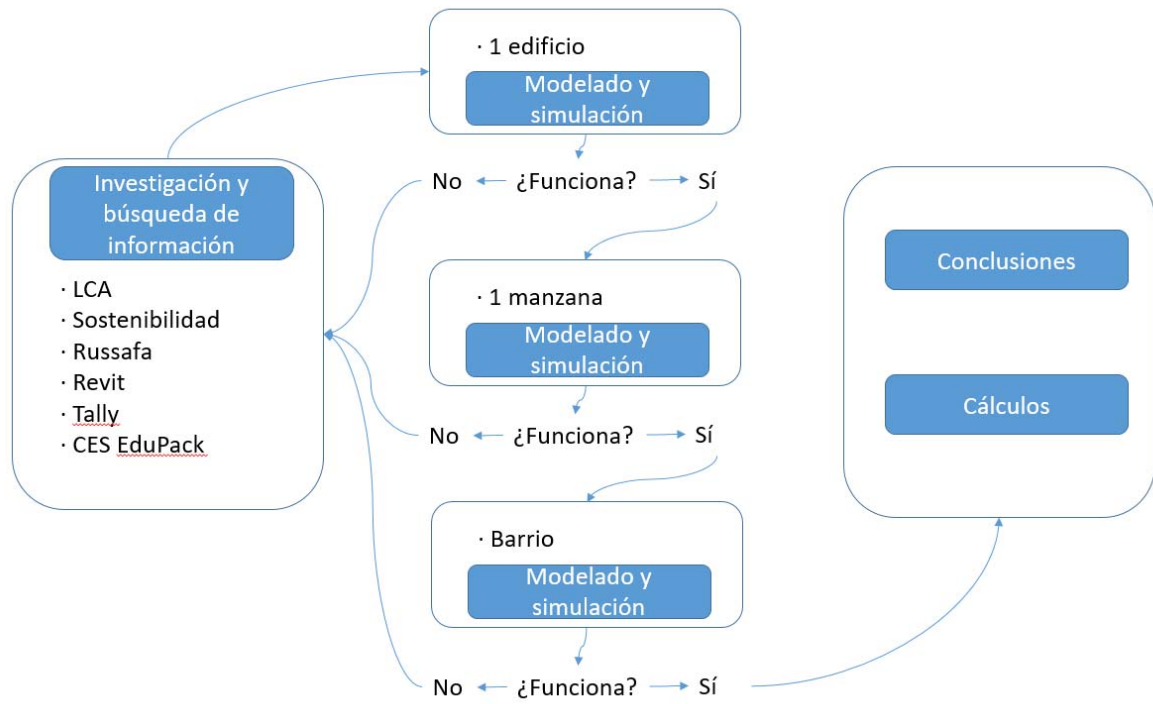


Ilustración 1 Diagrama de procedimiento. Elaboración propia

Hasta aquí el trabajo ha introducido los conceptos de sostenibilidad, LCA, la metodología empleada y nos ha situado el barrio de Russafa

## 2. Desarrollo

En este capítulo se explica el desarrollo del TFG. Partiremos con una introducción al barrio escogido para el estudio de su sostenibilidad, Russafa. Seguidamente se define el concepto de sostenibilidad y se presentan las normas internacionales de referencia en el campo de la sostenibilidad de las ciudades y en el del análisis del ciclo de vida. En el siguiente apartado se plasma cómo se ha estudiado y clasificado el parque edificatorio de Russafa, en aras de realizar los cálculos necesarios que permitan realizar un estudio de la sostenibilidad del barrio. Finalmente se muestra un cuadro resumen de los resultados obtenidos y de la comparativa entre los dos diferentes métodos de cálculo utilizados.

### 1 Introducción al barrio de Russafa

Russafa tiene como origen la almunia que ABd Allah al-Balansi ordenó construir para servirle como lugar de residencia y de recreo. Su nombre proviene, del palacio que su padre Abd al-Rahma edificó en Córdoba, inspirándose a su vez en el palacio y almunia que su bisabuelo Hisam poseía en Siria, conocidos como la al-Rusafa.

Russafa, se caracterizaba por su huerta y cercanía a la albufera. La rendición de Valencia al rey Jaume I fue firmada en Ruzafa el 28 de septiembre de 1238. Su carácter de alquería agrícola, con pocas casas, se mantuvo durante los años siendo en el siglo XV cuando aparecen las primeras señales de conexión con lo urbano, al tener acceso a la ciudad de Valencia por una puerta en su muralla.

Este vínculo se fue incrementando, a mediados del siglo XIX se podía identificar el casco urbano, con sus calles y plazas céntrica. La influencia de Valencia sobre Russafa fue notoria a partir de la segunda mitad del siglo XIX. La puesta en marcha del ferrocarril al Grao en 1852 fue un hito que continúa condicionando la estructura del barrio y que incrementó el intercambio mercantil en la zona. De igual manera, la construcción de la plaza de toros, finalizada en 1859, fue un aliciente para aumentar el valor del suelo entre Valencia y Russafa, cosa a la que también contribuyó el traslado del ayuntamiento hasta su actual ubicación, desplazando actividad social hacia el sur de Valencia.

La demolición de la muralla de Valencia en 1865 fue el punto de inflexión por el que empezó el crecimiento de la ciudad hacia Russafa. El Ayuntamiento de Valencia empezó en 1870 los trámites de anexión terminando este proceso en 1877, con lo que Russafa a partir de entonces fue incluida en los Planes de Ensanche.



Ilustración 2 Placa de la rendición de València a Jaume I

## 2 Sostenibilidad

An Inconvenient truth, este documental basado en las conferencias que, el exvicepresidente de Estados Unidos Al Gore, desarrollaba para concienciar a la ciudadanía del peligro del calentamiento global. Estamos llenando este fino cascarón de la atmosfera con contaminación, era una de las primeras frases que decía en sus presentaciones. Se sentía preocupado porque pensaba que no conseguía transmitir el mensaje y se preguntaba por qué había personas que negaban la máxima, a lo que Al Gore se respondía reflexionando en que, si no lo negaran sería incomprendible que no actuaran para hacer cambios importantes.

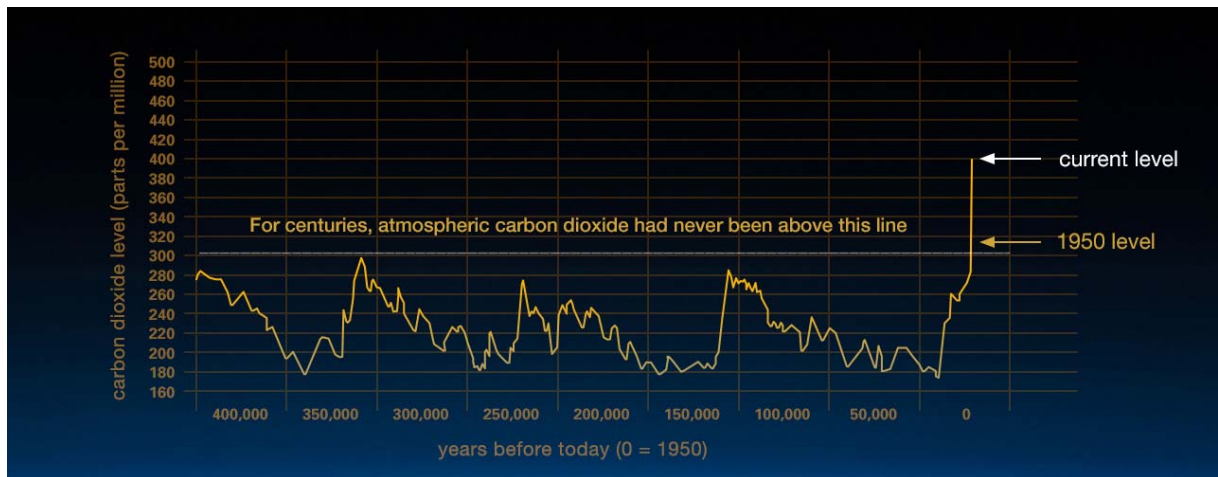


Ilustración 3 Niveles de dióxido de carbono. 2017.

[https://climate.nasa.gov/system/content\\_pages/main\\_images/203\\_co2-graph-021116.jpeg](https://climate.nasa.gov/system/content_pages/main_images/203_co2-graph-021116.jpeg)

El calentamiento global es causado por los conocidos como gases de efecto invernadero (GHG). Estos impiden que la energía proveniente del sol y que es absorbida por la tierra e irradiada hacia el exterior, en forma de ondas infrarrojas, atraviese la atmosfera por lo que es devuelta a la tierra. El dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) causado por la acción del ser humano es el principal responsable de este efecto.

Chart 2014 – Contribution of different greenhouse gases to the overall greenhouse gas concentration

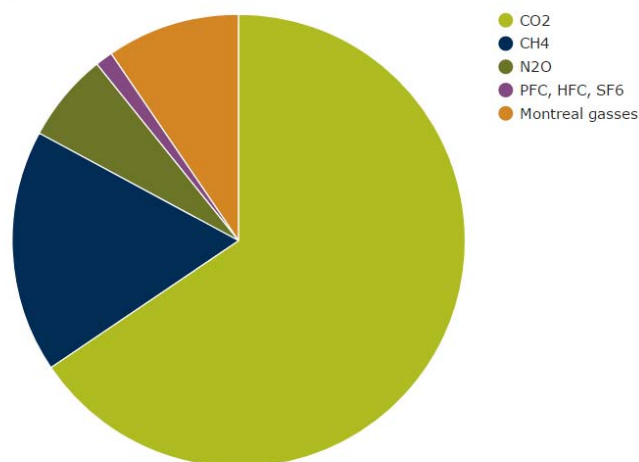


Ilustración 4 Greenhouse Gases by gas. 2017.

[http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/contribution-of-the-different-ghgs-3#tab-chart\\_3](http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/contribution-of-the-different-ghgs-3#tab-chart_3)

Los efectos del calentamiento global cada vez son más evidentes; el aumento del nivel del mar, de la temperatura del mundo y de los océanos, la disminución del espesor y del área de hielo en los polos, la acidificación oceánica... Pero esto parece muy ambiguo, lo tenemos que concretar un poco. El aumento del nivel del mar significa que millones de personas tendrán que cambiar de ciudad; el aumento de la temperatura mundial y de los océanos implica fenómenos meteorológicos más extremos (más sequías, más lluvias torrenciales, más olas de calor...) lo que se traduce en más gasto en electricidad para climatización, menos agua potable, menos agricultura...

La siguiente pregunta lógica es, ¿de dónde proviene ese CO<sub>2</sub>? Según la ilustración 5 vemos que los hogares y la energía que usamos para su funcionamiento y acondicionamiento térmico pueden llegar a suponer un 45% de los GHG, por lo que es fundamental intervenir en las edificaciones y en su eficiencia energética para reducir el monto de CO<sub>2</sub>.

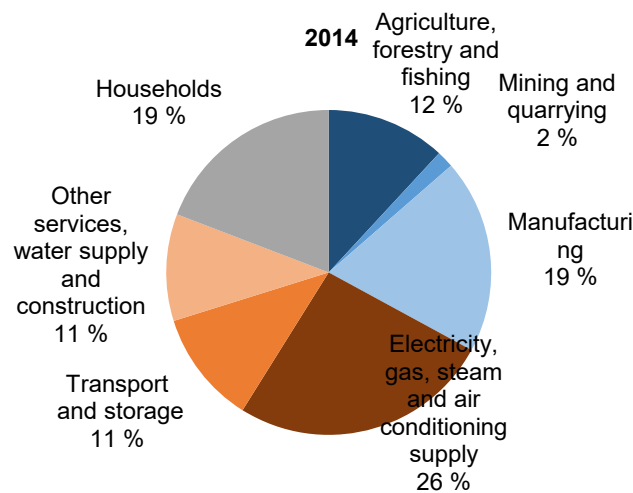
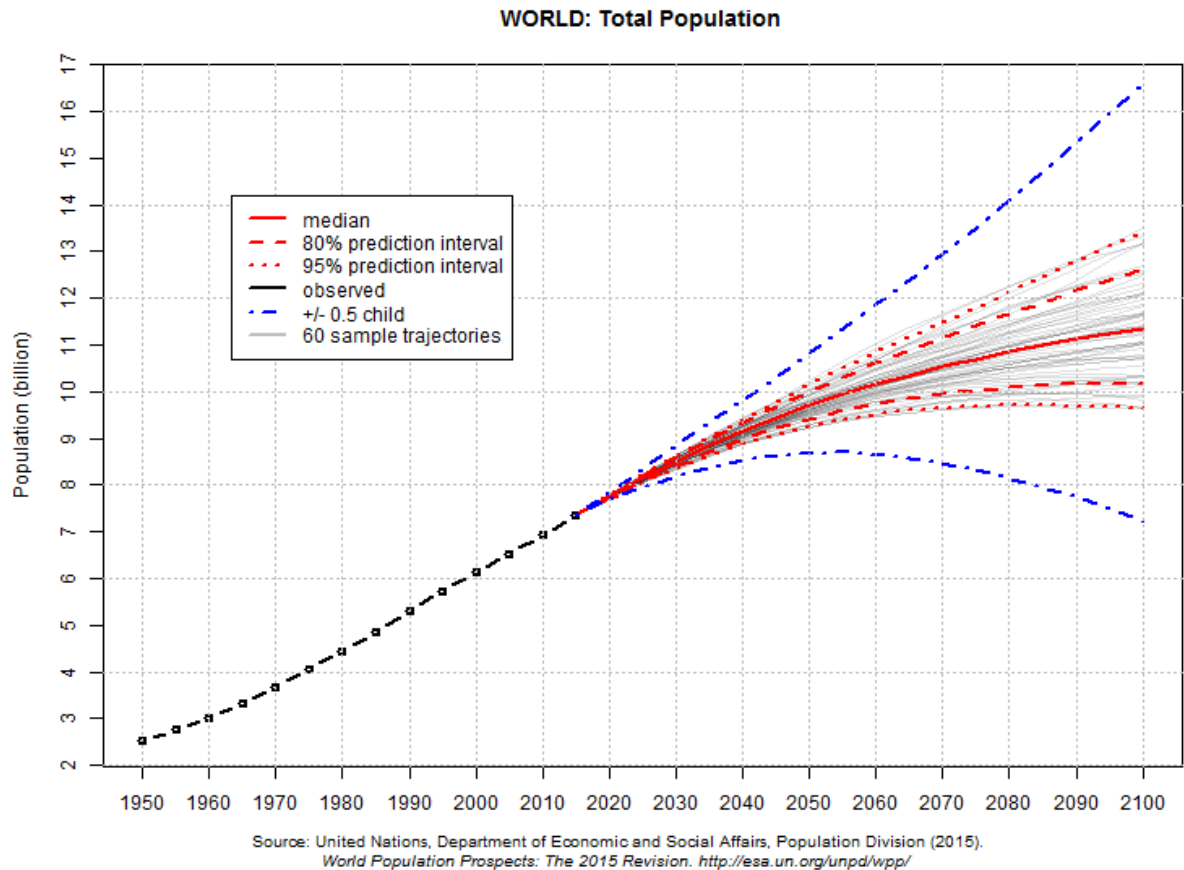


Ilustración 5 Greenhouse gas emissions by economic activity. 2017. [http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/images/7/79/Greenhouse\\_gas\\_emissions\\_by\\_economic\\_activity%2C\\_EU-28%2C\\_2009\\_and\\_2014\\_%28%25\\_of\\_total\\_emissions\\_in\\_CO2\\_equivalents%29\\_YB17.png](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/images/7/79/Greenhouse_gas_emissions_by_economic_activity%2C_EU-28%2C_2009_and_2014_%28%25_of_total_emissions_in_CO2_equivalents%29_YB17.png)

Actualmente la población mundial es de unos 7,3 billones de habitantes y según las estimaciones de Naciones Unidas (UN) en el año 2050 seremos casi 10 billones de habitantes. La necesidad de actuar en la vivienda está más que justificada y la necesidad de pensar en las ciudades también pues el 70% de la población vivirá en estas.





*Ilustración 6 World Total Population Prospects. 2017.*

[https://esa.un.org/unpd/wpp/Graphs/2\\_Probabilistic%20Projections/1\\_Population/1\\_Total%20Population/WORLD.png](https://esa.un.org/unpd/wpp/Graphs/2_Probabilistic%20Projections/1_Population/1_Total%20Population/WORLD.png)

Queda claro que tenemos que actuar para reducir el CO<sub>2</sub> que producimos los humanos. Pero para conseguir involucrar a todo el mundo en esta cuestión debemos convencer a la gente. Eso es lo que intentó Al Gore en sus conferencias y con el mismo fin, cada vez tiene más peso el concepto de desarrollo sostenible.

Pero, ¿qué entendemos por desarrollo sostenible? De entre las definiciones, nos decidimos por la de UN que define desarrollo sostenible como *la satisfacción de las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades*. Entonces la dificultad vendrá en definir cuáles son las necesidades. La misma UN explicita que, *un desarrollo sostenible trata de lograr, de manera equilibrada, el desarrollo económico, el desarrollo social y la protección del medio ambiente*.

La UN acordó el 25 de septiembre de 2015 la agenda de desarrollo sostenible que contiene unos objetivos globales para proteger el planeta, erradicar la pobreza y asegurar la prosperidad mundial. El objetivo número once de esta agenda dice textualmente: *Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles*. Y es que según asegura Naciones Unidas, las ciudades a pesar de solo ocupar el 3% de la superficie del planeta son las responsables de entre el 60% y el 80% del consumo de energía y del 75% de las emisiones de CO<sub>2</sub>.



*Ilustración 7 Objetivos de desarrollo sostenible. 2017.*

<http://www.un.org/sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/>

Dentro de este objetivo se enmarca el presente Trabajo Fin de Grado; el estudio de la sostenibilidad de los asentamientos humanos y en nuestro caso, el barrio de Ruzafa perteneciente a la ciudad de Valencia.

### 3 Ciudades sostenibles. Indicadores de la norma ISO 37.120

Quando se habla de ciudades sostenibles una de las primeras normas internacionales que se encuentran es la ISO 37120. Esta norma expone una serie de indicadores normalizados con el que se pretende conseguir que, las diferentes ciudades que apliquen esta norma puedan compararse entre ellas. No cuantifica cuan sostenible es una ciudad, es una herramienta que pretende que una ciudad como Valencia buscando una ciudad que considere equiparable, compare sus indicadores para poder copiar políticas o acciones que estén dando efecto en aquella ciudad.

Los indicadores se encuentran desarrollados en los capítulos 5 a 21 de esta norma. Cada capítulo se refiere a una temática en concreto siendo éstas: Economía, Educación, Energía, Medio Ambiente, Finanzas, Respuesta ante incendios y emergencias, Gobierno, Salud, Esparcimiento, Seguridad, Acogida, Residuos sólidos, Telecomunicaciones e innovación, Transporte, Planificación Urbana, Aguas residuales y Agua y saneamiento. Para este TFG son de interés los capítulos 7 Energía y 8 Medio Ambiente. Cada capítulo presenta unos indicadores principales y otros de apoyo.

Los últimos datos, referidos al capítulo de energía, facilitados por el Ayuntamiento de Valencia se detallan a continuación en la Tabla 1.

Tabla 1 Indicadores de energía de València. 2017. Elaboración propia. Datos de <http://open.dataforcities.org/>

Chapter	Indicator	Quantity	Year of the data
7.1	Total residential electrical energy use per capita	1.433,08 kWh/year/capita	2014
7.2	Percentage of city population with authorized electrical service	100%	2014
7.3	Energy (electricity) consumption of public buildings per year	47,42 kWh/m <sup>2</sup>	2014
7.4	Percentage of total energy derived from renewable sources, as a share of the city's total energy consumption	4,74%	2013
7.5	Total electrical energy use per capita	3.233,04 kWh/year/capita	2013
7.6	Average number of electrical interruptions per customer per year	1,01/customer/year	2013
7.7	Average lenght of electrical interruptions	0,68 h	2013

La comparación entre ciudades se realiza de forma sencilla en el mismo sitio web <http://open.dataforcities.org/> («World Council on City Data: WCCD Open City Data Portal», s. f.). En este caso se han seleccionado las ciudades de Valencia y Barcelona y el capítulo 7. Se muestra el resultado en la ilustración 8.

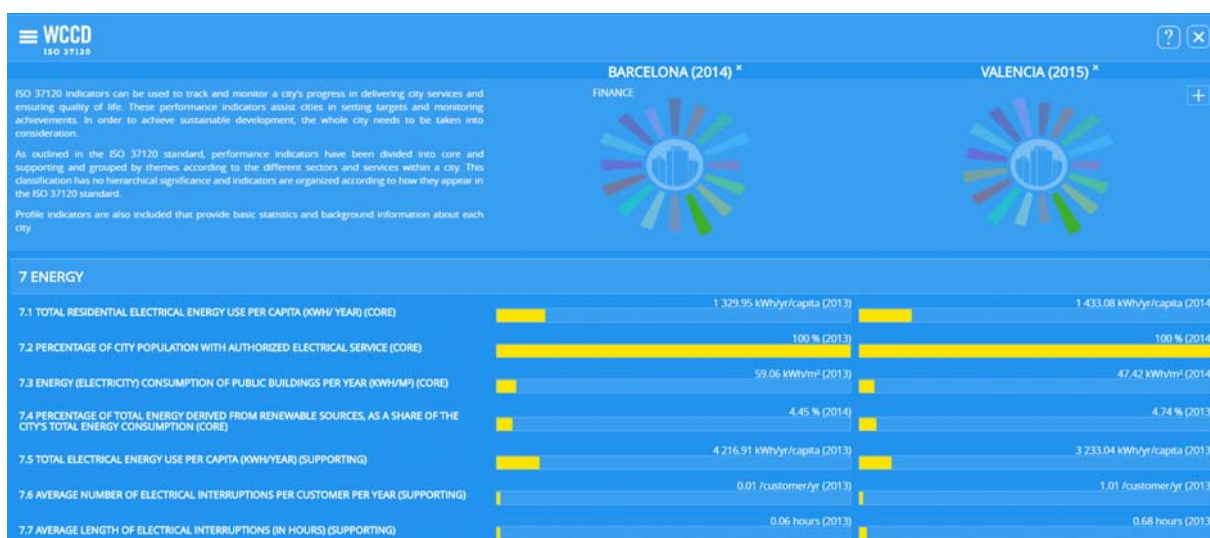


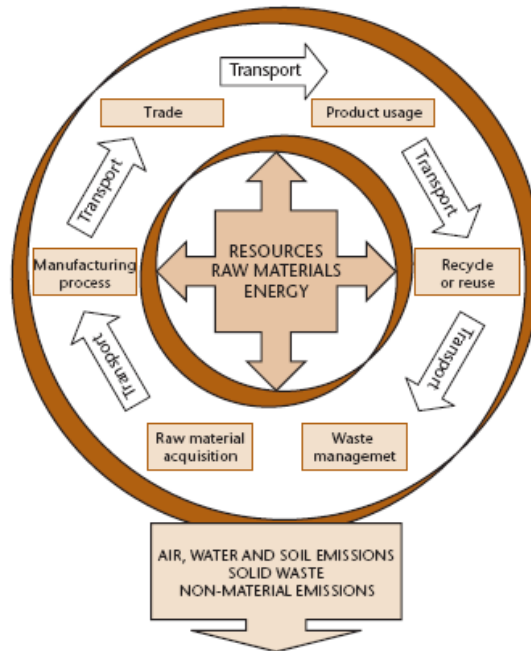
Ilustración 8 Comparision between Valencia and Barcelona energy indicators data. 2017. <http://open.dataforcities.org/>

#### 4 Live Cycle Assessment (ISO 14040)

Cuando se estudia la energía que se consume en un edificio se calcula a la energía usada durante la vida del edificio para iluminación, calefacción y aire acondicionado, electrodomésticos... en definitiva, la energía que se usa mientras el edificio está vivo. Pero se obvian otras energías y efectos

medioambientales ligados a la edificación. Para calcular esta energía, se utiliza el llamado Análisis del Ciclo de Vida (LCA).

Definido en la norma ISO 14040:2006, el LCA trata los aspectos ambientales (interacción con el medio ambiente) de un producto, desde la adquisición de la materia prima para su producción hasta la disposición final. Un esquema de esta idea la encontramos en la ilustración 9.



*Ilustración 9 Esquema de ciclo de vida [Stachowicz, 2001; Walz, 2000]*

Un LCA se estructura en 4 fases. La primera trata del alcance del estudio, definiendo claramente los límites del sistema y el nivel de detalle. La segunda fase, conocida como inventario del ciclo de vida, recopila y cuantifica las entradas y salidas del sistema a través de todo el ciclo de vida del producto. La fase de evaluación del impacto ambiental, corresponde a la tercera etapa, pretende conocer y evaluar la magnitud e importancia de los impactos ambientales potenciales del sistema a través del ciclo de vida del producto. Por último, la fase de interpretación del ciclo de vida evalúa, en relación al alcance definido, el inventario y/o la evaluación del impacto del ciclo de vida para producir unas conclusiones y recomendaciones.

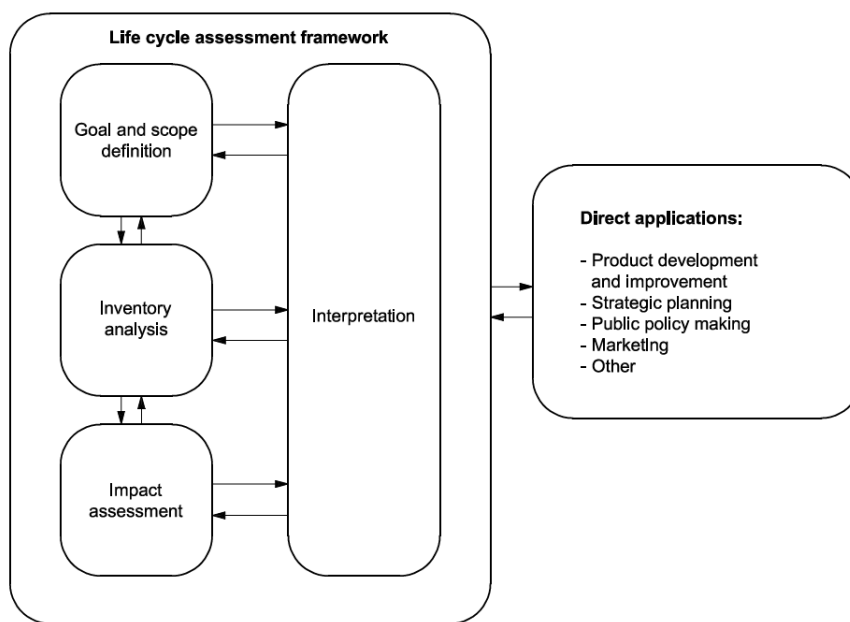


Ilustración 10 Fases de un LCA. ISO 14040:2006

Para calcular el LCA de los materiales usados en la construcción del parque edificatorio del barrio se han barajado dos posibilidades. Por una parte, cuantificar todos los materiales que aparecen en el modelo BIM del barrio, extraer los datos a hojas de cálculo de manera que se pueda operar con ellos y con las bases de datos de LCA. La otra posibilidad es utilizar un software específico de cálculo de LCA que trabaja sobre Revit directamente.

## 5 Clasificación tipológica de los edificios de Russafa

En Russafa ha sido de aplicación varias normativas urbanísticas que han condicionado la arquitectura y composición de los edificios construidos. A continuación, se nombran las diferentes normas que han sido de aplicación en el barrio. Éstas han sido recopiladas y agrupadas por Bloques Normativos por el doctor arquitecto César Jiménez en su tesis doctoral *Análisis de las Metodologías para la recuperación patrimonial de entornos urbanos protegidos. Propuesta Metodológica: desde los valores históricos a los nuevos modelos energéticos. Russafa desde el siglo XIX* (JIMÉNEZ ALCAÑIZ, 2014). Jiménez define los bloques normativos como [... los cambios de las Ordenanzas y Reglamentos más importantes y que se han hecho de notar en las construcciones realizadas en cada periodo.] [pág. 301]

Tabla 2 Marco legal. 2017. Elaboración propia. Datos de (Jimenez Alcañiz, 2014)

Título	Año inicio	Año fin
Bloque Normativo 0	Desde los Fueros	1844
Bloque Normativo I	Desde 1844, Reglamento de Policía Urbana y Rural para la ciudad de Valencia y su término	1887
Bloque Normativo II	Desde 1887, Proyecto de Ensanche de Calvo, Arnau y Ferreres. Primeras Ordenanzas del Ensanche	1912

Bloque Normativo III-1	Desde 1912, Ensanche de Mora	1925
Bloque Normativo III-2	Desde 1925, apéndice a las Ordenanzas del Ensanche	1929
Bloque Normativo IV	Desde 1929, adaptaciones normativas	1946
Bloque Normativo V	1946, PGOU de Valencia y su comarca y las Ordenanzas Municipales	Actualidad

Estos Bloques Normativos sirven de referencia al autor para definir lo que serán las tipologías constructivas. César agrupa los bloques según la tradición constructiva, dando lugar a tres tipologías diferentes; la primera tipología, es coincidente con el Bloque Normativo I (hasta 1844); la segunda recoge des del Bloque I hasta el IV inclusive (1844 hasta 1946) y la tercera corresponde al bloque V (1946-actualidad).

Otra posibilidad es seguir las etapas que define el Instituto Valenciano de la Edificación (IVE) en su publicación *Catálogo de tipología edificatoria residencial. Ámbito: España* (Ortega Madrigal, García-Prieto Ruiz, Serrano Lanzarote, Valero Escribano, & Soto Francés, 2016). En este catálogo se clasifica la edificación según su antigüedad y tamaño, entre otros parámetros. En su versión web <http://webtool.building-typology.eu/#bm> se ve cómo se organiza el parque edificatorio en forma de matriz. La entrada horizontal de la matriz define el periodo temporal donde situar el edificio y la entrada vertical es la define la clase de edificación según si es una vivienda unifamiliar, una casa adosada, una vivienda multifamiliar o un edificio de viviendas. *Ilustración 11*

Una vez seleccionada la edificación se tiene acceso a su caracterización tipológica, obteniendo datos de la solución constructiva habitual de ese período para cubiertas, fachadas, forjados y ventanas.















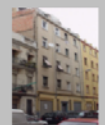















Country	Region	Construction Year Class	Additional Classification	SFH Single Family House	TH Terraced House	MFH Multi Family House	AB Apartment Block
	Mediterranean climate (Clima Mediterráneo)	... 1900	generic	 ES.ME.SFH.01.Gen	 ES.ME.TH.01.Gen	 ES.ME.MFH.01.Gen	 ES.ME.AB.01.Gen
	Mediterranean climate (Clima Mediterráneo)	1901 ... 1936	generic	 ES.ME.SFH.02.Gen	 ES.ME.TH.02.Gen	 ES.ME.MFH.02.Gen	 ES.ME.AB.02.Gen
	Mediterranean climate (Clima Mediterráneo)	1937 ... 1959	generic	 ES.ME.SFH.03.Gen	 ES.ME.TH.03.Gen	 ES.ME.MFH.03.Gen	 ES.ME.AB.03.Gen
	Mediterranean climate (Clima Mediterráneo)	1960 ... 1979	generic	 ES.ME.SFH.04.Gen	 ES.ME.TH.04.Gen	 ES.ME.MFH.04.Gen	 ES.ME.AB.04.Gen
	Mediterranean climate (Clima Mediterráneo)	1980 ... 2006	generic	 ES.ME.SFH.05.Gen	 ES.ME.TH.05.Gen	 ES.ME.MFH.05.Gen	 ES.ME.AB.05.Gen
	Mediterranean climate (Clima Mediterráneo)	2007 ...	generic	 ES.ME.SFH.06.Gen	 ES.ME.TH.06.Gen	 ES.ME.MFH.06.Gen	 ES.ME.AB.06.Gen

Ilustración 11 Matriz de selección de Tabula. 2017. <http://webtool.building-typology.eu/#bm>

Para la realización de la clasificación de los edificios del barrio, se opta por seguir los períodos que facilita el proyecto europeo que tiene como resultado la herramienta Tabula. En este proyecto participaba el Instituto Valenciano de la Edificación y tiene publicado en formato digital el Catálogo de tipología edificatoria residencial (Ortega Madrigal et al., 2016).

Siguiendo las etapas en que divide las edificaciones Tabula, se definen las cuatro tipologías que agruparán la totalidad de los edificios de viviendas del barrio de Ruzafa. De cada edificio, se ha buscado su año de construcción según datos oficiales del catastro, accesibles a través de internet. Por rapidez y fluidez en la consulta, se ha hecho uso de la web <https://es.goolzoom.com/>.

La siguiente tabla muestra las cuatro tipologías y los años que comprenden cada una.

Tabla 3 Tipología y período temporal. Elaboración propia

Tipología	Período
Tipología 1	Hasta el año 1936
Tipología 2	Des del año 1937 hasta el 1959
Tipología 3	Des del año 1960 hasta el 1979
Tipología 4	Des del año 1980 hasta el 2017

Para cada tipología se define su envolvente. Las características necesarias para concretar cada elemento de la envolvente son: materiales que lo componen y transmitancia de la solución. Se modela

una solución común para cada tipología que servirá de base para el estudio del LCA y para el análisis energético.

Tabla 4 Tipología y Transmitancia. 2017. Elaboración propia a partir de datos del catálogo de tipología edificatoria (Ortega Madrigal et al., 2016)

Tipología y solución constructiva	Transmitancia U (W/m <sup>2</sup> K)
<b>Tipología 1</b>	
Cubierta_01	3,08
Fachada_01	2,56
Suelo_01	1,18
Ventana_01	5,35
<b>Tipología 2</b>	
Cubierta_02	1,37
Fachada_02	2,27
Suelo_02	1,27
Ventana_02	4,72
<b>Tipología 3</b>	
Cubierta_03	1,92
Fachada_03	1,33
Suelo_03	1,72
Ventana_03	5,70
<b>Tipología 4</b>	
Cubierta_04	0,60
Fachada_04	0,60
Suelo_04	2,20
Ventana_04	3,37

Para la finalidad del presente trabajo final de grado es imprescindible que las diferentes tipologías tengan definidos los materiales que los componen. El cálculo del LCA precisará de la cantidad total de la masa de cada componente.

Una vez definidas las tipologías edificatorias utilizadas en la definición completa del barrio de Russafa, se procede con el modelo BIM del barrio.

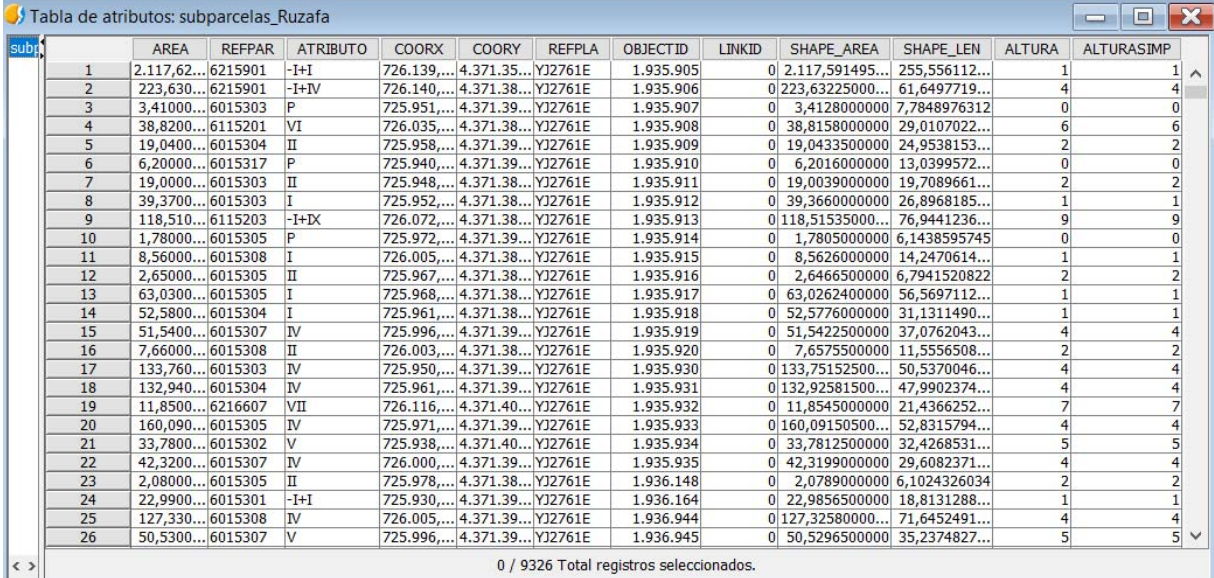
## 6 Modelado BIM. De modelar un edificio a un barrio

Como objetivo del TFG, se decide explorar la utilidad de la metodología BIM para el cálculo de la sostenibilidad de un barrio o ciudad. No es nuevo el uso de esta tecnología en el ámbito edificatorio, así como tampoco lo es para calcular el LCA de un edificio. Como ejemplo está publicado el paper: *Calculation of a building's life cycle carbon emissions based on Ecotect and building information modelling* (Peng, 2016). En él se desliza, cómo el BIM puede facilitar los datos necesarios para realizar el LCA de un edificio, haciendo especial hincapié en la fase de uso que según el mismo autor representa el 85 % de las emisiones de CO<sub>2</sub>.

Debido a la envergadura del TFG, antes de cada paso se debe pensar bien la estrategia a seguir. Para el modelado del barrio en BIM esta estrategia se ha centrado en cómo conseguir los datos necesarios



para todo un vecindario. Una base de datos resulta imprescindible para manejar toda la información viéndose, desde un principio, la necesidad de apoyarse en el sistema de información geográfica (GIS). Solo explicitando los números se ve esta necesidad; más de 9000 referencias catastrales y más de 1000 árboles que se encuentran en el barrio. De entre los programas informáticos que ofrecen GIS se decide por el de software libre gvSIG, que además ha sido desarrollado en la Comunitat Valenciana.



	AREA	REFFPAR	ATRIBUTO	COORX	COORY	REFPLA	OBJECTID	LINKID	SHAPE_AREA	SHAPE_LEN	ALTURA	ALTURASIMP
1	2,117,62...	6215901	-I+I	726.139,...	4.371.35...	YJ2761E	1.935.905	0	2,117,591495...	255,556112...	1	1
2	223,630...	6215901	-I+IV	726.140,...	4.371.38...	YJ2761E	1.935.906	0	223,63225000...	61,6497719...	4	4
3	3,41000...	6015303	P	725.951,...	4.371.39...	YJ2761E	1.935.907	0	3,4128000000	7,7848976312	0	0
4	38,8200...	6115201	VI	726.035,...	4.371.38...	YJ2761E	1.935.908	0	38,8158000000	29,0107022...	6	6
5	19,0400...	6015304	II	725.958,...	4.371.39...	YJ2761E	1.935.909	0	19,0433500000	24,9538153...	2	2
6	6,20000...	6015317	P	725.940,...	4.371.39...	YJ2761E	1.935.910	0	6,2016000000	13,0399572...	0	0
7	19,0000...	6015303	II	725.948,...	4.371.38...	YJ2761E	1.935.911	0	19,0039000000	19,7089661...	2	2
8	39,3700...	6015303	I	725.952,...	4.371.38...	YJ2761E	1.935.912	0	39,3660000000	26,8968185...	1	1
9	118,510...	6115203	-I+IX	726.072,...	4.371.38...	YJ2761E	1.935.913	0	118,51535000...	76,9441236...	9	9
10	1,78000...	6015305	P	725.972,...	4.371.39...	YJ2761E	1.935.914	0	1,7805000000	6,1438595745	0	0
11	8,56000...	6015308	I	726.005,...	4.371.38...	YJ2761E	1.935.915	0	8,5626000000	14,2470614...	1	1
12	2,65000...	6015305	II	725.967,...	4.371.38...	YJ2761E	1.935.916	0	2,6466500000	6,7941520822	2	2
13	63,0300...	6015305	I	725.968,...	4.371.38...	YJ2761E	1.935.917	0	63,0262400000	56,5697112...	1	1
14	52,5800...	6015304	I	725.961,...	4.371.38...	YJ2761E	1.935.918	0	52,5776000000	31,1311490...	1	1
15	51,5400...	6015307	IV	725.996,...	4.371.39...	YJ2761E	1.935.919	0	51,5422500000	37,0762043...	4	4
16	7,66000...	6015308	II	726.003,...	4.371.38...	YJ2761E	1.935.920	0	7,6575500000	11,5556508...	2	2
17	133,760...	6015303	IV	725.950,...	4.371.39...	YJ2761E	1.935.930	0	133,75152500...	50,5370046...	4	4
18	132,940...	6015304	IV	725.961,...	4.371.39...	YJ2761E	1.935.931	0	132,92581500...	47,9902374...	4	4
19	11,8500...	6216607	VII	726.116,...	4.371.40...	YJ2761E	1.935.932	0	11,8545000000	21,4366252...	7	7
20	160,090...	6015305	IV	725.971,...	4.371.39...	YJ2761E	1.935.933	0	160,09150500...	52,8315794...	4	4
21	33,7800...	6015302	V	725.938,...	4.371.40...	YJ2761E	1.935.934	0	33,7812500000	32,4268531...	5	5
22	42,3200...	6015307	IV	726.000,...	4.371.39...	YJ2761E	1.935.935	0	42,3199000000	29,6082371...	4	4
23	2,08000...	6015305	II	725.978,...	4.371.38...	YJ2761E	1.936.148	0	2,0789000000	6,1024326034	2	2
24	22,9900...	6015301	-I+I	725.930,...	4.371.39...	YJ2761E	1.936.164	0	22,9856500000	18,8131288...	1	1
25	127,330...	6015308	IV	726.005,...	4.371.39...	YJ2761E	1.936.944	0	127,32580000...	71,6452491...	4	4
26	50,5300...	6015307	V	725.996,...	4.371.39...	YJ2761E	1.936.945	0	50,5296500000	35,2374827...	5	5

Ilustración 12 Imagen de la tabla de atributos del archivo GIS usado en este TFG

Otra pata que sostiene este TFG es el BIM. Como software BIM se ha utilizado el Revit pues los estudiantes y el personal de la UPV tienen acceso a una licencia educativa. La metodología usada para modelar el barrio en BIM se ha desarrollado en varias fases.

La fase previa fue de asesoramiento y búsqueda de información. En esta fase el objetivo era definir la estrategia a seguir para modelar el barrio. Básicamente en Revit se puede avanzar en el diseño de un edificio de dos formas. Una en la que, eligiendo directamente los elementos que se van a modelar, se van situando paredes, forjados y demás elementos constructivos y otra en la que el primer paso es diseñar la envolvente del edificio y a partir de ella se sitúan los elementos constructivos. En ambas formas de modelar, nos serviríamos de un mapa base en formato CAD exportado del archivo GIS de Russafa.

De las dos opciones de modelado se decide por la segunda. Esta forma de modelar se basa en las masas. Las ventajas encontradas en este método son varias. Las masas tienen parametrizado directamente el volumen que engloban y una vez insertado el CAD de la planta del barrio de Russafa y definidos los niveles, era fácil levantar las masas basándose en estos dos ítems.

Una vez decidida la forma en que se va a modelar, se fija el alcance de aquello a modelar. En este punto y pensando en futuras ampliaciones del presente TFG, se decide modelar la forma básica de cada edificio, las calles, las aceras y los árboles.

Se explora la posibilidad de modificar los parámetros de proyecto de las familias de Revit para introducir parámetros de interés para este TFG como son Energía Embebida, Consumo de Agua... La intención es aprovechar las posibilidades de parametrización para realizar cálculos propios relacionados con la sostenibilidad. Después de la investigación realizada, se descarta esta posibilidad

debido a la complejidad posterior para el uso de datos. Se llegó a la conclusión de que, se requería el conocimiento de un mínimo de programación y el consiguiente uso de Dynamo para el tratamiento y automatización necesario de estos parámetros, escapándose del alcance de este TFG.

Teniendo la información del barrio recogida en un archivo GIS y sabiendo como modelar y hasta donde, se comienza con el modelado. Siguiendo la metodología establecida y explicada en la introducción del trabajo, se procede a modelar primero un edificio, luego los edificios de una manzana y finalmente el conjunto del barrio.

## 7 Cálculos

En este apartado se explica cómo se han realizado los cálculos. Se divide en dos grandes subapartados, el relativo a los cálculos energéticos y el relativo al LCA. Como se ha explicado al principio de este TFG, se ha empezado realizando de lo individual a lo conjunto, siendo el primer cálculo el de un edificio, pasando por una manzana para terminar en el barrio.

### *Cálculo energético*

Aprovechando las virtudes del BIM y del software Revit en particular, se aprovecha su funcionalidad de análisis energético para empezar con los cálculos y poder validar la propuesta de metodología para el análisis del LCA de un barrio. Primeramente, se analiza un bloque de viviendas de forma aislada con la finalidad de ver qué resultados devuelve y si son de utilidad, proseguir con una manzana. Se obtienen estos resultados mostrados en la siguiente figura.

#### **Factores de rendimiento de construcción**

Ubicación:	39.4715385437012,-0.346731305122375
Estación meteorológica:	143508
Temperatura exterior:	Máx.: 33°C/Min.: 1°C
Área común del piso:	242 m <sup>2</sup>
Área de muro exterior:	178 m <sup>2</sup>
Potencia de iluminación media:	6.57 W/m <sup>2</sup>
Personas:	12 Personas
Proporción de ventanas en exterior:	0,19
Costo eléctrico:	0,13 \$/kWh
Costo de combustible:	1,23 \$/unidad térmica

#### **Intensidad de uso de energía (EUI)**

EUI de electricidad:	158 kWh/sm/yr
EUI de combustible:	1,247 MJ/m <sup>2</sup> /año
EUI total:	1,816 MJ/m <sup>2</sup> /año

#### **Costo/Uso de energía de ciclo de vida**

Uso de electricidad de ciclo de vida:	587,231 kWh
Uso de combustible de ciclo de vida:	4,627,965 MJ
Costo de energía de ciclo de vida:	57.745 \$

*\*30 años de vida y descuento de 6,1% en costos*

*Ilustración 13 Cálculos energéticos 1 edificio Revit. Elaboración propia. 2017*

Las primeras conclusiones son positivas. El software identifica la ubicación del edificio, coge los parámetros meteorológicos y físicos necesarios y calcula la energía estimada que se consumiría en 30 años. El cálculo ha sido más o menos rápido, unos 5 minutos y nos proporciona la información necesaria para nuestros cálculos, el consumo de energía.

Comprobado que para un edificio funciona, se prosigue con la simulación de una manzana completa. En este caso se ha optado por realizarlo probando la funcionalidad del modelado de masas, sabiendo la simplificación de que el programa no sabe la composición de los elementos constructivos, si se

observa que, interiormente en el programa, se pueden definir varios parámetros que serán los utilizados por el programa para el cálculo.

Configuración de energía

Parámetro	Valor				
<b>Modelo analítico de energía</b>					
Modo	Utilizar masas conceptuales				
Plano de suelo	PB				
Fase de proyecto	Existente				
Resolución de espacio analítico	0.4572				
Resolución de superficie analítica	0.3048				
Profundidad de la zona de perímetro	3600.0000				
División de la zona de perímetro	<input checked="" type="checkbox"/>				
<b>Avanzados</b>					
Otras opciones	Editar...				
<b>Modelo detallado</b>					
Porcentaje de cristalera de destino	40%				
Altura de antepecho de destino	750.0000				
La cristalera está sombreada	<input type="checkbox"/>				
Profundidad de sombreado	600.0000				
Porcentaje de claraboyas de destino	0%				
Anchura y profundidad de claraboya	0.9144				
<b>Datos de construcción</b>					
Tipo de edificio	Plurifamiliar				
Tabla de planificación de operaciones de construcción	Por defecto				
Sistema de climatización	Ventilación/Aire acondicionado unitario 11.3 EER, 84,4% calentamiento de caldera				
Información de aire exterior	Editar...				
<b>Datos de habitación/espacio</b>					
Categoría de exportación	Habitaciones				
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Parámetro</th> <th>Valor</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Anchura y profundidad de claraboya</td> <td>0.9144</td> </tr> </tbody> </table>		Parámetro	Valor	Anchura y profundidad de claraboya	0.9144
Parámetro	Valor				
Anchura y profundidad de claraboya	0.9144				
<b>Datos de construcción</b>					
Tipo de edificio	Plurifamiliar				
Tabla de planificación de operaciones de construcción	Por defecto				
Sistema de climatización	Ventilación/Aire acondicionado unitario 11.3 EER, 84,4% calentamiento de caldera				
Información de aire exterior	Editar...				
<b>Datos de habitación/espacio</b>					
Categoría de exportación	Habitaciones				
<b>Propiedades térmicas de materiales</b>					
Tipos conceptuales	Editar...				
Tipos esquemáticos	<Edificio>				
Elementos detallados	<input type="checkbox"/>				
Tipos conceptuales					

Modelo de masa	Construcciones
Muro exterior de masa	Construcción ligera – Aislamiento típico de clima templado
Muro interior de masa	Construcción ligera – Sin aislamiento
Muro exterior de masa - Subterráneo	Construcción pesada – Aislamiento típico de clima templado
Cubierta de masa	Aislamiento típico - Cubierta fría
Suelo de masa	Construcción ligera – Sin aislamiento
Losa de masa	Construcción pesada – Sin aislamiento
Cristalera de masa	Cristal doble incoloro – Sin recubrimiento
Objeto de masa para claraboya	Cristal doble incoloro – Sin recubrimiento
Sombreado de masa	Sombreado básico
Hueco de masa	Aire

Ilustración 14 Opciones de configuración energética. Elaboración propia.2017

Como se ve en la figura anterior, se puede definir completamente el perfil energético de las masas. Se le presupone una gran utilidad para el diseño de futuras construcciones, donde solo modelando la forma exterior de lo que se pretende edificar ya se puede obtener una idea del consumo energético. Se realiza el análisis energético automático de Revit sobre una manzana del barrio y se obtienen los resultados que se muestran en la ilustración 15. Igualmente, el tiempo empleado por Revit para el cálculo es limitado, unos 15 minutos para todo el proceso.

### Factores de rendimiento de construcción

Ubicación:	Madrid, España
Estación meteorológica:	133706
Temperatura exterior:	Máx.: 38°C/Min.: -4°C
Área común del piso:	750 m <sup>2</sup>
Área de muro exterior:	1.100 m <sup>2</sup>
Potencia de iluminación media:	9,69 W/m <sup>2</sup>
Personas:	30 Personas
Proporción de ventanas en exterior:	0,00
Costo eléctrico:	0,13 \$/kWh
Costo de combustible:	1,23 \$/unidad térmica

### Intensidad de uso de energía (EUI)

EUI de electricidad:	111 kWh/sm/yr
EUI de combustible:	265 MJ/m <sup>2</sup> /año
EUI total:	663 MJ/m <sup>2</sup> /año

### Costo/Uso de energía de ciclo de vida

Uso de electricidad de ciclo de vida:	2,488,433 kWh
Uso de combustible de ciclo de vida:	5,958,546 MJ
Costo de energía de ciclo de vida:	172.659 \$

\*30 años de vida y descuento de 6,1% en costos

Ilustración 15 Análisis energético masa de una manzana. Elaboración propia. 2017

Validadas dos opciones de análisis energético, una basada en elementos construidos y otra en elementos masa, se avanza al análisis del barrio entero. Se sigue con el análisis basado en masa. Se modela las masas de todo el barrio, pero de forma ya más detallada, edificio a edificio. Ya se advierte una limitación de este análisis, todos los edificios modelados en masa serían de la misma tipología constructiva. Pero como el plan es transformar las caras de masa de cada edificio en su solución constructiva seguimos adelante con la prueba. Como se ve en la siguiente ilustración, la prueba sale mal.

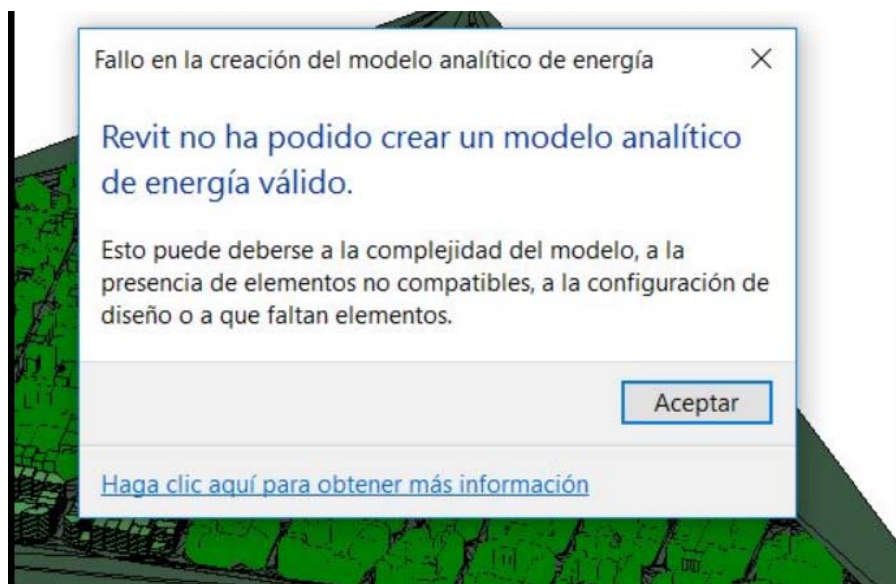
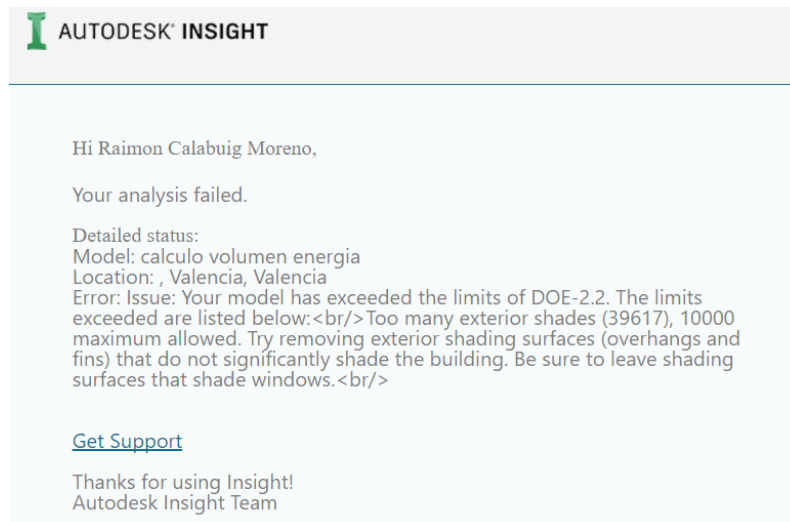


Ilustración 16 Error en el modelo energético del barrio. Elaboración propia. 2017

Ya el tiempo precisado por el software parecía excesivo, comprado con los que había tardado en los anteriores análisis. Pero después de tardar varias horas, donde el programa Revit no te deja realizar nada con él, solo se dedica a los cálculos se espera un resultado positivo. Que un cálculo de este alcance estuviese fuera del alcance del programa era una posibilidad esperable. De los errores mostrados por el programa y a modo de comprobación, se contactó con el servicio de atención al cliente de Autodesk.

Se nos informó que la licencia de estudiante no tiene límite, lo que Revit tiene limitado es el número de fachadas.



*Ilustración 17 Límite en el número de fachadas de Revit. Elaboración propia. 2017*

Sabedores de esta limitación se decide investigar posibles soluciones. Pues la intención de este TFG es implementar una metodología que permita el análisis del ciclo de vida de todo un barrio o ciudad. La conclusión a que se llega es que el cálculo se debe hacer fuera de Revit, conectando el modelo con otros softwares. Para ello se necesitan conocimientos de Dynamo y el lenguaje de programación Python, y ello queda fuera del alcance de este TFG.

Lo que se decide hacer es crear una Excel, que en un futuro pueda relacionarse con Revit, extraer los parámetros necesarios y así automatizar los cálculos energéticos independientemente de la envergadura del escenario. Se procede pues a diseñar los campos necesarios para conseguir los cálculos energéticos, pero pensando que en un futuro se pueda relacionar de manera bidireccional con Revit y con programas GIS.

Los cálculos energéticos, se decide realizarlos de manera estática. Este método se basa en un balance de energías, entre las que se pierden y las que se ganan. Las pérdidas se deben a fundamentalmente a la energía transmitida a través de la envolvente ( $Q_{tr}$ ) y a la ventilación ( $Q_v$ ) necesaria e imprescindible que hay en toda vivienda. En cambio, las ganancias se deben a la radiación solar ( $Q_s$ ) que incide en el interior de las viviendas a través de las zonas vidriadas y a las ganancias internas debidas a la actividad humana, la iluminación y los aparatos eléctricos ( $Q_i$ ). Para las ganancias se aplica un factor de corrección. La fórmula genérica para estos cálculos es la siguiente:

$$Q_h = (Q_{tr} + Q_v) - \eta_b(Q_s + Q_i)$$

Para un edificio, esta fórmula no presenta problemas. Lo complejo es implementar un método que pueda ser un poco variable para atender las diferentes opciones que te encuentras al enfrentarte a un barrio. Los variables que se aprecian vienen definidas mayormente, por las diferentes orientaciones de las fachadas ya que la radiación incidente depende de la orientación de las ventanas. Igualmente, otro factor a tener en cuenta es el saber si, la fachada en cuestión tiene pérdidas o no, pues si es un edificio entre medianeras solo tiene pérdidas por cubierta, suelo y dos fachadas.

La lista de los campos que componen la Excel diseñada es la siguiente:

Tabla 5 Campos de Excel. Elaboración propia. 2017

<b>Campo</b>	<b>Información fuente</b>	<b>Utilidad</b>
REFPAR	GIS	Identificación del edificio
ALTURA	GIS	Nº de plantas del edificio. Cálculo del área total
BLOCK	GIS	Nº de manzana del barrio
AÑO	CATASTRO	Necesario para definir tipología
TIPOLOGÍA	Depende del año	Información envolvente del edificio
VOLUMEN	REVIT	Cálculo de las perdidas por ventilación
AREA TOTAL DE PERDIDAS POR FACHADA	Cálculo de Excel	Necesario para calcular la energía perdida
AREA TOTAL DE VENTANAS	Cálculo de Excel	Necesario para calcular la energía perdida
AREA DE LA CUBIERTA	REVIT	Necesario para calcular la energía perdida
AREA FORJADO	REVIT	Necesario para calcular la energía perdida
TOTAL AREAS FORJADOS	Cálculo de Excel	Necesario para calcular la energía perdida
AREA FACHADA (Norte, Sud, Este y Oeste)	REVIT	Necesario para calcular la energía perdida
% VENTANAS	REVIT	Necesario para calcular la energía perdida
% PERDIDAS POR FACHADA	REVIT	Necesario para calcular la energía perdida. Define si la pared es medianera, está expuesta...

Con estos campos, se alimentaría el código para implementar la fórmula anteriormente expuesta. Para completar los cálculos se necesitan otros parámetros. Para las temperaturas de referencia se ha seguido la recomendación de la publicación *Guía técnica Condiciones climáticas exteriores de proyecto* (IDAE, 2010), para las cargas internas ( $6 \text{ W/m}^2$ ) así como el rendimientos de las instalaciones de producción de frío (2) y calor (0,92) el dato se obtiene del CTE y los datos de radiación solar se obtiene de TABULA.

La Excel final se adjunta en un anejo, pero a modo de ejemplo se expone a continuación el cálculo de un edificio básico de Russafa en el período de invierno.

Tabla 6 Cálculo energético una vivienda. Elaboración propia. 2017

Transmission heat loss winter						
Qtr	a	Area	Losses	U	DH	Qtr in Wh
R1	1	160,43	1	3,08	19584	9676932,25
R2	1			1,37	19584	0,00
R3	1			1,92	19584	0,00
R4	1			0,61	19584	0,00
W1	1	338,92	1	2,56	19584	16991607,32
W2	1			2,27	19584	0,00
W3	1			1,33	19584	0,00
W4	1			0,6	19584	0,00
F1	0,458716	160,43	1	1,18	19584	1700640,42
F2	0,52356			0,91	19584	0,00
F3	0,469484			1,13	19584	0,00
F4	0,4329			1,31	19584	0,00
Wi1	1	84,73	1	5,35	19584	8877451,09
Wi2	1			4,59	19584	0,00
Wi3	1			5,7	19584	0,00
Wi4	1			3,37	19584	0,00
Qtr [kWh] total:						37246,63

Ventilation heat loss					
Qv	n	V	factor	DH	Qv
	1,00	3048,17	1200,00	19584,00	19898460,29
Qv [kWh] total					19898,46

Internal heat gain				
Qinternal	Total area	Total hours	Int.Gain Average kW/m <sup>2</sup>	Qinternal [kWh]
	962,58	1440,00	0,006	8316,6912

Solar heat gain					
Qsun	A	red.coef	rr	qsun (kWh)	Qsun
Windows to North	0,00	0,77	0,80	40,00	0,00
Windows to South	0,00	0,77	0,60	105,00	0,00
Windows to East	42,81	0,77	0,60	40,00	786,03
Windows to West	41,92	0,77	0,60	11,00	211,64
Qsun [kWh] total:					997,67

En un futuro, la introducción de datos se automatizará, pero para el presente TFG se ha decidido realizar el cálculo de una muestra representativa del barrio. Se presentan los resultados de los cálculos de esta muestra y cómo se decide extrapolar a todo el barrio.

*Tabla 7 Resumen de los cálculos energéticos hechos con excel. Elaboración propia. 2017*

Tipología	Nº Edificios	Volumen edificado (m <sup>3</sup> )	Área edificada (m <sup>2</sup> )	Relación Volumen/Área	Consumo (kWh)/año	Consumo (kWh/año/m <sup>2</sup> )
1	32	122.274,93	6.059,24	20,18	3.760.422,59	620,61
2	37	273.225,61	10.950,21	24,95	1.994.125,12	182,11
3	24	232.091,59	9.034,37	25,69	1.595.848,81	176,64
4	14	189.441,53	7.706,62	24,58	1.028.038,21	133,39

Según el trabajo desarrollado por César Jiménez en su tesis doctoral, podemos considerar que el 80% del barrio de Russafa está construido antes del año 1960. Este período es coincidente con las tipologías 1 y 2 definidas en este TFG. Entonces el 80% del área de Russafa tendrá el consumo de estas tipologías y el resto corresponderá a las tipologías 3 y 4.

Después de analizar la superficie ocupada por cada tipología respecto del total del área de Russafa, los coeficientes de ponderación resultantes son:

- Tipología\_1 = 0,2
- Tipología\_2 = 0,6
- Tipología\_3 = 0,1
- Tipología\_4 = 0,1

Con lo que el consumo medio de energía anual por metro cuadrado de superficie de Russafa es de 264,39 kWh/m<sup>2</sup>/año. Siendo la superficie de Russafa total de 558.476,16 m<sup>2</sup>, pero a efectos de nuestros cálculos energéticos (solo se ha considerado los edificios del perímetro de las manzanas, no lo edificado en los patios interiores) consideramos un 29% edificado en altura, por lo tanto 161.958,04 m<sup>2</sup> el consumo anual del barrio se sitúa en 42.820.086,19 kWh/año. Si comparamos este dato con el facilitado por el ayuntamiento de Valencia, en cumplimiento de la norma ISO 37120 (1.433,08 kWh/año/persona) vemos que, para la población de Russafa (26.134 habitantes) el consumo anual se situaría en 37.452.112,72 kWh/año. Esto indica que nuestros cálculos difieren un 14,33 % de los oficiales, del ayuntamiento, para toda València. Esta diferencia puede deberse por varias causas y se puede asumir, teniendo en cuenta que la cifra facilitada por el ayuntamiento es la media de toda la ciudad y la gran diferencia que hay de unas tipologías a otras en lo referente a consumo medio.

El parámetro de energía consumida por el barrio queda pues valorado en:

- Consumo total: 42.820.086,19 kWh/año
- Consumo por metro cuadrado de suelo construido: 264,39kWh/m<sup>2</sup>/año
- Consumo per cápita: 1.638,48 kWh/año

#### *Cálculo del análisis del ciclo de vida*

Siguiendo el camino de calcular la sostenibilidad del barrio de Russafa, se pasa a analizar los materiales utilizados en su construcción. El alcance que definimos en este caso son los propios edificios del barrio,



dejando para futuras investigaciones el conjunto de la edificación y la vegetación que, aunque están modeladas, quedan fuera del objeto de este TFG.

Para el análisis del ciclo de vida se necesita calcular cuántos kilogramos de cada material hay en el barrio de Russafa. Tener el modelo BIM del vecindario con los elementos definidos permite extraer el volumen y la superficie de cada componente de las soluciones constructivas. Esto unido a saber la densidad del material, o el peso por metro cuadrado facilita el cálculo del producto en cuestión.

Una vez calculadas las masas de los materiales, para el cálculo del LCA es necesario utilizar una base de datos que nos relacione masa con huella de CO<sub>2</sub>. Para ello se escogen dos bases de datos diferentes, una que está integrada en el software CES EduPack y otra que se encuentra en forma de extensión para Revit.

El procedimiento en ambas difiere un poco. Mientras en la extensión Tally (<http://choosetally.com/>) se trabaja completamente en la interfaz de Revit, para el CES EduPack necesitamos extraer la cantidad de materiales. La UPV ofrece licencia para estudiantes para poder trabajar con el CES Edupack mientras que Tally ofrece una versión de prueba de 10 días y la posibilidad de adquirir gratuitamente una licencia educativa.

Los kilogramos de cada material, obtenidos de Revit y utilizados en ambos casos son los siguientes:

*Tabla 8 Resumen de las cantidades de materiales utilizados en el LCA. Elaboración propia. 2017*

<b>Material</b>	<b>Kg</b>
APP Modified bitumen, sheet	234.455,20
Brick, generic	55.545.835,30
Built up asphalt roofing	269.171,40
Ceramic tile, unglazed	1.683.274,70
Domestic softwood, US	34.345,60
Flooring, brick	10.087.957,90
Hardware, stainless steel	58.682,50
Lightweight aggregate structural concrete, expanded shale mix	756.461,60
Lightweight insulating concrete, nonstructural, perlite mix	302.254,00
Limestone tile	9.304.825,40
Mineral wool, DDP-RT (U = 0.039 W/mK), EPD - Knauf Insulation	926.235,70
Mortar type N	9.909.189,10
Paint, exterior acrylic latex	16.514,50
Paint, interior acrylic latex	90.149,60
Polystyrene board (XPS), Pentane foaming agent	24.673,80
Steel, reinforcing rod	6.404.365,30
Stone slab, granite	3.059.139,70
Structural concrete	206.956.865,70
Terracotta tile, generic	838.032,90
Thinset mortar	682.261,70
Wall board, gypsum, natural	11.653.247,80

Usando Tally para hacer el LCA de Russafa, se procede forma simple. Hay que ejecutar la extensión y luego de rellenar información básica, el propio software te detecta las diferentes soluciones

constructivas, los capas de cada una y los materiales que forman parte de ella. Una vez detectadas, el programa te pide que asignes a cada material el correspondiente de su base de datos y la forma en que Tally debe medir ese material, bien por área o por volumen. A continuación, se añaden una captura para visualizar su interfaz. Una vez asignados los materiales a los de su base de datos, ya se puede generar el informe LCA.

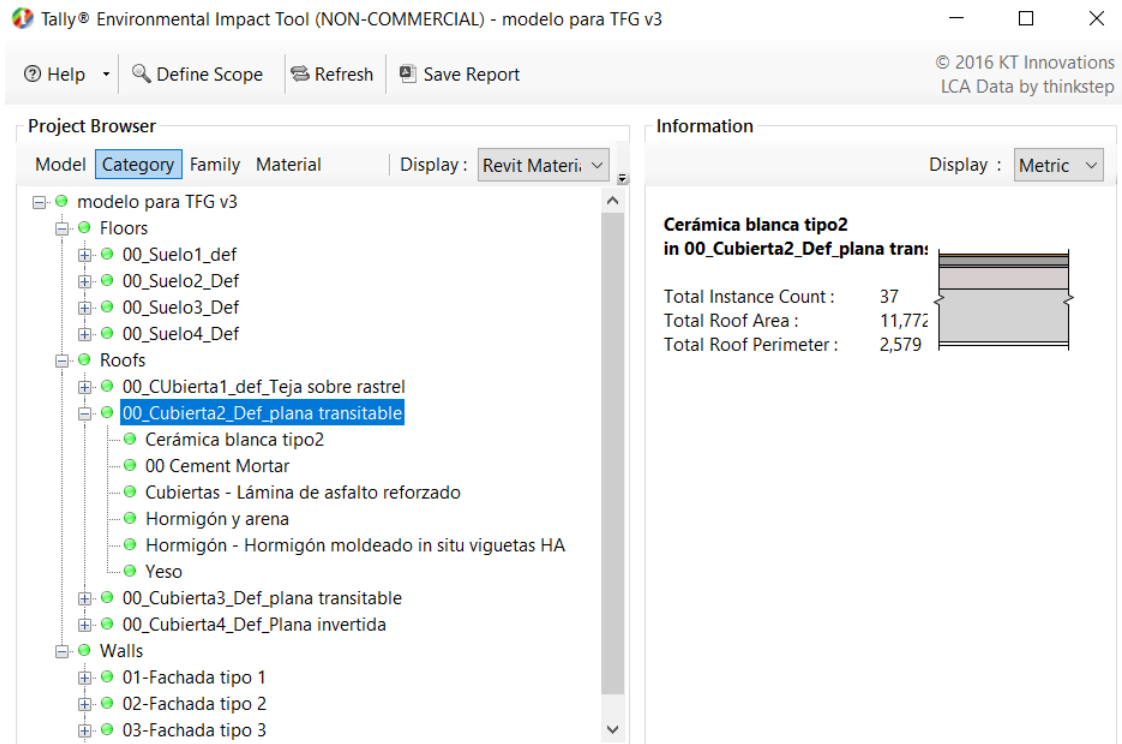


Ilustración 18 Interfaz de Tally. Elaboración propia. 2017

Para el LCA de CES EduPack el procedimiento es un poco más complejo. La parte esencial ya la obtenemos de Revit, que es la cantidad de materiales usados. Para introducir estos datos en el programa, lo primero que debemos hacer es elegir una base de datos. Este programa está pensado para la elección y diseño de materiales y te muestra diferentes niveles de detalle y amplitud de la base. Para este TFG se ha optado por la base con nombre *Level 3 Eco Design*. Una vez dentro, se debe ir a la pestaña *ECO Audit* con el fin de encontrar la base donde deberemos nombrar el material que queremos introducir, escribir la cantidad e igual que hacíamos con Tally, asignar ese material al correspondiente de la base de datos.

En CES tenemos la posibilidad de introducir la energía que consume el producto anualmente, por lo que introducimos la energía calculada en el apartado anterior, obteniendo con ello un dato interesante para nuestro análisis, la energía de uso del producto.

CES EduPack 2016 - [Product]

File Edit View Select Tools Window Feature Request Help

Home Browse Search Chart/Select Eco Audit Synthesizer Tools Settings Help

Home Product

### Eco Audit Project

Product definition Report

Material, manufacture and end of life

Qty.	Component name	Material	Recycled content	Mass (kg)	Primary process	End of life
1	APP Modified bitumen, she	Bitumen	Virgin (0%)	5,036e+05	Incl. in material value	Landfill
1	Brick, generic	Common brick	Virgin (0%)	7,662e+07	Incl. in material value	Landfill
1	Domestic softwood, US	Bamboo	Virgin (0%)	3,435e+04	Incl. in material value	Landfill
1	Steel	Low carbon steel	Virgin (0%)	6,463e+06	Extrusion, foil rolling	Landfill
1	Lightweight aggregate con	Concrete (structural lig)	Virgin (0%)	1,059e+06	Incl. in material value	Landfill
1	Mneral wool	Ceramic tile	Virgin (0%)	9,262e+05	Incl. in material value	Landfill
1	Mortar type N	Cement (ordinary Portl)	Virgin (0%)	1,059e+07	Incl. in material value	Landfill
1	Paint	Butyl rubber	Virgin (0%)	1,067e+05		Landfill
1	Polystyrene board (XPS), Pt	Rigid polystyrene foam	Virgin (0%)	2,467e+04	Polymer molding	Landfill
1	Structural concrete	High performance conc	Virgin (0%)	2,07e+08	Incl. in material value	Landfill
1	Wall board, gypsum, natur.	Plaster of Paris	Virgin (0%)	1,165e+07	Incl. in material value	Landfill
1	Marble	Marble	Virgin (0%)	3,059e+06	Incl. in material value	Landfill
1	Terracotta tile, generic	Terracotta	Virgin (0%)	8,38e+05	Incl. in material value	Landfill

Transport

Use

Product life: 60 Years

Country of use: Spain

**Static mode**  
 Product uses the following energy:  
 Energy input and output: Electric to thermal  
 Power rating: 1,322e+05 kW  
 Usage: 365 days per year  
 Usage: 1 hours per day

**Mobile mode**  
 Product is part of or carried in a vehicle:  
 Fuel and mobility type: Diesel - ocean shipping  
 Usage: 0 days per year  
 Distance: 0 km per day

Ilustración 19 Interfaz del Eco Audit-CES EduPack

Se procede a compilar los resultados del análisis de ciclo de vida para su posterior comparación. Para ello se identifica el parámetro comparable que es de interés para este TFG como es la cantidad de CO<sub>2</sub> equivalente del total de los materiales del barrio y la energía primaria.

Tabla 9 Resultados cálculo de LCA. Elaboración propia. 20017

Base de cálculo	Huella de CO <sub>2</sub> total (kgCO <sub>2</sub> eq)	Energía primaria (MJ)
Tally	92.020.000	963.000.000
CES	70.000.000	938.000.000

Siendo estos dos parámetros interesantes para nuestro análisis, no podemos obviar otra información que los dos programas nos brindan. El CES EduPack nos relaciona la energía embebida en los materiales utilizados en la construcción de los edificios y la energía que se utiliza durante el uso de estos edificios, donde se visualiza claramente que el uso del edificio es clave para reducir la huella de CO<sub>2</sub> del barrio. Aprovechando el detallado informe de Tally se pueden observar las emisiones de CO<sub>2</sub> por cada solución constructiva. En el apartado de conclusiones se analizarán estos resultados con más concreción.

Una vez desarrollados los cálculos que han permitido mostrar las emisiones de CO<sub>2</sub> del barrio, se propone indagar, pero sin ánimo de ser muy exhaustivo, en cómo motivar a la gente para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y a ser posible relacionándolo con el campo de la construcción.

## 8 Implicación de los habitantes en la reducción de las emisiones

Cuando se habla de sostenibilidad también se debe desarrollar los aspectos sociales, de implicación de la sociedad con la sostenibilidad. Si en los apartados anteriores se ha hablado más de aspectos técnicos y se ha demostrado que el uso de las viviendas es responsable de gran parte de las emisiones de CO<sub>2</sub>, en este punto se trabaja el aspecto social como parte de la sostenibilidad del barrio. El gran objetivo es vislumbrar líneas de actuación para motivar a las personas para, de forma natural, ir avanzando en la reducción del consumo energético y por ende en la eficiencia energética de las viviendas

¿Cómo se podría involucrar a la gente en la mejora de la eficiencia energética del barrio en aras de reducir la emisión de GHG derivados del consumo eléctrico? Es la primera pregunta que nos he hecho cuando hemos empezado pensar en este apartado. Concretando un poco más para no tener una pregunta tan amplia, se decide investigar como motivar a los dueños de las viviendas, para cuando tengan que hacer una reforma la hagan en vistas de conseguir una vivienda de consumo casi nulo (NZEB).

Conviene explicar que el concepto NZEB en España aún no está definido de una forma concreta, aunque la legislación europea ya impone que los edificios construidos a partir del año 2020 sean construidos siguiendo esta idea. A efectos de este TFG entenderemos NZEB como aquellos en los que el consumo energético es asimilable a la energía que es capaz de crear por medio de fuentes renovable el propio edificio.

Un primer paso para llevar a cabo este apartado es informar de qué es NZEB. La gente no toma decisiones sin tener información ni conocer las diferentes posibilidades. Desarrollar una guía informando de qué es NZEB y los pasos que puedes dar para cuando tienes la necesidad de hacer alguna reforma, hacerla de modo coherente con esta filosofía ayudará a los propietarios. Cuando se dice de forma coherente se entiende que, si se ha detectado una patología en la cubierta del edificio y hay que repararla, antes de hacerlo prever, por poner un ejemplo, ejecutar los soportes para la instalación de las placas fotovoltaicas que en un futuro sería interesante instalar para conseguir el NZEB.

De la lectura de papers se obtienen varias ideas interesantes. Por ejemplo el documento *Strategies to Achieve Net-Zero Energy Homes : A Framework for Future Guidelines Workshop Summary Report* (Mcnabb, 2013) ilustra como los propietarios necesitan ver o vivir por si mismos, los beneficios que se presumen. ¿Qué quiere decir el autor con esta frase? Es más fácil convencer a alguien de que una cosa funciona si la ve y la puede probar que si le enseñas planos y características, por muy bonitos que sean.

¿Quiere decir esto que la información no es importante en la toma de decisiones? ¡No! Poder vivir y sentir los beneficios esperados se demuestra clave en la toma de decisiones, pero también se necesita de la interacción humana. Breukers analiza este aspecto en su estudio de las estrategias de transformación de un barrio de Holanda (Breukers et al., 2016) viendo que la introducción de tecnologías, como el BIM, empodera a la gente y le muestra diferentes posibilidades y los beneficios esperados, así como aspectos visuales de cómo podría quedar la reforma.

Otro de los artículos estudiados, *Social mobilization of climate change: University students conserving energy through multiple pathways for peer engagement* (Senbel, Ngo, & Blair, 2014) relata cómo influye la gente en el comportamiento del resto. En este caso curioso, relata cómo ver a otra gente apagando las luces cuando no son necesarias motiva a los otros a hacer lo mismo. Y este comportamiento se incrementa motivándolos haciendo una competición entre diferentes edificios.

Después de leer estos artículos, se hizo una lluvia de ideas intentando generar una idea o concepto que pudiese englobarlos todos. La metodología usada en este caso fue apuntar todo lo que venía a la cabeza en post-it y pegarlos en la pared, para luego agrupar ideas que pudiesen relacionarse. El resultado de esta lluvia de ideas se concreta unas pocas que se desarrollan a continuación.

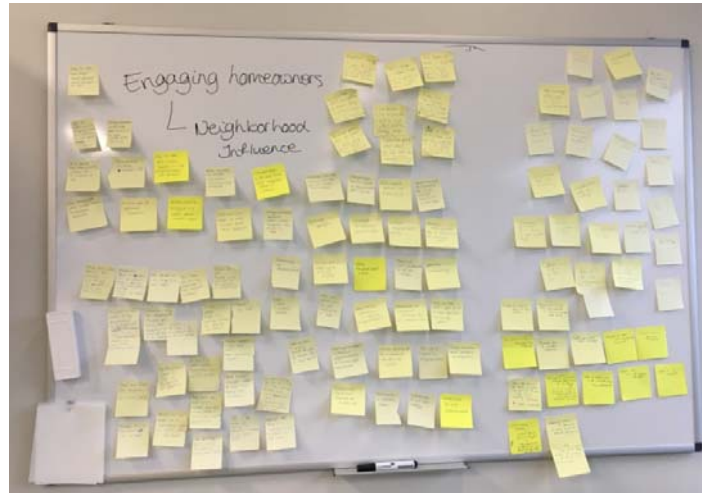


Ilustración 20 Lluvia de ideas para la implicación social. Elaboración propia. 2017

#### Información:

- Procedente de fuentes fiables, como pueden ser Ayuntamiento, Universidad, Colegios Oficiales de Arquitectos y Arquitectos Técnicos, así como sería interesante involucrar a la Conselleria d'Habitatge que acaba de presentar su plan Renhata <http://renhata.es/es>.
- Formato físico y digital. La información necesaria se presentaría tanto en web como en folleto.
- Con la propuesta de un plan, para conseguir rehabilitar la vivienda/edificio tanto en varias etapas como en una sola.
- Costes y beneficios. En ella debe aparecer el coste estimado de los diferentes pasos que se pueden dar para caminar hacia una vivienda NZEB, las ayudas públicas a que se pueden tener acceso y también y de forma clara los beneficios económicos (ahorro en la factura energética, incremento del valor de la vivienda...) y de confort esperados.
- Disminución en la generación de CO<sub>2</sub> esperada.

#### Prototipo:

- Como lugar visible y visitable. Con función de divulgación de prácticas sostenibles y donde encontrar la información anteriormente desarrollada
- Ejemplo de una reforma de un edificio público representativo del barrio hacia una NZEB.
- Que puede albergar a estudiantes para la realización de prácticas profesionales, realizando por ejemplo estudios energéticos personalizados de las viviendas y proponiendo intervenciones.

## 9 Implicación de las empresas

Si se habla de la implicación de los habitantes del barrio como actores del cambio hacia un vecindario más sostenible, se tiene que seguir intentando desarrollar un concepto que involucre a los negocios, a la actividad económica. Al igual que en la sociedad, la falta de información/formación sobre qué es NZEB, está también presente en las empresas constructoras e instaladoras. Se debe aprovechar la información, del plan de actuación para la rehabilitación desarrollado en el punto anterior, para involucrar a las empresas y establecer estrategias de colaboración.

La legislación obligará a rehabilitar pensando en la eficiencia energética llegando al punto de establecer las viviendas NZEB como obligatorias a partir del 2020. Así lo marcan las directivas europeas 2010/21 y la 2012/27 que bajo el nombre de la eficiencia energética de los edificios obligará a:

- Tener el certificado energético para alquilar o vender una vivienda
- Que todos los edificios construidos a partir del 31 de diciembre del 2020 sean NZEB
- A fijar un rendimiento energético mínimo para los edificios nuevos y para grandes reformas bien sean en el edificio o en sus instalaciones

Por ello, a través de la herramienta conocida como Business Model Canvas (BMC), se pretende hacer un estudio previo para analizar si una plataforma digital, que aglutine a las empresas relacionadas con la eficiencia energética, puede ser útil para el objetivo global de mejorar la sostenibilidad.

A través del BMC se organiza de una forma sencilla todo aquello relacionado con un modelo de negocio o actividad. Tiene nueve campos que se deben desarrollar, de forma que cuando se termina tienes identificados de forma precisa aspectos clave, como son; qué es lo que ofrece la actividad, cuáles son los potenciales clientes, como te vas a relacionar con ellos y a través de qué canales vas a llegar a ellos. Qué empresas u organizaciones pueden colaborar con tu actividad, los recursos necesarios y las actividades o hitos necesarios para el desarrollo del proyecto. Cuáles van a ser los costes y de dónde se esperan conseguir los ingresos. En los anexos se encuentra desarrollado este BMC.



## 3. Conclusions

El desarrollo del trabajo ha pasado por probar una metodología que posibilite el cálculo de la sostenibilidad de un barrio basándose en el análisis del ciclo de vida de este. El ciclo de vida de un producto de fábrica tiene los parámetros necesarios bien definidos y controlados por el fabricante. La complejidad de pasar de un producto único, a la diversidad de un barrio conlleva necesariamente planificación y metodología. Se tiene que pensar, que un barrio es un ecosistema vivo y cambiante por lo que trasladar eso a datos no es tarea sencilla.

El dr Dai Morgan, en su conferencia realizada en la UPV en abril del presente año, ya advertía que cuando se habla de sostenibilidad, la necesidad de comparar datos que pertenecen a diferentes niveles nos lleva a simplificarlos, pero tienen que ser representativos de la realidad.

Siguiendo lo dicho por el profesor Morgan, la metodología propuesta analiza los datos para obtener dos parámetros de cálculo, la energía consumida por el barrio y la huella de CO<sub>2</sub> de los edificios. Para validar el resultado de éstos, se han comparado uno con los datos oficiales del ayuntamiento y el otro chequeando los resultados obtenidos con dos programas diferentes (Tally y CES Edupack).

El proceso de unificación de datos, diversos y que pertenecen a distintos planos, tiene que estar basado en una metodología probada para proceder a su comparación. La usada en este TFG ha sido validada en el *Granta Materials Education Symposium* de los años 2016 y 2017 y en el artículo de la revista *Material-ES Teaching Sustainability Concepts for Cities through a BIM model*.

Tratar datos de procedencia tan diversa implica que no se pueda usar un único programa para conseguir cálculos. En este TFG, para el cálculo de 2 parámetros se ha usado Revit, CES Edupack, Tally, Excel y gvSIG. Esto hace imprescindible buscar la interoperabilidad y la automatización, para en próximos trabajos avanzar en la realización de cálculos y simulaciones dinámicas. Esto redondeará en otra de las ideas de la ponencia del doctor Dai, simular para validar los datos con la realidad.

De los resultados obtenidos se ha evidenciado que el uso de energía durante la vida del edificio es el mayor responsable de los gases de efectos invernadero de los edificios. Este dato se relaciona con el indicado en el apartado de sostenibilidad, donde se dice que el 75% de las emisiones de CO<sub>2</sub> provienen de las ciudades. No es descabellado pensar pues que se necesita involucrar a la sociedad en esta misión.

La legislación europea, que se aplica y aplicará en España, obligará a tener edificios cada vez más eficientes. Este factor debe de estar acompañado por otros, como se ha explicado en el punto 8 se tienen que aprovechar las herramientas diseñadas para facilitar información verídica a los usuarios y dueños de viviendas. La información, el poder experimentar el confort de una vivienda energéticamente eficiente, los costes y beneficios y ayudas públicas puede incrementar la motivación de la gente y su aceptación de cuando se hace una reforma, por pequeña que sea, hacerla con la estrategia de conseguir una vivienda NZEB.

Aunque la huella de CO<sub>2</sub> debida a los materiales utilizados en la construcción de los edificios, es menor a la energía de uso, ya existen certificaciones que unen la sostenibilidad de los materiales y el consumo energético previsto de la vivienda para etiquetarlas. Aunque los más conocidos son las certificaciones BREAM y LEED la Comunitat Valenciana posee uno propio, desarrollado por el IVE y con nombre Perfil



de Calidad de Ahorro de energía y Sostenibilidad. El informe resultado del análisis LCA de Tally sirve como justificación para el cumplimiento de los requerimientos de LEED.

Siguiendo el informe de Tally, a nivel de soluciones constructivas los forjados son los máximos causantes de la huella de CO<sub>2</sub> y a nivel de materiales son el hormigón y los productos cerámicos.

No puedo terminar las conclusiones sin reflexionar un poco sobre la que es la formación que se da en este grado y su potencialidad en el campo de la sostenibilidad, y es que esta titulación nos hace ser, un agente muy capacitado para liderar estos cambios. Cuantificar materiales, proponer intervenciones y ejecutarlas, dirigir y planificar las obras para minimizar las molestias de una reforma, mejora de las instalaciones, informes de energéticos y estudios económicos... Somos un agente muy adecuado y capacitado para ayudar en la transición hacia un mundo más sostenible

## 4. Bibliografía

### *Bibliografía utilizada*

- Breukers, S., Mourik, R. M., van Summeren, L. F. M., & Verbong, G. P. J. (2016). Institutional 'lock-out' towards local self-governance? Environmental justice and sustainable transformations in Dutch social housing neighbourhoods. *Energy Research & Social Science*, 23, 148-158. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2016.10.007>
- IDAE. (2010). *Guía técnica Condiciones climáticas exteriores de proyecto. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE)*. Recuperado a partir de <http://www.minetur.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/RITE/Reconocidos/Reconocidos/CondicionesClimaticas.pdf>
- JIMÉNEZ ALCAÑIZ, C. (2014, marzo 28). *Análisis de las Metodologías para la recuperación patrimonial de entornos urbanos protegidos. Propuesta Metodológica: desde los valores históricos a los nuevos modelos energéticos. Russafa desde el siglo XIX. Riunet*. Universitat Politècnica de València, Valencia (Spain). <https://doi.org/10.4995/Thesis/10251/37014>
- Mcnabb, N. (2013). Strategies to Achieve Net-Zero Energy Homes : A Framework for Future Guidelines Workshop Summary Report, (April), 1-48. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.6028/NIST.SP.1140>
- Ortega Madrigal, L., García-Prieto Ruiz, A., Serrano Lanzarote, B., Valero Escribano, V., & Soto Francés, L. (2016). *Catálogo de tipología edificatoria residencial. Ámbito:España* (Generalita). Recuperado a partir de [http://episcopo.eu/fileadmin/tabula/public/docs/brochure/ES\\_TABULA\\_TypologyBrochure\\_IVE.pdf](http://episcopo.eu/fileadmin/tabula/public/docs/brochure/ES_TABULA_TypologyBrochure_IVE.pdf)
- Peng, C. (2016). Calculation of a building's life cycle carbon emissions based on Ecotect and building information modeling. *Journal of Cleaner Production*, 112. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.08.078>
- Senbel, M., Ngo, V. D., & Blair, E. (2014). Social mobilization of climate change: University students conserving energy through multiple pathways for peer engagement. *Journal of Environmental Psychology*, 38, 84-93. <https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2014.01.001>
- World Council on City Data: WCCD Open City Data Portal. (s. f.). Recuperado 12 de mayo de 2017, a partir de <http://open.dataforcities.org/>

### *Bibliografía consultada*

- Giuda, G. M. Di, Villa, V., & Piantanida, P. (2015). BIM and Energy Efficient Retrofitting in School Buildings. *Energy Procedia*, 78. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.11.066>
- Lee, S., Tae, S., Roh, S., & Kim, T. (2015). Green Template for Life Cycle Assessment of Buildings Based on Building Information Modeling: Focus on Embodied Environmental Impact, 16498-16512. <https://doi.org/10.3390/su71215830>
- Liu, S., Meng, X., & Tam, C. (2015). Building information modeling based building design optimization for sustainability. *Energy & Buildings*, 105, 139-153. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.06.037>

Zabalza Bribián, I., Capilla, A. V., & Usón, A. A. (2010). Life cycle assessment of building materials: Comparative analysis of energy and environmental impacts and evaluation of the eco-efficiency improvement potential. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.12.002>

RUIZ LÓPEZ, E. (2016, junio 16). El análisis del ciclo de vida. Metodología de decisión y evaluación ambiental en el sector de la edificación. Recuperado a partir de <https://riunet.upv.es/handle/10251/66016>

## 5. Referencias

### *Tabla de ilustraciones*

Ilustración 1 Diagrama de procedimiento. Elaboración propia .....	2
Ilustración 2 Placa de la rendición de València a Jaume I.....	3
Ilustración 3 Niveles de dióxido de carbon. 2017. ....	4
Ilustración 4 Greenhouse Gases by gas. 2017.....	4
Ilustración 5 Greenhouse gas emissions by economic activity. 2017. <a href="http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/images/7/79/Greenhouse_gas_emissions_by_economic_activity%2C_EU-28%2C_2009_and_2014_%28%25_of_total_emissions_in_CO2_equivalents%29_YB17.png">http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/images/7/79/Greenhouse_gas_emissions_by_economic_activity%2C_EU-28%2C_2009_and_2014_%28%25_of_total_emissions_in_CO2_equivalents%29_YB17.png</a> .....	5
Ilustración 6 World Total Population Prospects. 2017. <a href="https://esa.un.org/unpd/wpp/Graphs/2_Probabilistic%20Projections/1_Population/1_Total%20Population/WORLD.png">https://esa.un.org/unpd/wpp/Graphs/2_Probabilistic%20Projections/1_Population/1_Total%20Population/WORLD.png</a> .....	6
Ilustración 7 Objetivos de desarrollo sostenible. 2017.....	7
Ilustración 8 Comparision between Valencia and Barcelona energy indicators data. 2017. <a href="http://open.dataforcities.org/">http://open.dataforcities.org/</a> .....	8
Ilustración 9 Esquema de ciclo de vida [Stachowicz, 2001; Walz, 2000] .....	9
Ilustración 10 Fases de un LCA. ISO 14040:2006 .....	10
Ilustración 11 Matriz de selección de Tabula. 2017. <a href="http://webtool.building-typology.eu/#bm">http://webtool.building-typology.eu/#bm</a> .....	12
Ilustración 12 Imagen de la tabla de atributos del archivo GIS usado en este TFG .....	14
Ilustración 13 Cálculos energéticos 1 edificio Revit. Elaboración propia. 2017.....	15
Ilustración 14 Opciones de configuración energética. Elaboración propia.2017 .....	16
Ilustración 15 Análisis energético masa de una manzana. Elaboración propia. 2017 .....	17
Ilustración 16 Error en el modelo energético del barrio. Elaboración propia. 2017 .....	17
Ilustración 17 Límite en el número de fachadas de Revit. Elaboración propia. 2017.....	18
Ilustración 18 Interfaz de Tally. Elaboración propia. 2017.....	23
Ilustración 19 Interfaz del Eco Audit-CES EduPack.....	24
Ilustración 20 Lluvia de ideas para la implicación social. Elaboración propia. 2017.....	26

### *Tablas*

Tabla 1 Indicadores de energía de València. 2017. Elaboración propia. Datos de <a href="http://open.dataforcities.org/">http://open.dataforcities.org/</a> .....	8
Tabla 2 Marco legal. 2017. Elaboración propia. Datos de (Jimenez Alcañiz, 2014).....	10
Tabla 3 Tipología y período temporal. Elaboración propia.....	12
Tabla 4 Tipología y Transmitancia. 2017. Elaboración propia a partir de datos del catálogo de tipología edificatoria (Ortega Madrigal et al., 2016).....	13
Tabla 5 Campos de Excel. Elaboración propia. 2017.....	19
Tabla 6 Cálculo energético una vivienda. Elaboración propia. 2017 .....	20
Tabla 7 Resumen de los cálculos energéticos hechos con excel. Elaboración propia. 2017 .....	21
Tabla 8 Resumen de las cantidades de materiales utilizados en el LCA. Elaboración propia. 2017.....	22
Tabla 9 Resultados cálculo de LCA. Elaboración propia. 20017.....	24



## Anejos

- 1 Tipologías constructivas
- 2 Tabla de cálculos de energía y campos para relaciones con otros softwares
- 3 Cuantificación de materiales
- 4 LCA Tally
- 5 LCA Ces EduPack
- 6 BMC

## Anejo 1\_Tipologías constructivas

Tipología y solución constructiva	Componentes	Transmitancia U(W7m²K)
<b>Tipología 1</b>		
Cubierta_01	Baldosa Cerámica Mortero de agarre Capa de arena Impermeabilización Mortero de cemento Tablero de bardo cerámico Cámara de aire ventilada Forjado unidireccional de Enlucido de yeso	3,08
Fachada_01	Enfoscado de cemento Ladrillo macizo de 240mm Enlucido de yeso	2,56
Suelo_01	Baldosa cerámica Mortero de cemento Forjado unidireccional viguetas Cámara de aire sin ventilar Cañizo Enlucido	1,18
Ventana_01	Vidrio monolítico Carpintería de madera de	5,35
<b>Tipología 2</b>		
Cubierta_02	Baldosa Cerámica Mortero de agarre Impermeabilización Mortero formación pendientes Forjado unidireccional de Enlucido de yeso	1,37
Fachada_02	Enfoscado de cemento Ladrillo perforado de 115 mm Enlucido de yeso	2,27
Suelo_02	Baldosa de terrazo Mortero de cemento Forjado unidireccional de Enlucido de yeso	1,27
Ventana_02	Vidrio monolítico 4 mm Carpintería de madera densidad	4,72
<b>Tipología 3</b>		
Cubierta_03	Baldosa Cerámica Mortero de agarre Impermeabilización Mortero formación pendientes Forjado unidireccional de Enlucido de yeso	1,92
Fachada_03	Enfoscado de cemento Ladrillo hueco de 115 mm Cámara de aire de 30 mm Ladrillo hueco de 40 mm Enlucido de yeso	1,33
Suelo_03	Baldosa de terrazo Mortero de cemento Forjado unidireccional de Enlucido de yeso	1,72
Ventana_03	Carpintería metálica Corredera	5,7
<b>Tipología 4</b>		
Cubierta_04	Baldosa Cerámica Mortero de agarre Aislante térmico e=40 m Impermeabilización Barrera contra el vapor Mortero formación pendientes Forjado unidireccional de Enlucido de yeso	0,6
Fachada_04	Aplacado pétreo Adhesivo cementoso Ladrillo perforado 115 mm Enfoscado de mortero Aislante térmico e=40 mm Cámara de aire de 20 mm Ladrillo hueco de 70 mm Enlucido de yeso	0,6
Suelo_04	Baldosa de mármol Mortero de agarre Forjado unidireccional de Enlucido de yeso	2,2
Ventana_04	Carpintería metálica con RPT Corredera	3,37

## Anejo 2\_ Tabla de cálculo de energía y campos para relaciones con otros softwares

REFPAR	ALURA	BLOCK	YEAR	TYPOLGY	VOLUME	Total_Area_wall	Total_Area_Wind	ROOF	FLOOR	TOTAL_AREA	FACADE_NORTH	WINDOWS	WALL_LOSSES	Solid area North	Wind_Area_north	FACADE_SOUTH	WINDOWS	WALL_LOSSES	Solid_Area	Windows_Area_Si	FACADE_EAST	WINDOWS	WALL_LOSSES	Solid_Area	Windows_Area_Ei	FACADE_WEST	WINDOWS	
6115206	3	10	7	1901	1	609,914	109,35	27,34	60,99	60,99	182,97	68,30	0,20	1,00	54,64	13,66	68,39	0,20	1,00	54,71	13,68	84,72	0,00	0,00	84,72	0,00	82,81	0,00
5713404	6	19	8	1915	1	3000,218	356,69	353,60	157,91	157,91	947,44	262,08	0,00	0,00	262,08	0,00	264,43	0,00	0,00	0,00	264,43	205,38	0,20	1,00	164,30	41,08	240,49	0,20
6117216	6	19	1	1917	1	1985,165	226,33	41,71	104,48	104,48	626,90	102,01	0,20	1,00	81,61	20,40	106,55	0,20	1,00	85,24	21,31	180,53	0,00	0,00	180,53	0,00	180,25	0,00
6117217	4	13	1	1920	1	1356,416	126,76	31,69	104,34	104,34	417,36	79,17	0,20	1,00	63,34	15,83	79,28	0,20	1,00	63,42	15,86	243,98	0,00	0,00	243,98	0,00	235,78	0,00
6117207	7	22	1	1923	1	6587,275	579,57	144,89	299,42	299,42	2095,95	355,11	0,20	1,00	284,09	71,02	369,35	0,20	1,00	295,48	73,87	207,40	0,00	0,00	207,40	0,00	194,22	0,00
6117202	6	19	1	1924	1	4234,891	936,16	79,36	222,89	222,89	1337,33	396,81	0,20	1,00	317,45	79,36	618,72	0,00	1,00	618,72	0,00	90,84	0,00	0,00	90,84	0,00	152,26	0,00
6117209	6	19	1	1924	1	3909,563	493,25	91,09	205,77	205,77	1234,60	186,51	0,00	0,00	186,51	0,00	128,90	0,00	1,00	128,90	0,00	227,72	0,20	1,00	182,17	45,54	227,72	0,20
5713407	6	19	8	1925	1	2910,682	330,92	82,73	153,19	153,19	919,16	210,56	0,20	1,00	168,45	42,11	203,08	0,20	1,00	162,47	40,62	272,65	0,00	0,00	272,65	0,00	265,35	0,00
6313605	6	19	3	1926	1	2899,751	240,88	60,22	152,62	152,62	915,71	135,92	0,20	1,00	108,73	27,18	165,19	0,20	1,00	132,15	33,04	333,43	0,00	0,00	333,43	0,00	339,49	0,00
6313606	6	19	3	1926	1	4363,107	381,64	95,41	229,64	229,64	1377,82	239,14	0,20	1,00	191,32	47,83	239,91	0,20	1,00	190,33	47,58	342,09	0,00	0,00	342,09	0,00	333,31	0,00
6117226	5	16	1	1927	1	2076,154	104,44	26,11	129,76	129,76	648,80	134,53	0,00	0,00	134,53	0,00	130,56	0,20	1,00	104,44	26,11	235,27	0,00	0,00	235,27	0,00	266,08	0,00
6117210	6	19	1	1927	1	3909,563	364,35	91,09	205,77	205,77	1234,60	186,51	0,00	0,00	186,51	0,00	186,51	0,00	0,00	263,76	0,00	227,72	0,20	1,00	227,72	0,00	266,08	0,00
6117206	7	22	1	1927	1	6587,275	579,57	144,89	299,42	299,42	2095,95	355,11	0,20	1,00	284,09	71,02	369,35	0,20	1,00	295,48	73,87	207,40	0,00	0,00	207,40	0,00	194,23	0,00
6117204	9	28	1	1927	1	10110,959	714,78	178,70	361,11	361,11	3249,95	449,26	0,20	1,00	359,41	89,85	444,21	0,20	1,00	355,37	88,84	207,29	0,00	0,00	207,29	0,00	206,94	0,00
6117221	7	22	1	1928	1	2922,303	891,10	78,38	132,83	132,83	929,82	176,07	0,20	1,00	140,85	35,21	215,83	0,20	1,00	172,67	43,17	338,45	0,00	1,00	338,45	0,00	318,84	0,00
5713403	6	19	8	1929	1	3048,171	338,92	84,73	160,43	160,43	962,58	270,36	0,00	0,00	270,36	0,00	265,90	0,00	0,00	265,90	0,00	214,06	0,20	1,00	171,25	42,81	209,59	0,20
6117219	4	13	1	1930	1	1453,476	374,28	44,80	111,81	111,81	447,22	117,43	0,20	1,00	93,94	23,49	106,58	0,20	1,00	85,27	21,32	176,35	0,00	0,00	176,35	0,00	195,07	0,00
6117222	5	16	1	1930	1	1789,112	127,44	31,86	111,82	111,82	559,10	128,93	0,00	0,00	128,93	0,00	159,30	0,20	1,00	127,44	31,86	249,11	0,00	0,00	249,11	0,00	173,52	0,00
6117225	5	16	1	1930	1	4219,939	347,76	78,77	263,75	263,75	1318,73	202,75	0,20	1,00	162,20	40,55	191,58	0,20	1,00	153,27	38,32	363,00	0,00	0,00	363,00	0,00	322,95	0,00
5713408	6	19	8	1930	1	3017,788	338,80	84,70	158,83	158,83	952,99	211,65	0,20	1,00	169,32	42,33	211,85	0,20	1,00	169,48	42,37	265,35	0,00	0,00	265,35	0,00	367,90	0,00
5713409	6	19	8	1930	1	2474,126	342,44	85,61	130,22	130,22	781,30	241,42	0,20	1,00	193,13	48,28	186,63	0,20	1,00	149,31	37,33	230,91	0,00	0,00	230,91	0,00	230,12	0,00
6117215	6	19	1	1930	1	1985,165	226,33	41,71	104,48	104,48	626,90	102,01	0,20	1,00	81,61	20,40	106,55	0,20	1,00	85,24	21,31	180,53	0,00	0,00	180,53	0,00	180,25	0,00
6117208	7	22	1	1930	1	7344,912	591,65	147,91	333,86	333,86	2337,02	259,80	0,20	1,00	207,84	51,96	484,12	0,00	0,00	484,12	0,00	479,77	0,20	1,00	383,81	95,95	377,01	0,00
5713412	5	16	8	1932	1	2442,732	313,19	78,30	152,67	152,67	763,36	202,75	0,20	1,00	162,20	40,55	188,74	0,20	1,00	151,00	37,75	202,14	0,00	0,00	202,14	0,00	198,48	0,00
5713413	5	16	8	1932	1	2583,027	314,85	78,71	161,44	161,44	807,20	204,02	0,20	1,00	163,21	40,80	189,55	0,20	1,00	151,64	37,91	201,95	0,00	0,00	201,95	0,00	221,38	0,00
5713411	6	19	8	1932	1	2764,988	356,89	89,22	145,53	145,53	873,16	241,20	0,20	1,00	192,96	48,24	204,92	0,20	1,00	163,93	40,98	240,01	0,00	0,00	240,01	0,00	242,97	0,00
5713414	6	19	8	1932	1	4059,000	367,25	91,81	213,64	213,64	1281,83	229,41	0,20	1,00	183,53	45,88	229,65	0,20	1,00	183,72	45,93	330,97	0,00	0,00	330,97	0,00	334,40	0,00
6117205	9	28	1	1932	1	10110,959	714,78	178,70	361,11	361,11	3249,95	449,26	0,20	1,00	359,41	89,85	444,21	0,20	1,00	355,37	88,84	207,29	0,00	0,00	207,29	0,00	206,94	0,00
5713410	5	16	8	1933	1	2284,755	351,52	87,88	142,80	142,80	713,99	263,48	0,20	1,00	210,78	52,70	175,93	0,20	1,00	140,74	35,19	196,86	0,00	0,00	196,86	0,00	191,30	0,00
5713416	6	19	8	1933	1	3580,049	346,92	86,73	188,42	188,42	1130,54	218,63	0,20	1,00	174,91	43,73	215,02	0,20	1,00	172,01	43,00	306,35	0,00	0,00	306,35	0,00	315,15	0,00
6115201	7	22	7	1933	1	5898,027	984,38	235,65	268,09	268,09	1876,64	369,92	0,20	1,00	295,93	73,98	454,25	0,10	0,50	408,83	45,43	380,94	0,10	0,50	342,85	38,09	390,76	0,20
6115203	9	25	7	1934	1	5755,470	1049,05	257,27	230,22	230,22	2071,97	340,91	0,20	1,00	272,73	68,18	303,73	0,20	1,00	242,98	60,75	442,17	0,20	1,00	353,74	88,43	399,12	0,10
6117223	8	25	1	1937	2	13358,511	1317,88	260,07	534,34	534,34	4274,72	759,31	0,20	1,00	607,45	151,86	541,04	0,20	1,00	432,83	108,21	689,68	0,00	0,25	689,68	0,00	525,89	0,00
5713415	6	19	8	1940	2	4067,607	371,08	92,77	214,09	214,09	1284,51	230,92	0,20	1,00	184,73	46,18	232,93	0,20	1,00	186,34	46,59	327,02	0,00	0,00	327,02	0,00	330,00	0,00
6117218	8	25	1	1940	2	7293,446	1054,32	115,92	291,74	291,74	2333,90	251,72	0,20	1,00	201,38	50,34	327,89	0,20	1,00	262,31	65,58	628,34	0,00	0,50	628,34	0,00	552,92	0,00
6816501	9	28	2	1942	2	6849,047	549,31	137,33	244,61	244,61	2201,48	468,26	0,20	1,00	374,61	93,65	429,25	0,00	0,00	429,25	0,00	535,10	0,00	0,00	535,10	0,00	218,38	0,00
6117203	9	28	1	1945	2	10110,959	714,78	178,70	361,11	361,11	3249,95	449,26	0,20	1,00	359,41	89,85	444,21	0,20	1,00	355,37	88,84	207,29	0,00	0,00	207,29	0,00	206,94	0,00
6816506	9	28	2	1945	2	7695,116	579,78	144,94	274,83	274,83	2473,43	355,08	0,20	1,00	284,07	71,02	369,64	0,20	1,00	295,71	73,93	547,66	0,00	0,00	547,66	0,00	457,83	0,00
6115202	5	16	7	1948	2	1477,935	232,12	58,03	92,37	92,37	461,86	146,58	0,20	1,00	117,27	29,32	143,57	0,20	1,00	114,86	28,71	156,78	0,00	0,00	156,78	0,00	162,94	0,00
6816502	9	28	2	1949	2	7257,056	545,44	136,36	259,18	259,18	2332,63	330,99	0,20	1,00	264,79	66,20	330,80	0,20	1,00	280,64	70,16	550,82	0,00	0,00	550,82	0,00	516,38	0,00
6816504	9	28	2	1949	2	7614,301	568,87	142,22	271,94	271,94	2447,45	349,93	0,20	1,00	279,94	69,99	361,16	0,20	1,00	288,93	72,23	562,70	0,00	0,00	562,70	0,00	570,80	0,00
6117211	7	22	1	1950	2	10468,758	1047,08	261,77	475,85	475,85	3330,97	454,16	0,00	0,00	454,16	0,00	454,16	0,00	0,00	454,16	0,00	527,34	0,20	1,00</				



WALL_LOSSES	Solid_Area	Windows_Area_West	Qtransmission	Qventilation	Qloss	Qinternal	Qsun	Qgain	Qgain/gloss	eta	Qheating	kWh	Qtransmission	QventilatitQloss	Qinternal	Qsun	Qgain	Qcooling	kWh	Total Energy demand
0,00	82,81	0,00	12671,69756	3981,51859	16653,2161	1580,887	993,5595	2574,446	0,154591534	0,9999	14078,9235	6292,50796	2605,553	10898,06	1580,88672	993,5595	2574,446	13472,51	6736,253	27551,43031
1,00	192,39	48,10	66129,40369	19585,4231	85714,8268	8185,847	13741	21926,85	0,255811591	0,9993	63803,162	6955,99429	43275,85977	12816,93	56092,79	8185,84704	13741	21926,85	78019,64	39009,82
0,33	180,25	0,00	23127,53797	12959,1571	36086,6951	9416,399	1526,515	6942,914	0,192395388	0,9998	29144,9943	3177,46657	15134,93294	8480,625	23615,56	5416,39872	1526,515	6942,914	30558,47	15279,24
0,00	235,78	0,00	17075,07117	8854,68365	25929,7548	3605,99	1151,777	4757,768	0,183486791	0,9999	21172,6465	2308,29952	11174,12746	5794,609	16968,74	3605,9904	1151,777	4757,768	21726,5	10863,25
0,00	194,22	0,00	65472,35284	43001,7312	108474,084	18109,01	5298,764	23407,78	0,215791419	0,9997	85073,4539	9274,93937	42845,87796	28140,84	70986,72	18109,0123	5298,764	23407,78	94394,49	47197,25
1,00	152,26	0,00	71056,90576	27645,3684	98702,2742	11554,57	1942,787	13497,35	0,13674814	1,0000	85205,36015	9289,3202	46500,47509	18091,45	64591,93	11554,5658	1942,787	13497,35	78089,28	39044,64
1,00	182,17	45,54	48865,25069	25521,6273	74386,878	10666,96	1066,121	11733,08	0,157730535	0,9999	62654,5689	6830,77155	31977,99493	16701,65	48679,65	10666,9613	1066,121	11733,08	60412,73	30206,37
0,00	265,35	0,00	36122,7097	19000,9321	55123,6418	7914,577	2988,428	10930,01	0,198281627	0,9998	44195,8482	4818,3516	23639,1262	12434,34	36073,56	7941,57696	2988,428	10930,01	47003,57	23501,78
0,00	339,49	0,00	29209,90116	18929,5745	48139,4757	7917,117	2257,706	10169,42	0,211249151	0,9997	37972,8527	4139,9037	19115,30296	12387,74	31503,04	7917,11712	2257,706	10169,42	41672,46	20836,23
0,00	333,31	0,00	45416,04971	28482,3625	73898,4122	11904,38	3464,073	15368,46	0,207967327	0,9997	58533,8792	6381,52275	29720,79724	18639,19	48359,99	11904,3821	3464,073	15368,46	63728,45	31864,22
0,00	266,08	0,00	17174,61052	13553,1333	30727,7438	5605,632	1258,429	6864,061	0,223383185	0,9996	23866,1598	2601,95367	11239,26718	8869,33	20108,6	5605,632	1258,429	6864,061	26972,66	13486,33
1,00	182,17	45,54	42402,84403	25521,6273	67924,4713	10666,96	1066,121	11733,08	0,172737186	0,9999	56192,5984	6126,26994	27748,91999	16701,65	44450,57	10666,9613	1066,121	11733,08	56183,66	28091,83
0,00	194,23	0,00	65472,35284	43001,7312	108474,084	18109,01	5298,764	23407,78	0,215791419	0,9997	85073,4539	9274,93937	42845,87796	28140,84	70986,72	18109,0123	5298,764	23407,78	94394,49	47197,25
0,00	206,94	0,00	80167,60727	66004,3382	146171,945	20799,58	6481,364	34560,94	0,236440314	0,9999	116227,409	12169,9238	52462,62535	43194,02	95656,64	20799,5766	6481,364	34560,94	130217,6	65108,79
0,75	318,84	0,00	62308,02185	19076,794	81384,8158	8033,679	2942,434	10976,11	0,13486864	1,0000	70409,0361	7676,18465	40775,10254	12484,08	53259,18	8033,67936	2942,434	10976,11	64235,29	32117,65
1,00	167,67	41,92	37246,63259	19898,4603	57145,0929	8316,691	997,6709	9314,362	0,16299496	0,9999	47831,4522	5214,71504	24374,63456	13021,79	37396,42	8316,6912	997,6709	9314,362	46710,78	23355,39
1,00	195,07	0,00	31387,88604	9488,29133	40876,1774	3864,015	1602,296	5466,311	0,133728529	1,0000	35410,0254	3860,49729	20540,6019	6209,249	26749,85	3864,01536	1602,296	5466,311	32216,16	16108,08
1,00	173,52	0,00	17657,38952	11679,3231	29336,7127	4830,624	1535,473	6366,097	0,217001049	0,9997	22972,61194	2504,53667	11555,20343	7643,086	19198,29	4830,624	1535,473	6366,097	25564,39	12782,19
0,10	322,95	0,00	44402,65483	27547,7618	71950,4166	11393,83	2839,318	14233,14	0,197818798	0,9998	57720,1194	6292,80443	29057,61971	18027,58	47085,2	11393,8272	2839,318	14233,14	61318,34	30659,17
0,00	367,90	0,00	37124,37859	19700,1201	56824,4987	8233,799	3078,265	11312,06	0,199070203	0,9998	45514,768	4662,14382	24294,63011	12891,99	37186,62	8233,79904	3078,265	11312,06	48498,68	24249,34
0,00	230,32	0,00	35372,99268	16151,0945	51524,0872	6750,449	2980,948	9731,397	0,188870826	0,9998	41794,2435	4566,52213	23148,50257	10569,47	37171,97	6750,44928	2980,948	9731,397	43449,37	21724,68
0,33	180,25	0,00	23127,53797	12959,1571	36086,6951	9416,373	1526,515	6942,888	0,192394858	0,9998	29144,9848	3177,46552	15134,90973	8480,625	23615,53	5416,3728	1526,515	6942,888	30558,47	15279,21
0,00	377,01	0,00	68837,2742	47947,5855	116784,86	20191,85	3033,689	23225,54	0,198874595	0,9999	93564,0869	10200,6113	45047,92209	31377,46	76425,39	20191,8528	3033,689	23225,54	99650,59	49825,46
0,00	198,48	0,00	34732,83118	15946,1545	50678,9857	6995,387	2811,948	9407,335	0,185625953	0,9999	41273,0302	4499,69803	22729,57335	10435,35	33164,92	6995,3872	2811,948	9407,335	42572,26	21286,13
0,00	221,38	0,00	35481,23452	16862,0003	52343,2348	6974,165	2825,906	9800,071	0,187227074	0,9998	42544,6629	4638,33488	23219,3373	11034,69	34254,03	6974,1648	2825,906	9800,071	44054,1	20207,05
0,00	242,97	0,00	37561,67476	18049,8417	55611,5164	7544,068	3156,1	10700,17	0,192409215	0,9998	44913,2182	4896,56123	24580,80186	11812,03	36392,83	7544,06784	3156,1	10700,17	47093	23546,5
0,00	334,40	0,00	43182,71762	26497,152	69679,8696	11074,05	3336,788	14411,83	0,206829228	0,9999	55271,6173	6025,86208	28259,27844	17340,05	45599,33	11074,0458	3336,788	14411,83	60011,16	30005,58
0,00	206,94	0,00	80167,60727	66004,3382	146171,945	20799,58	6481,364	34560,94	0,236440314	0,9999	116227,409	12169,9238	52462,62535	43194,02	95656,64	20799,5766	6481,364	34560,94	130217,6	65108,79
0,00	194,30	0,00	36958,34294	1914,8806	51873,2236	6168,83	2985,753	9154,584	0,176479945	0,9999	42719,6881	4657,4126	24185,97442	9760,473	33946,45	6168,8304	2985,753	9154,584	43101,03	21550,52
0,00	315,15	0,00	39842,69712	23370,5599	63213,257	9767,9	3142,957	12910,86	0,204242866	0,9998	50305,418	5484,43352	26073,52973	15293,97	41367,5	9767,90016	3142,957	12910,86	54278,36	27139,18
1,00	312,61	78,15	93055,32451	38502,3203	131557,645	16214,2	5094,383	21308,59	0,161971483	0,9999	11250,658	12019,8267	60896,49913	25196,37	86092,87	16214,2042	5094,383	21308,59	107401,5	53700,73
0,50	359,21	39,91	95877,04931	37571,7082	133448,757	17901,83	6421,906	24323,74	0,182270227	0,9999	109128,284	11897,4624	62743,06903	24587,37	87330,44	17901,8294	6421,906	24323,74	111654,2	55827,09
0,20	525,89	0,00	101287,3979	87204,3598	188491,758	36933,58	8932,7	45866,28	0,243333086	0,9995	142650,47	15552,14623	66283,66483	57067,56	123351,2	36933,5808	8932,7	45866,28	169217,5	84608,75
0,00	330,00	0,00	32576,89744	26553,3385	59130,2359	11098,17	3375,753	14473,92	0,244780342	0,9994	44664,4313	4869,4378	21318,70494	13736,82	38695,52	11098,1664	3375,753	14473,92	53169,44	26584,72
0,50	552,92	0,00	67840,10198	47611,6155	115451,717	20164,93	4392,962	24557,89	0,212711137	0,9997	90900,1162	9910,25437	44395,36086	31157,6	75552,96	20164,9306	4392,962	24557,89	100111,9	50055,43
1,00	174,70	43,68	45609,70187	44710,5788	90320,2807	19020,8	2513,132	21533,93	0,238417412	0,9995	68796,9915	7500,43517	29847,52549	29259,13	59106,65	19020,7958	2513,132	21533,93	80640,58	40320,29
0,00	206,94	0,00	60896,91994	66004,3382	126901,258	28079,58	6481,364	34560,94	0,272345138	0,9991	92372,5634	10070,7882	39851,66084	43194,02	83045,68	28079,5766	6481,364	34560,94	117606,6	58803,31
0,00	457,83	0,00	48741,48744	50233,7172	98975,2047	21370,47	5301,446	26671,92	0,269480787	0,9991	72326,9549	7885,28138	31897,00281	32873,54	64770,54	21370,4698	5301,446	26671,92	91442,45	45721,23
0,00	162,94	0,00	18875,92043	9647,95968	28523,8801	3990,427	2101,566	6091,993	0,213575185	0,9997	22433,6562	2445,77823	12352,6244	6313,738	18666,36	3990,4272	2101,566	6091,993	24758,36	12379,18
0,00	516,38	0,00	45877,27457	47374,0616	93251,3361	20153,91	5001,922	25155,84	0,269763821	0,9991	68117,9321	7426,40226	30022,62821	31002,14	61024,77	20153,9146	5001,922	25155,84	86180,61	43090,3
0,00	570,80	0,00	47907,14454	49706,1569	97613,3015	21145,98	5194,497	26340,47	0,269845131	0,9991	71296,3501	7772,92204	31350,999	32528,29	63879,29	21145,9766	5194,497	26340,47	90219,77	45109,88
1,00	625,20	156,30	87286,41655	68340,0522	155626,469	28779,59	2725,568	15105,16	0,202440087	0,9998	124128,3651	13532,812	57121,25789	55429,28	101843,8	28779,5894	2725,568	15105,16	133348,9	66674,47
0,80	278,43	86,49	119160,4247	71367,1903	190527,615	30083,32	7387,107	34740												

Anejo 3\_Cuantificación de materiales

Cuantificación de materiales por Tally	
Material	Kg
APP Modified bitumen, sheet	234.455,20
Brick, generic	55.545.835,30
Built up asphalt roofing	269.171,40
Ceramic tile, unglazed	1.683.274,70
Domestic softwood, US	34.345,60
Flooring, brick	10.087.957,90
Hardware, stainless steel	58.682,50
Lightweight aggregate structural concrete, expanded shale mix	756.461,60
Lightweight insulating concrete, nonstructural, perlite mix	302.254,00
Limestone tile	9.304.825,40
Mineral wool, DDP-RT (U = 0.039 W/mK), EPD - Knauf Insula	926.235,70
Mortar type N	9.909.189,10
Paint, exterior acrylic latex	16.514,50
Paint, interior acrylic latex	90.149,60
Polystyrene board (XPS), Pentane foaming agent	24.673,80
Steel, reinforcing rod	6.404.365,30
Stone slab, granite	3.059.139,70
Structural concrete	206.956.865,70
Terracotta tile, generic	838.032,90
Thinset mortar	682.261,70
Wall board, gypsum, natural	11.653.247,80

Anejo 4\_LCA Tally

# Nombre de proyecto

Russafa LCA\_3

24/05/2017

## Table of Contents

---

Report Summary	1
LCA Results	
Results per Life Cycle Stage	2
Results per Life Cycle Stage, itemized by Division	4
Results per Life Cycle Stage, itemized by Revit Category	6
Results per Division	8
Results per Division, itemized by Tally Entry	10
Results per Division, itemized by Material	12
Results per Revit Category	14
Results per Revit Category, itemized by Family	16
Results per Revit Category, itemized by Tally Entry	18
Results per Revit Category, itemized by Material	20
Appendix	
Calculation Methodology	22
Glossary of LCA Terminology	23
LCA Metadata	24

## Report Summary

### Created with Tally

Non-commercial Version 2016.05.08.01

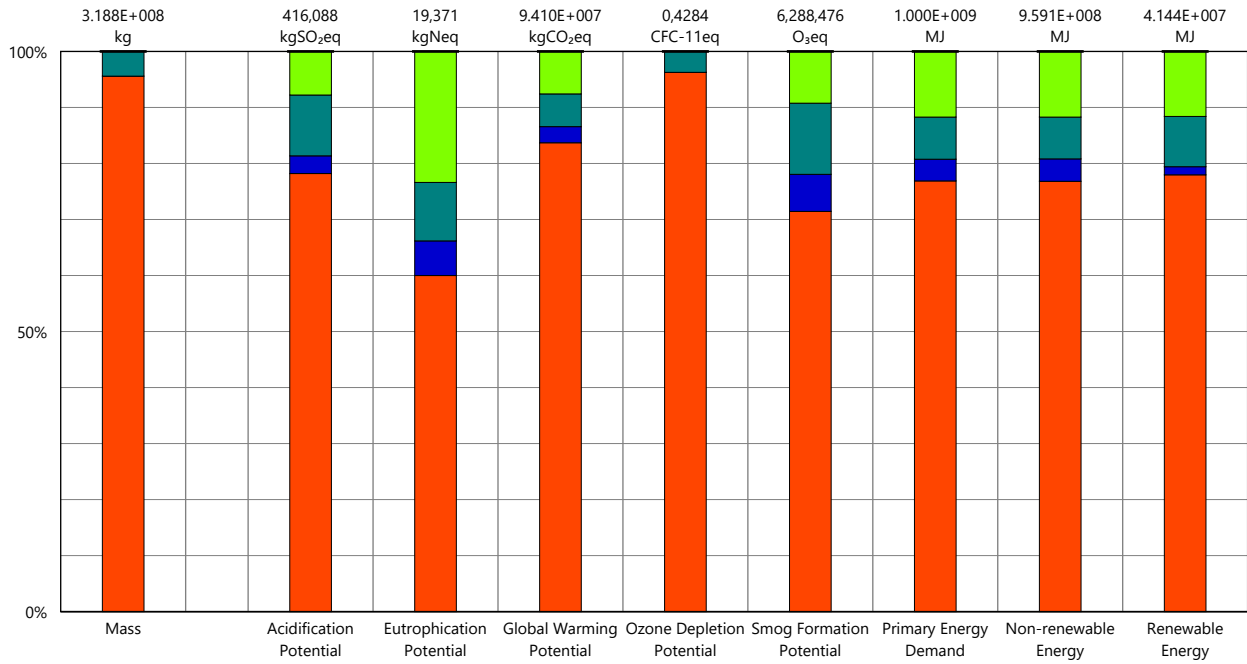
### Goal and Scope of Assessment

Trabajo FG

<b>Author</b>	raicamo@arqt.upv.es
<b>Company</b>	Universitat Politècnica de València
<b>Date</b>	24/05/2017
<b>Project</b>	Nombre de proyecto
<b>Location</b>	Introduzca dirección aquí
<b>Gross Area</b>	500000 m <sup>2</sup>
<b>Building Life</b>	60
<b>Boundaries</b>	Cradle-to-Grave; see appendix for a full list of materials and processes
<b>Construction</b>	Not included
<b>Operations</b>	Not included

<b>Environmental Impact Totals</b>	<b>Manufacturing</b>	<b>Construction</b>	<b>Use</b>	<b>End of Life</b>
Acidification (kgSO <sub>2</sub> eq)	325,392	13,154	45,175	32,367
Eutrophication (kgNeq)	11,621	1,198	2,022	4,530
Global Warming (kgCO <sub>2</sub> eq)	7.876E+007	2,709,014	5,497,318	7,134,854
Ozone Depletion (CFC-11eq)	0,4123	2.322E-005	0,01599	8.424E-006
Smog Formation (O <sub>3</sub> eq)	4,492,771	415,951	798,921	580,833
Primary Energy (MJ)	7.691E+008	3.875E+007	7.527E+007	1.172E+008
Non-renewable Energy (MJ)	7.368E+008	3.840E+007	7.157E+007	1.124E+008
Renewable Energy (MJ)	3.231E+007	600,818	3,718,112	4,808,188
<b>Environmental Impacts / Area</b>				
Acidification (kgSO <sub>2</sub> eq)	0,6508	0,02631	0,09035	0,06473
Eutrophication (kgNeq)	0,02324	0,002396	0,004044	0,009059
Global Warming (kgCO <sub>2</sub> eq)	157.5	5.418	10.99	14.27
Ozone Depletion (CFC-11eq)	8.247E-007	4.643E-011	3.199E-008	1.685E-011
Smog Formation (O <sub>3</sub> eq)	8.986	0,8319	1.598	1.162
Primary Energy (MJ)	1,538	77.50	150.5	234.4
Non-renewable Energy (MJ)	1,474	76.79	143.1	224.8
Renewable Energy (MJ)	64.62	1.202	7.436	9.616

## Results per Life Cycle Stage



### Legend

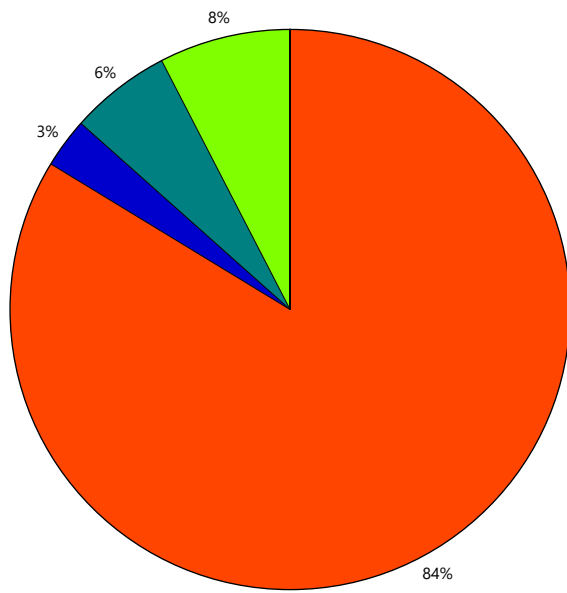
— Net value (impacts + credits)

#### Life Cycle Stages

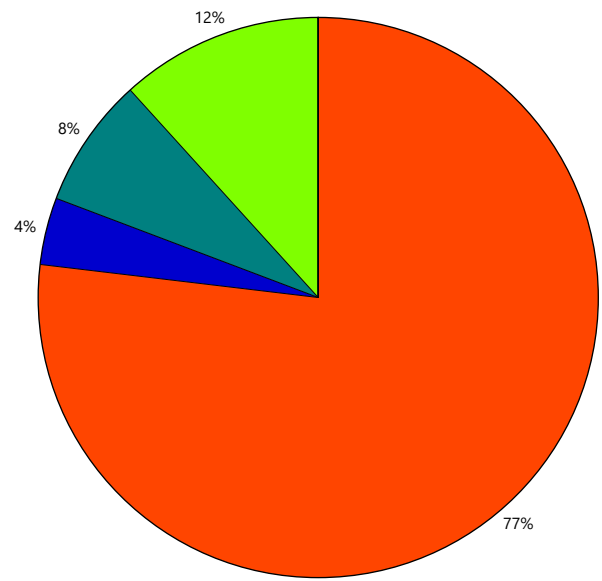
- Manufacturing
- Transportation
- Maintenance and Replacement
- End of Life

## Results per Life Cycle Stage

---



Global Warming Potential



Primary Energy Demand

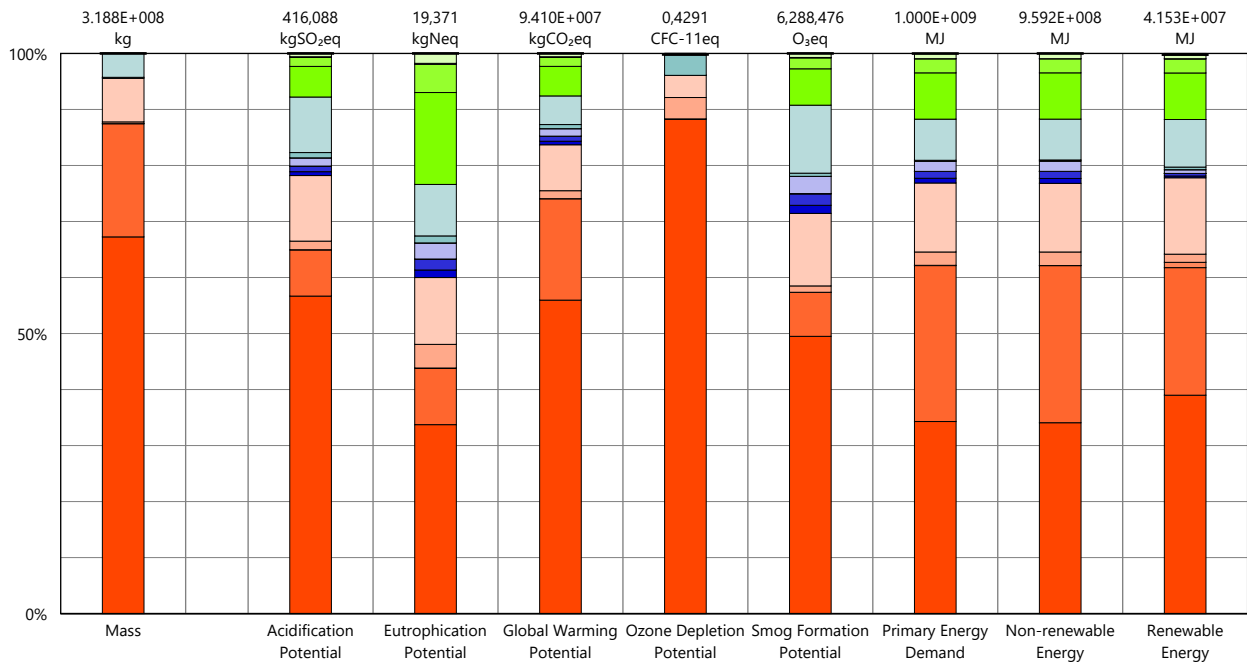
### Legend

— Net value (impacts + credits)

#### Life Cycle Stages

- Manufacturing
- Transportation
- Maintenance and Replacement
- End of Life

## Results per Life Cycle Stage, itemized by Division



### Legend

— Net value (impacts + credits)

#### Manufacturing

- 03 - Concrete
- 04 - Masonry
- 06 - Wood/Plastics/Composites
- 07 - Thermal and Moisture Protection
- 09 - Finishes

#### Transportation

- 03 - Concrete
- 04 - Masonry
- 06 - Wood/Plastics/Composites
- 07 - Thermal and Moisture Protection
- 09 - Finishes

#### Maintenance and Replacement

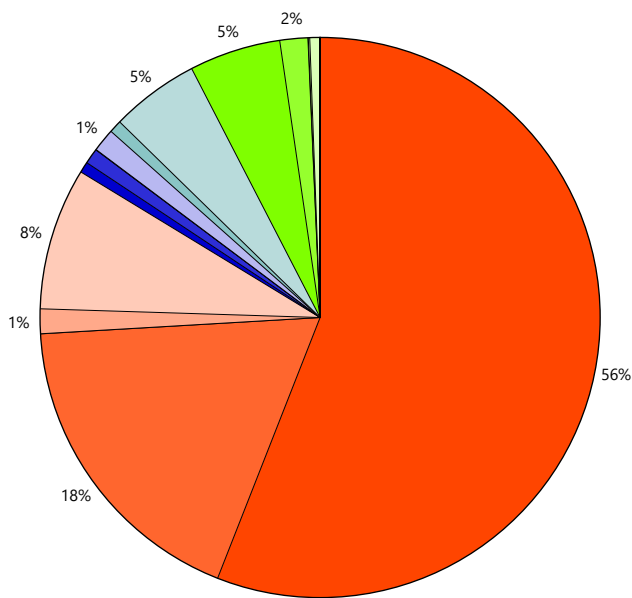
- 03 - Concrete
- 04 - Masonry
- 06 - Wood/Plastics/Composites
- 07 - Thermal and Moisture Protection
- 09 - Finishes

#### End of Life

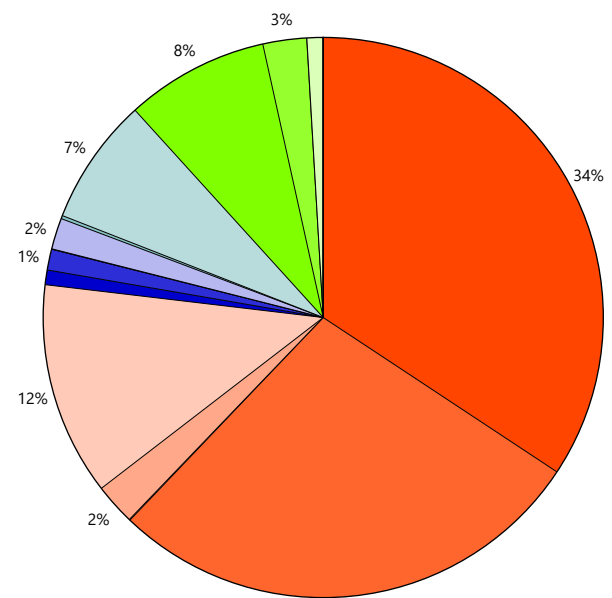
- 03 - Concrete
- 04 - Masonry
- 06 - Wood/Plastics/Composites
- 07 - Thermal and Moisture Protection
- 09 - Finishes



## Results per Life Cycle Stage, itemized by Division



Global Warming Potential



Primary Energy Demand

### Legend

— Net value (impacts + credits)

#### Manufacturing

- 03 - Concrete
- 04 - Masonry
- 06 - Wood/Plastics/Composites
- 07 - Thermal and Moisture Protection
- 09 - Finishes

#### Transportation

- 03 - Concrete
- 04 - Masonry
- 06 - Wood/Plastics/Composites
- 07 - Thermal and Moisture Protection
- 09 - Finishes

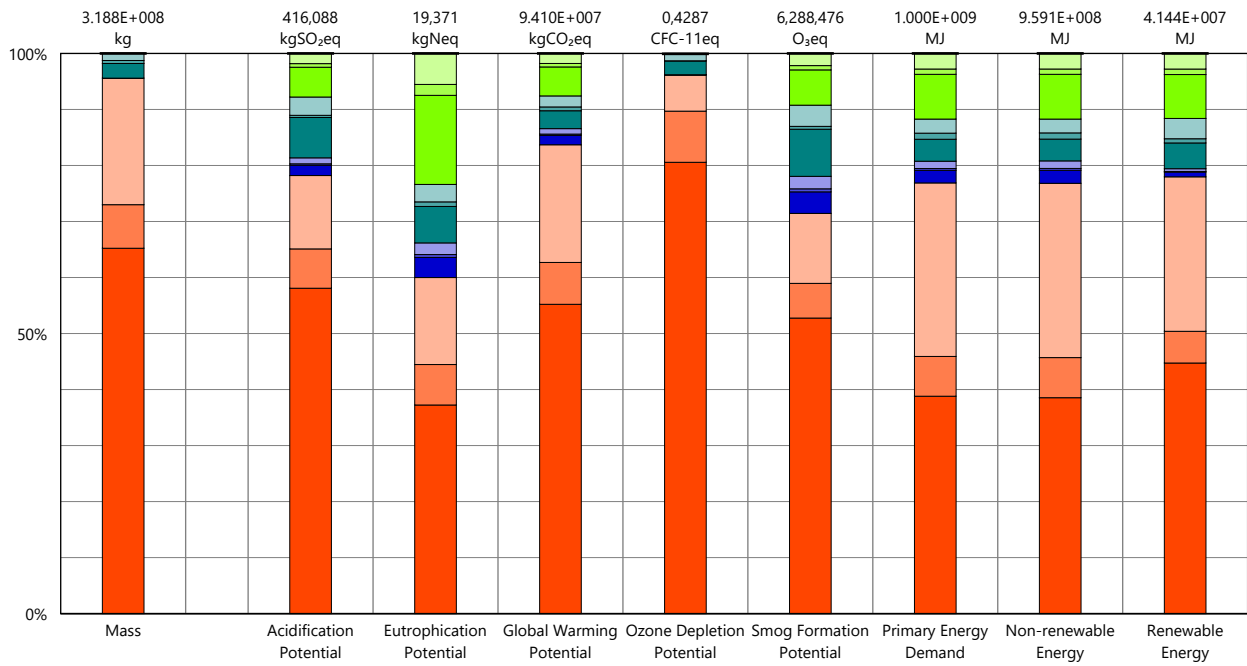
#### Maintenance and Replacement

- 03 - Concrete
- 04 - Masonry
- 06 - Wood/Plastics/Composites
- 07 - Thermal and Moisture Protection
- 09 - Finishes

#### End of Life

- 03 - Concrete
- 04 - Masonry
- 06 - Wood/Plastics/Composites
- 07 - Thermal and Moisture Protection
- 09 - Finishes

## Results per Life Cycle Stage, itemized by Revit Category



### Legend

— Net value (impacts + credits)

#### Manufacturing

- Floors
- Roofs
- Walls

#### Transportation

- Floors
- Roofs
- Walls

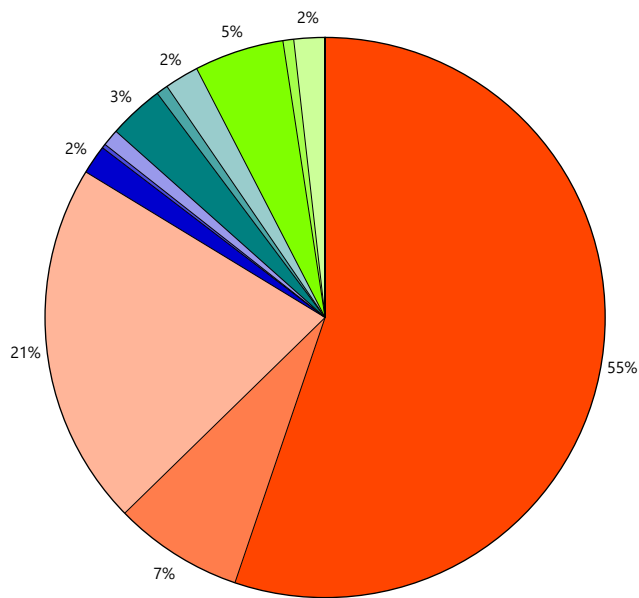
#### Maintenance and Replacement

- Floors
- Roofs
- Walls

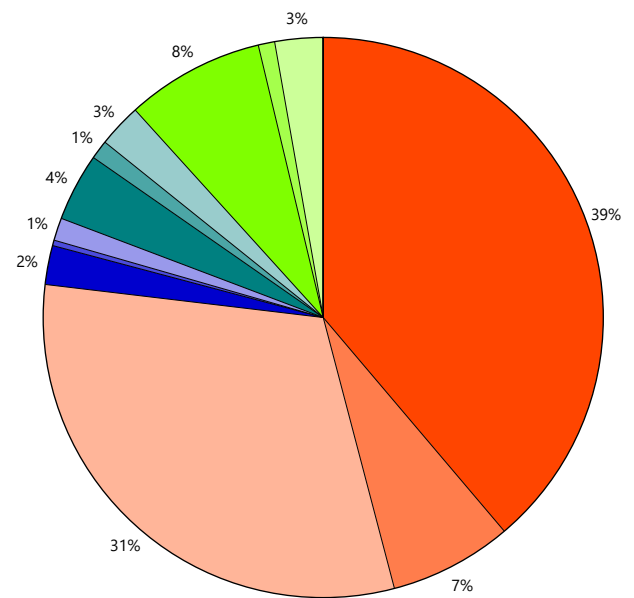
#### End of Life

- Floors
- Roofs
- Walls

## Results per Life Cycle Stage, itemized by Revit Category



Global Warming Potential



Primary Energy Demand

### Legend

— Net value (impacts + credits)

#### Manufacturing

- Floors
- Roofs
- Walls

#### Transportation

- Floors
- Roofs
- Walls

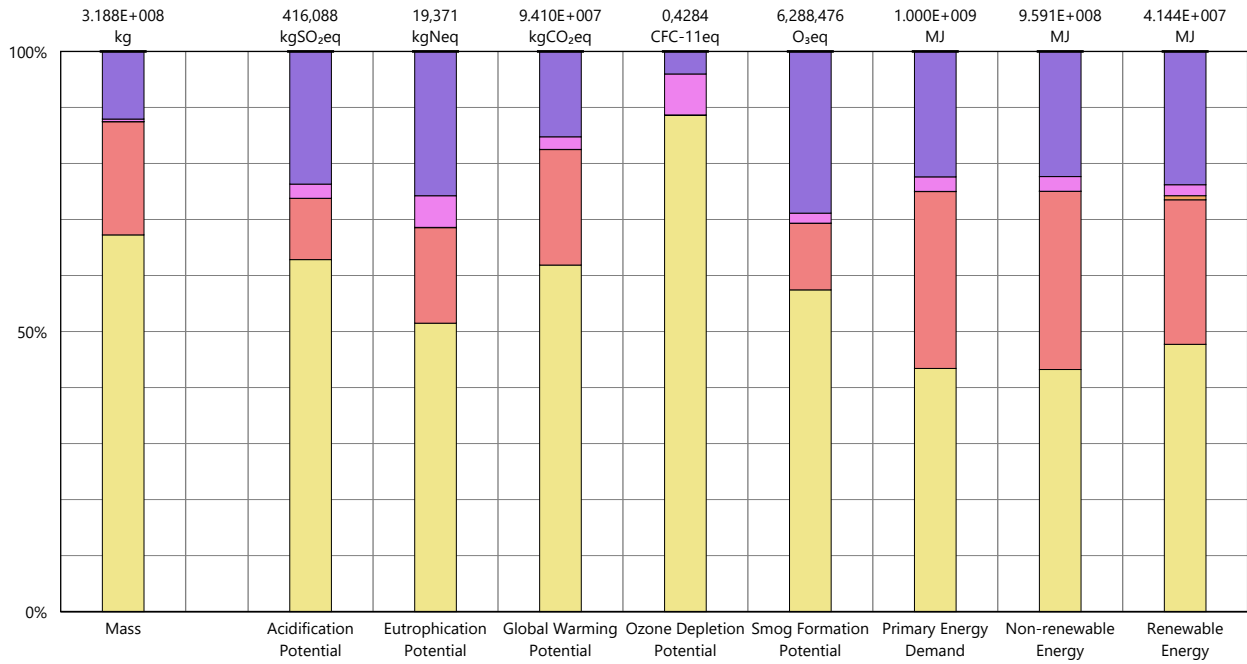
#### Maintenance and Replacement

- Floors
- Roofs
- Walls

#### End of Life

- Floors
- Roofs
- Walls

## Results per Division

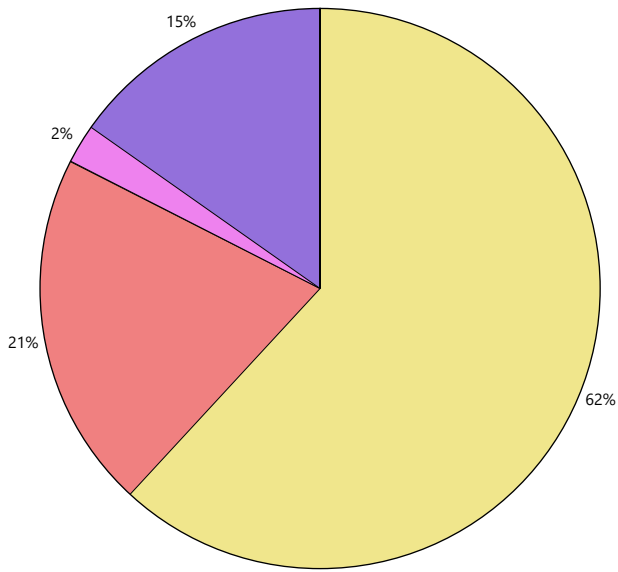


### Legend

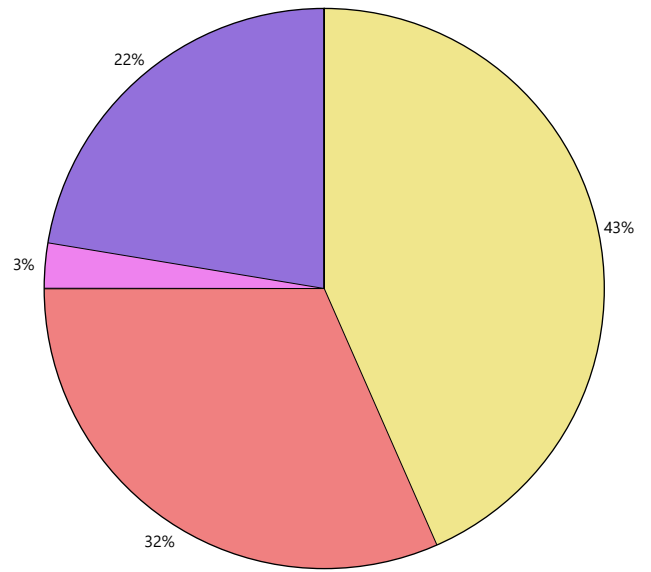
- Divisions
- 03 - Concrete
  - 04 - Masonry
  - 06 - Wood/Plastics/Composites
  - 07 - Thermal and Moisture Protection
  - 09 - Finishes

## Results per Division

---



Global Warming Potential



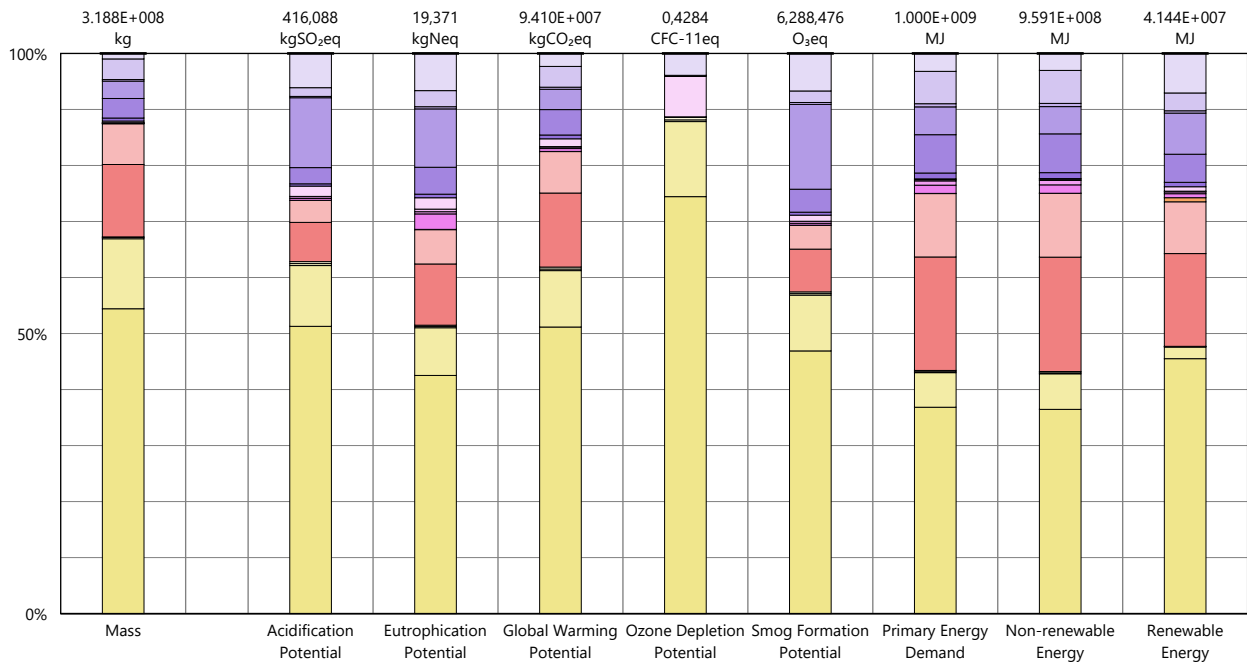
Primary Energy Demand

### Legend

#### Divisions

- 03 - Concrete
- 04 - Masonry
- 06 - Wood/Plastics/Composites
- 07 - Thermal and Moisture Protection
- 09 - Finishes

## Results per Division, itemized by Tally Entry



### Legend

#### 03 - Concrete

- Cast-in-place concrete, reinforced structural concrete, 3000 psi (20 Mpa)
- Concrete, unreinforced, generic, 3000 psi (20MPa)
- Lightweight aggregate structural concrete, unreinforced, expanded shale mix
- Lightweight insulating concrete, unreinforced, perlite mix

#### 04 - Masonry

- Brick, generic, grouted
- Brick, ungrouted

#### 06 - Wood/Plastics/Composites

- Ornamental wood

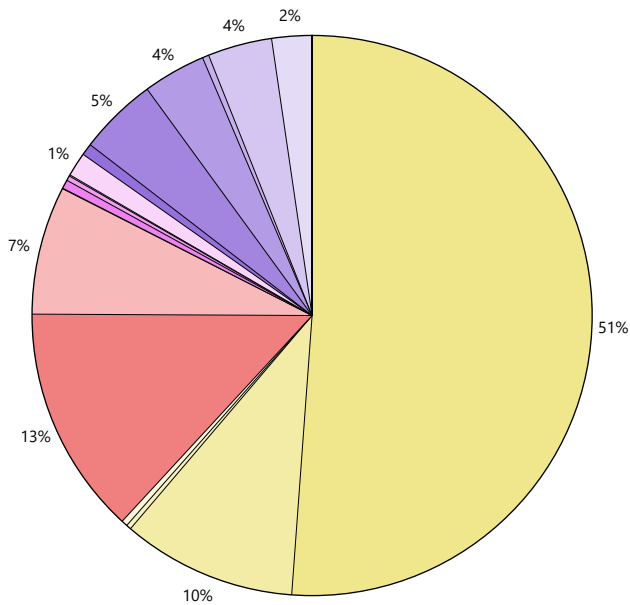
#### 07 - Thermal and Moisture Protection

- APP modified bitumen, sheet
- Built up asphalt roofing
- Extruded polystyrene (XPS), board
- Mineral wool, board, manufacturer specific, EPD - Knauf

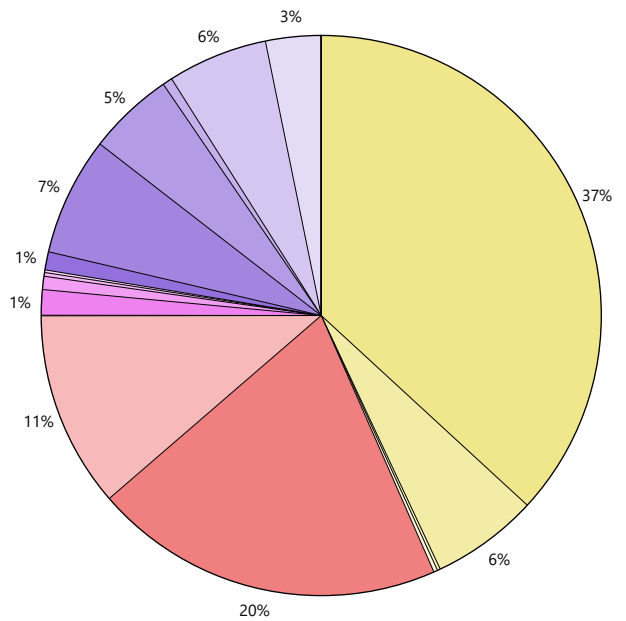
#### 09 - Finishes

- Ceramic tile, unglazed
- Flooring, brick
- Stone tile
- Terracotta tile
- Wall board, gypsum
- Wall covering, stone facing

Results per Division, itemized by Tally Entry



Global Warming Potential



Primary Energy Demand

Legend

03 - Concrete

- Cast-in-place concrete, reinforced structural concrete, 3000 psi (20 Mpa)
- Concrete, unreinforced, generic, 3000 psi (20MPa)
- Lightweight aggregate structural concrete, unreinforced, expanded shale mix
- Lightweight insulating concrete, unreinforced, perlite mix

04 - Masonry

- Brick, generic, grouted
- Brick, ungrouted

06 - Wood/Plastics/Composites

- Ornamental wood

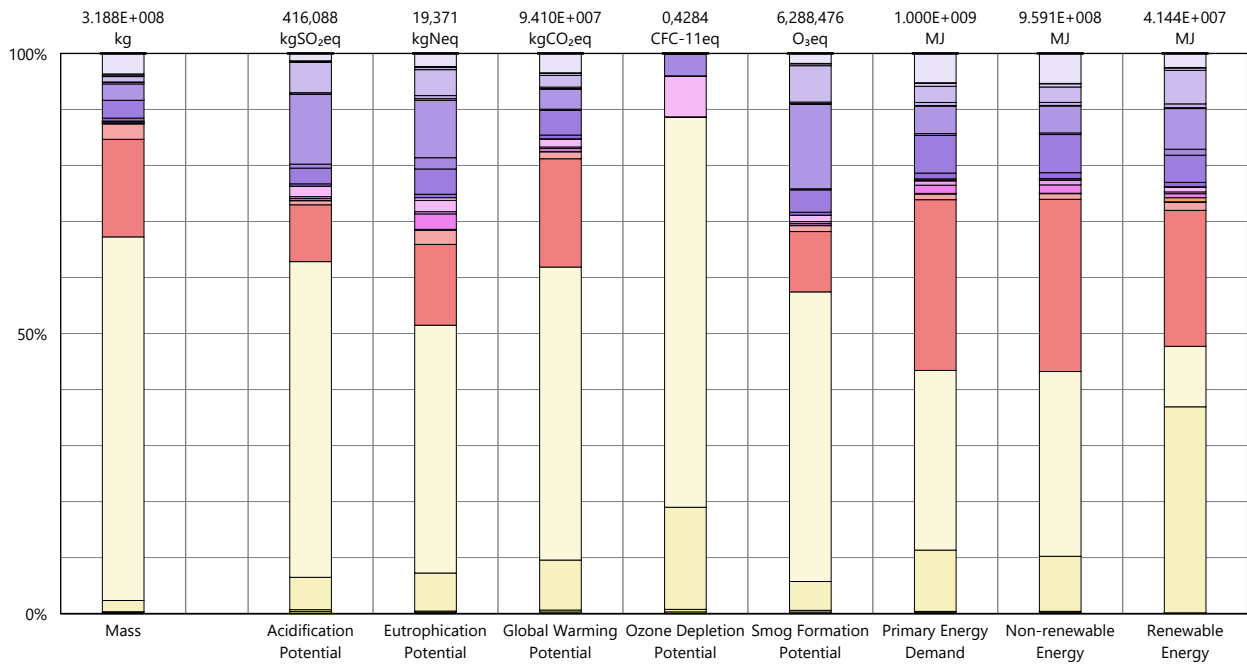
07 - Thermal and Moisture Protection

- APP modified bitumen, sheet
- Built up asphalt roofing
- Extruded polystyrene (XPS), board
- Mineral wool, board, manufacturer specific, EPD - Knauf

09 - Finishes

- Ceramic tile, unglazed
- Flooring, brick
- Stone tile
- Terracotta tile
- Wall board, gypsum
- Wall covering, stone facing

### Results per Division, itemized by Material



#### Legend

##### 03 - Concrete

- Lightweight aggregate structural concrete, expanded shale mix
- Lightweight insulating concrete, nonstructural, perlite mix
- Steel, reinforcing rod
- Structural concrete, 3000 psi, generic

##### 04 - Masonry

- Brick, generic
- Mortar type N
- Paint, exterior acrylic latex

##### 06 - Wood/Plastics/Composites

- Domestic softwood, US

##### 07 - Thermal and Moisture Protection

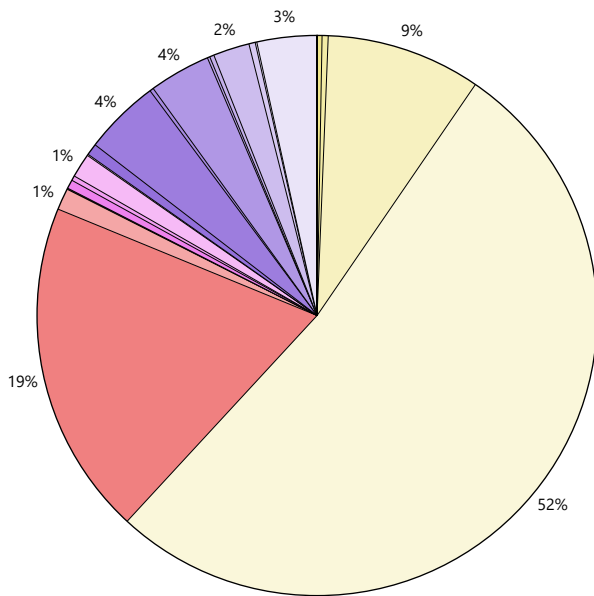
- APP Modified bitumen, sheet
- Built up asphalt roofing
- Mineral wool, DDP-RT (U = 0.039 W/mK), EPD - Knauf Insulation
- Polystyrene board (XPS), Pentane foaming agent

##### 09 - Finishes

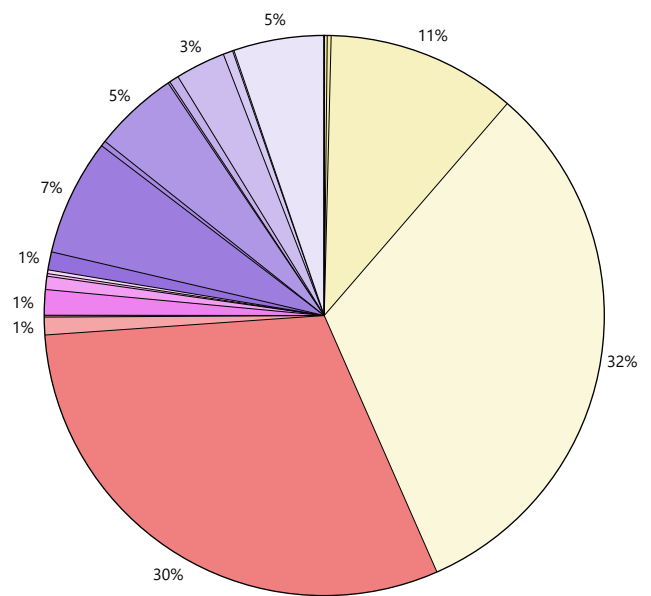
- Ceramic tile, unglazed
- Flooring, brick
- Hardware, stainless steel
- Limestone tile
- Mortar type N
- Paint, interior acrylic latex
- Stone slab, granite
- Terracotta tile, generic
- Thinset mortar
- Wall board, gypsum, natural



Results per Division, itemized by Material



Global Warming Potential



Primary Energy Demand

Legend

03 - Concrete

- Lightweight aggregate structural concrete, expanded shale mix
- Lightweight insulating concrete, nonstructural, perlite mix
- Steel, reinforcing rod
- Structural concrete, 3000 psi, generic

04 - Masonry

- Brick, generic
- Mortar type N
- Paint, exterior acrylic latex

06 - Wood/Plastics/Composites

- Domestic softwood, US

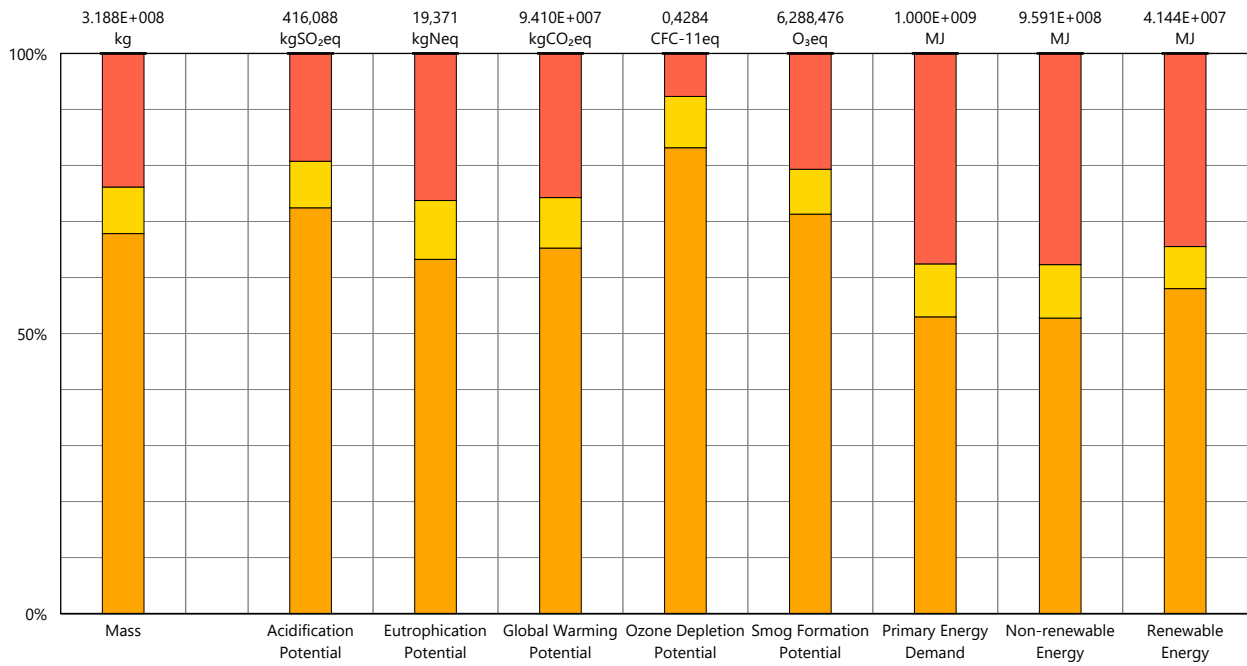
07 - Thermal and Moisture Protection

- APP Modified bitumen, sheet
- Built up asphalt roofing
- Mineral wool, DDP-RT (U = 0.039 W/mK), EPD - Knauf Insulation
- Polystyrene board (XPS), Pentane foaming agent

09 - Finishes

- Ceramic tile, unglazed
- Flooring, brick
- Hardware, stainless steel
- Limestone tile
- Mortar type N
- Paint, interior acrylic latex
- Stone slab, granite
- Terracotta tile, generic
- Thinset mortar
- Wall board, gypsum, natural

## Results per Revit Category



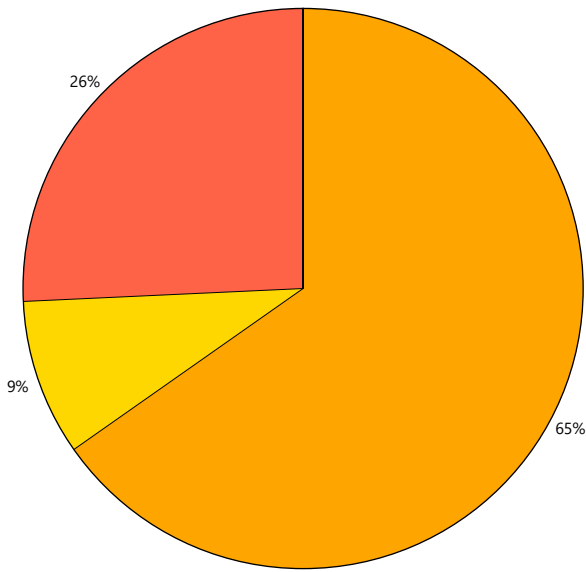
### Legend

#### Revit Categories

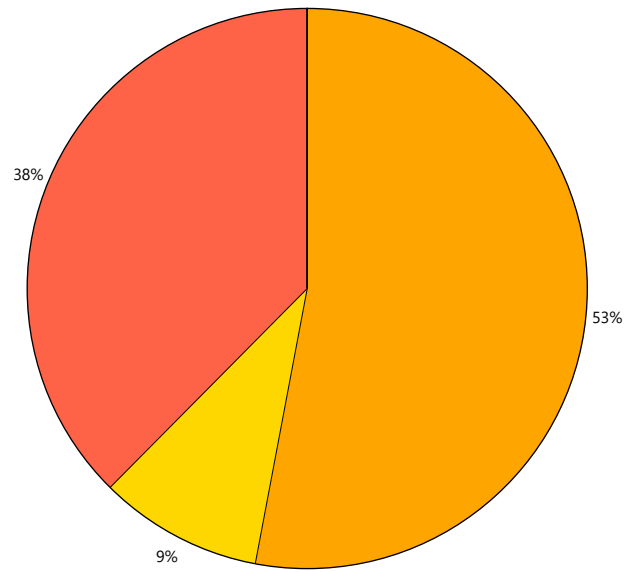
- Floors
- Roofs
- Walls

## Results per Revit Category

---



Global Warming Potential



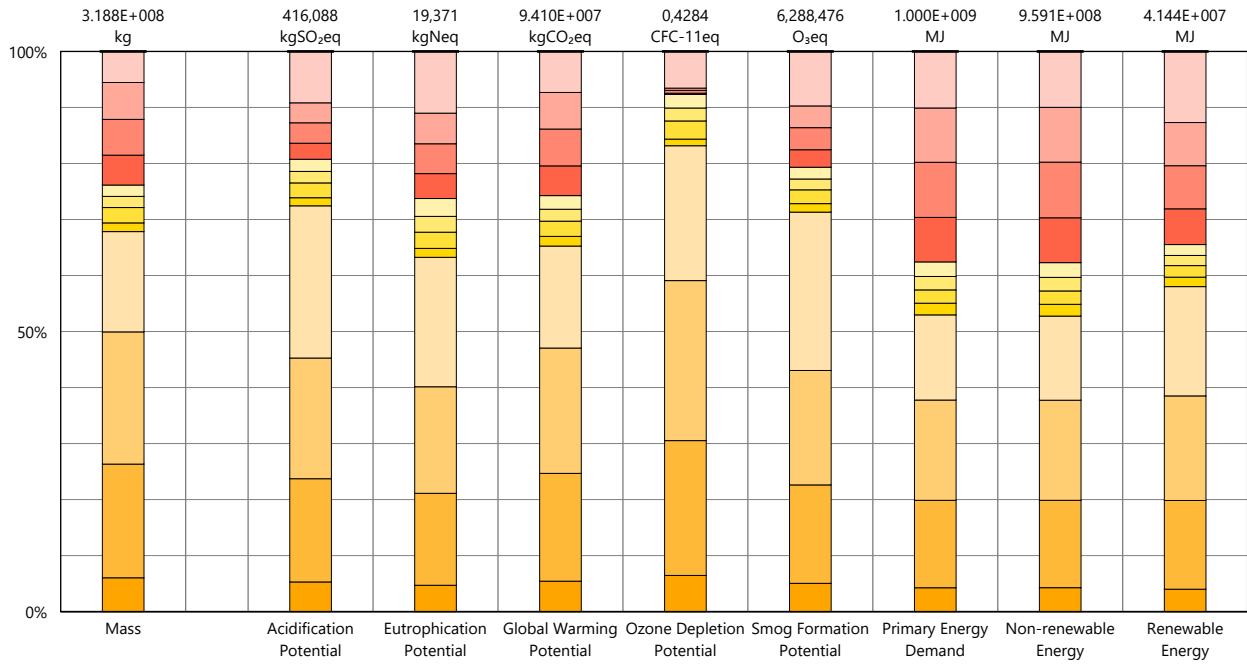
Primary Energy Demand

### Legend

#### Revit Categories

- Floors
- Roofs
- Walls

### Results per Revit Category, itemized by Family



#### Legend

##### Floors

- 00\_Suelo1\_def
- 00\_Suelo2\_Def
- 00\_Suelo3\_Def
- 00\_Suelo4\_Def

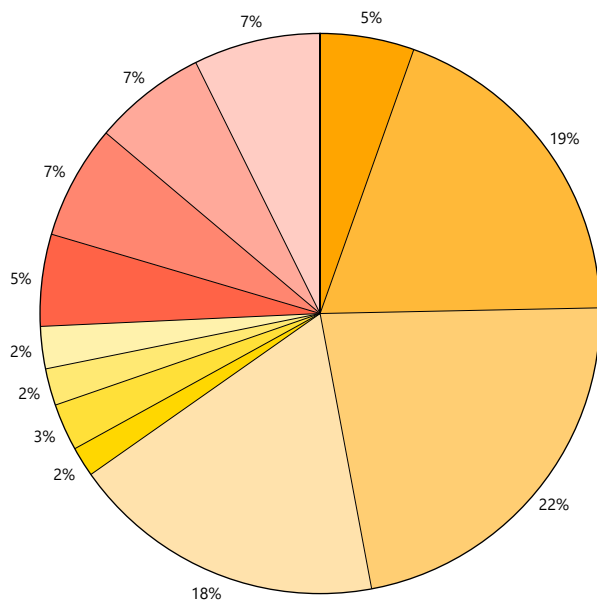
##### Roofs

- 00\_Cubierta1\_def\_Teja sobre rastrel
- 00\_Cubierta2\_Def\_plana transitable
- 00\_Cubierta3\_Def\_plana transitable
- 00\_Cubierta4\_Def\_Plana invertida

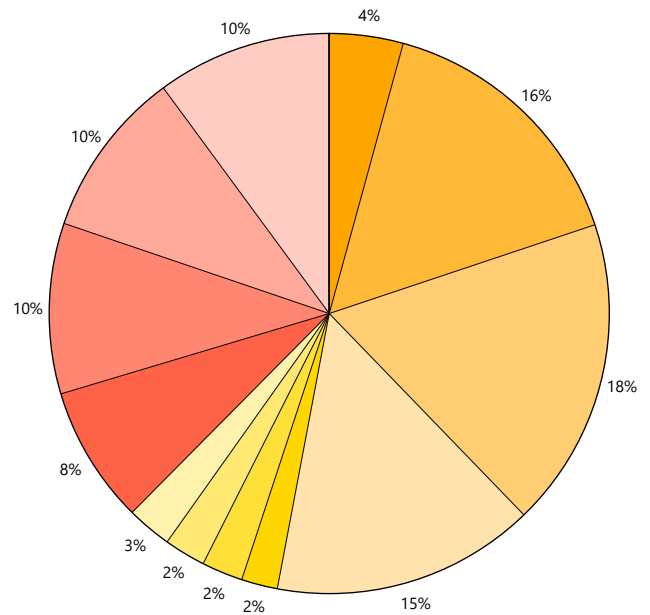
##### Walls

- 01-Fachada tipo 1
- 02-Fachada tipo 2
- 03-Fachada tipo 3
- 04-Fachada tipo 4

## Results per Revit Category, itemized by Family



Global Warming Potential



Primary Energy Demand

### Legend

#### Floors

- 00\_Suelo1\_def
- 00\_Suelo2\_Def
- 00\_Suelo3\_Def
- 00\_Suelo4\_Def

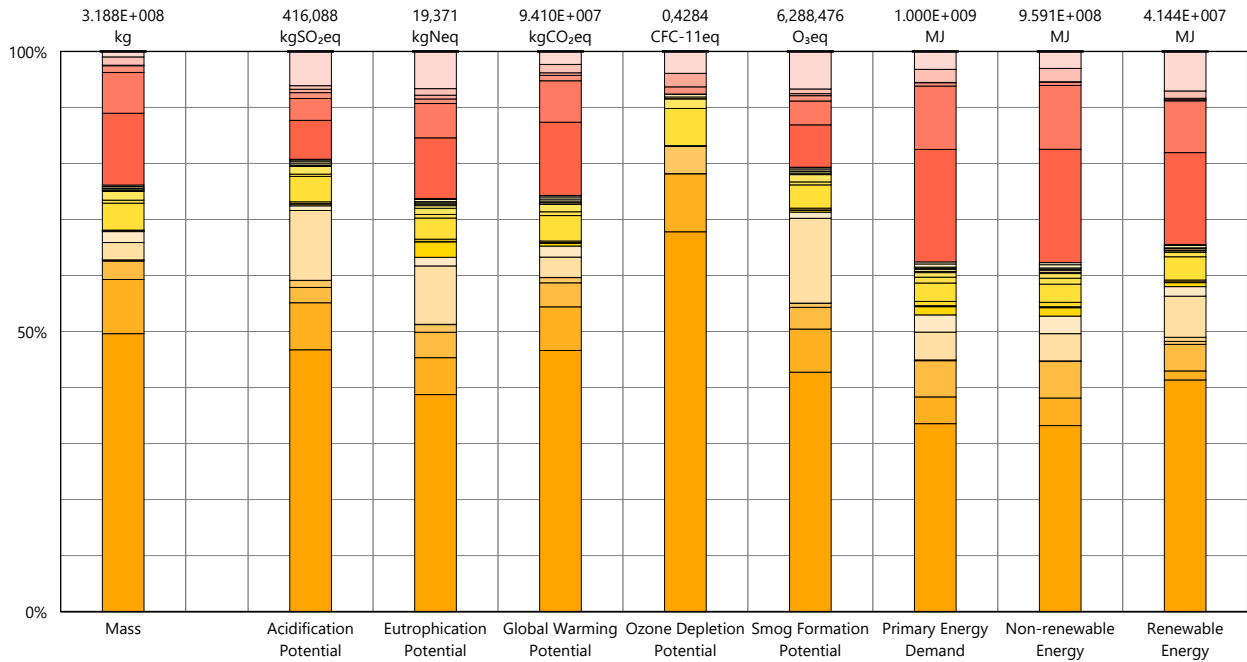
#### Roofs

- 00\_Cubierta1\_def\_Teja sobre rastrel
- 00\_Cubierta2\_Def\_plana transitable
- 00\_Cubierta3\_Def\_plana transitable
- 00\_Cubierta4\_Def\_Plana invertida

#### Walls

- 01-Fachada tipo 1
- 02-Fachada tipo 2
- 03-Fachada tipo 3
- 04-Fachada tipo 4

Results per Revit Category, itemized by Tally Entry



Legend

Floors

- Cast-in-place concrete, reinforced structural concrete, 3000 psi (20 Mpa)
- Concrete, unreinforced, generic, 3000 psi (20MPa)
- Flooring, brick
- Mineral wool, board, manufacturer specific, EPD - Knauf
- Ornamental wood
- Stone tile
- Wall board, gypsum

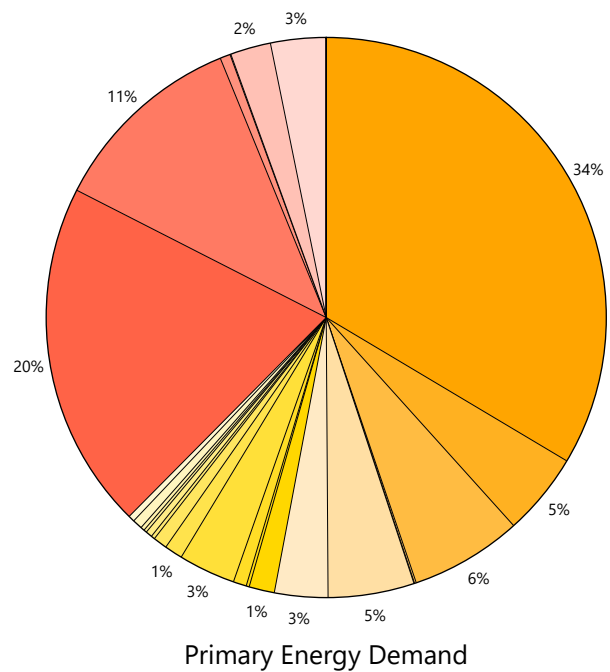
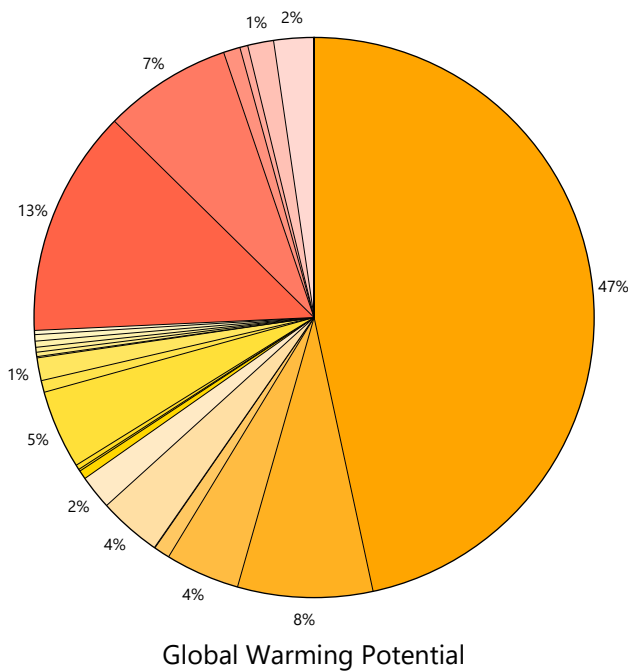
Roofs

- APP modified bitumen, sheet
- Brick, generic, grouted
- Built up asphalt roofing
- Cast-in-place concrete, reinforced structural concrete, 3000 psi (20 Mpa)
- Ceramic tile, unglazed
- Concrete, unreinforced, generic, 3000 psi (20MPa)
- Extruded polystyrene (XPS), board
- Flooring, brick
- Lightweight aggregate structural concrete, unreinforced, expanded shale mix
- Lightweight insulating concrete, unreinforced, perlite mix
- Terracotta tile
- Wall board, gypsum

Walls

- Brick, generic, grouted
- Brick, ungrouted
- Concrete, unreinforced, generic, 3000 psi (20MPa)
- Mineral wool, board, manufacturer specific, EPD - Knauf
- Wall board, gypsum
- Wall covering, stone facing

Results per Revit Category, itemized by Tally Entry



Legend

Floors

- Cast-in-place concrete, reinforced structural concrete, 3000 psi (20 Mpa)
- Concrete, unreinforced, generic, 3000 psi (20MPa)
- Flooring, brick
- Mineral wool, board, manufacturer specific, EPD - Knauf
- Ornamental wood
- Stone tile
- Wall board, gypsum

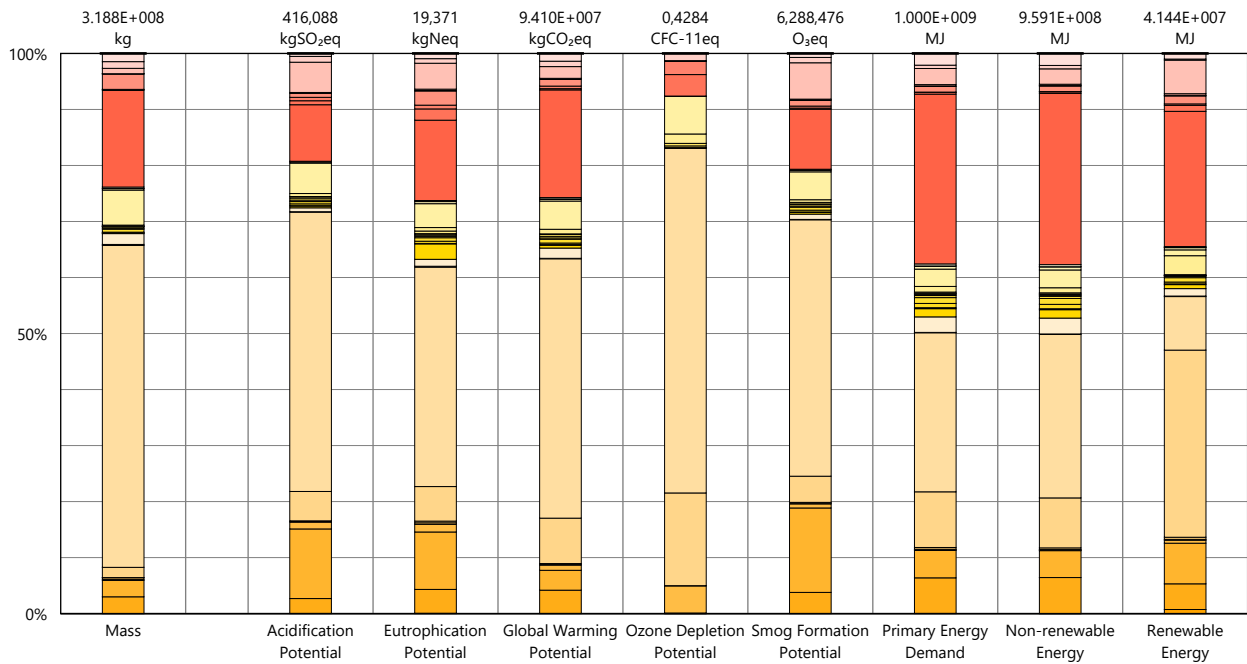
Roofs

- APP modified bitumen, sheet
- Brick, generic, grouted
- Built up asphalt roofing
- Cast-in-place concrete, reinforced structural concrete, 3000 psi (20 Mpa)
- Ceramic tile, unglazed
- Concrete, unreinforced, generic, 3000 psi (20MPa)
- Extruded polystyrene (XPS), board
- Flooring, brick
- Lightweight aggregate structural concrete, unreinforced, expanded shale mix
- Lightweight insulating concrete, unreinforced, perlite mix
- Terracotta tile
- Wall board, gypsum

Walls

- Brick, generic, grouted
- Brick, ungrouted
- Concrete, unreinforced, generic, 3000 psi (20MPa)
- Mineral wool, board, manufacturer specific, EPD - Knauf
- Wall board, gypsum
- Wall covering, stone facing

## Results per Revit Category, itemized by Material



### Legend

#### Floors

- Domestic softwood, US
- Flooring, brick
- Limestone tile
- Mineral wool, DDP-RT (U = 0.039 W/mK), EPD - Knauf Insulation
- Mortar type N
- Paint, interior acrylic latex
- Steel, reinforcing rod
- Structural concrete, 3000 psi, generic
- Thinset mortar
- Wall board, gypsum, natural

#### Roofs

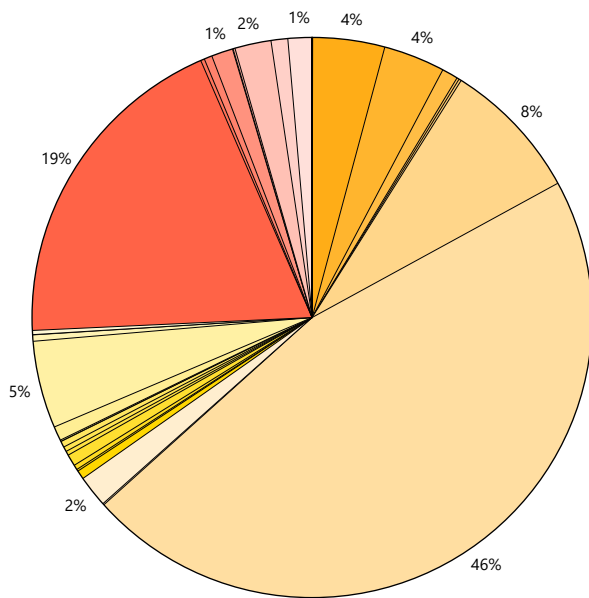
- APP Modified bitumen, sheet
- Brick, generic
- Built up asphalt roofing
- Ceramic tile, unglazed
- Flooring, brick
- Lightweight aggregate structural concrete, expanded shale mix
- Lightweight insulating concrete, nonstructural, perlite mix
- Mortar type N
- Polystyrene board (XPS), Pentane foaming agent
- Steel, reinforcing rod
- Structural concrete, 3000 psi, generic
- Terracotta tile, generic
- Thinset mortar
- Wall board, gypsum, natural

#### Walls

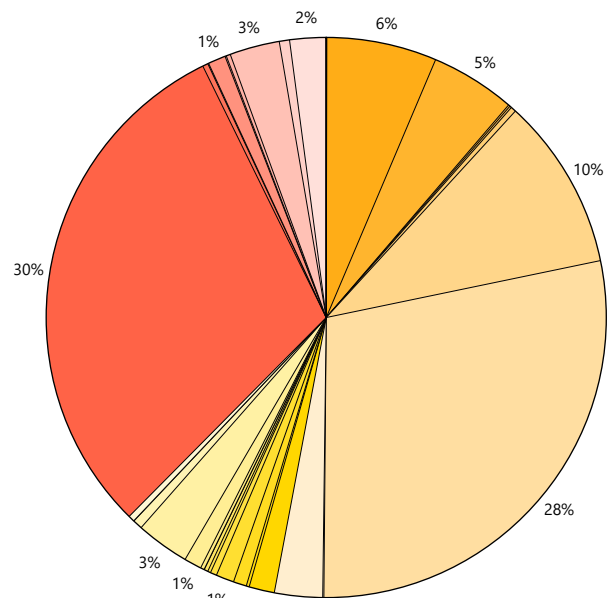
- Brick, generic
- Hardware, stainless steel
- Mineral wool, DDP-RT (U = 0.039 W/mK), EPD - Knauf Insulation
- Mortar type N
- Paint, exterior acrylic latex
- Paint, interior acrylic latex
- Stone slab, granite
- Structural concrete, 3000 psi, generic
- Wall board, gypsum, natural



Results per Revit Category, itemized by Material



Global Warming Potential



Primary Energy Demand

Legend

Floors

- Domestic softwood, US
- Flooring, brick
- Limestone tile
- Mineral wool, DDP-RT (U = 0.039 W/mK), EPD - Knauf Insulation
- Mortar type N
- Paint, interior acrylic latex
- Steel, reinforcing rod
- Structural concrete, 3000 psi, generic
- Thinset mortar
- Wall board, gypsum, natural

Roofs

- APP Modified bitumen, sheet
- Brick, generic
- Built up asphalt roofing
- Ceramic tile, unglazed
- Flooring, brick
- Lightweight aggregate structural concrete, expanded shale mix
- Lightweight insulating concrete, nonstructural, perlite mix
- Mortar type N
- Polystyrene board (XPS), Pentane foaming agent
- Steel, reinforcing rod
- Structural concrete, 3000 psi, generic
- Terracotta tile, generic
- Thinset mortar
- Wall board, gypsum, natural

Walls

- Brick, generic
- Hardware, stainless steel
- Mineral wool, DDP-RT (U = 0.039 W/mK), EPD - Knauf Insulation
- Mortar type N
- Paint, exterior acrylic latex
- Paint, interior acrylic latex
- Stone slab, granite
- Structural concrete, 3000 psi, generic
- Wall board, gypsum, natural

## Calculation Methodology

### Studied objects

The life cycle analysis (LCA) results reported represent either an analysis of a single building or a comparative analysis of two or more building design options. The single building may represent the complete architectural, structural, and finish systems of a building or a subset of those systems, and it may be used to compare the relative environmental impacts associated with building components or for comparative study with one or more reference buildings. Design options may represent a full building across various stages of the design process, or they may represent multiple schemes of a full or partial building that are being compared to one another across a range of evaluation criteria.

### Functional unit and reference flow

The functional unit of a single building is the usable floor space of the building under study. For a design option comparison of a partial building, the functional unit is the complete set of building systems that performs a given function. The reference flow is the amount of material required to produce a building or portion thereof, and is designed according to the given goal and scope of the assessment over the full life of the building. If construction impacts are included in the assessment, the reference flow also includes the energy, water, and fuel consumed on the building site during construction. If operational energy is included in the assessment, the reference flow includes the electrical and thermal energy consumed on site over the life of the building. It is the responsibility of the modeler to assure that reference buildings or design options are functionally equivalent in terms of scope, size, and relevant performance. The expected life of the building has a default value of 60 years and can be modified by the practitioner.

### System boundaries and delimitations

The analysis accounts for the full cradle-to-grave life cycle of the design options studied, including material manufacturing, maintenance and replacement, eventual end-of-life, and the materials and energy used across all life cycle stages. Optionally, the construction impacts and operational energy of the building can be included within the scope.

Architectural materials and assemblies include all materials required for the product's manufacturing and use including hardware, sealants, adhesives, coatings, and finishing. The materials are included up to a 1% cut-off factor by mass with the exception of known materials that have high environmental impacts at low levels. In these cases, a 1% cut-off was implemented by impact.

Manufacturing [EN 15804 A1-A3] include processes wherever possible. This includes raw material extraction and processing, intermediate transportation, and final manufacturing and assembly. The manufacturing scope is listed for each entry, detailing any specific inclusions or exclusions that fall outside of the cradle-to-gate scope. Infrastructure (buildings and machinery) required for the manufacturing and assembly of building materials are not included and are considered outside the scope of assessment.

Transportation [EN 15804 A4] between the manufacturer and building site is included separately and can be modified by the practitioner. Transportation at the product's end-of-life is excluded from this study.

Construction [EN 15804 A5] is based on the anticipated or measured energy and water consumed during the construction of the building.

Maintenance and replacement [EN 15804 B2-B5] encompasses the replacement of materials in accordance with the expected service life. This includes the end-of-life treatment of the existing products [EN 15804 C2-C4], transportation to site, and cradle-to-gate manufacturing of the replacement products. The service life is specified separately for each product.

Operational energy treatment [EN 15804 B6] is based on the anticipated energy consumed at the building site over the lifetime of the building. Each associated dataset includes relevant upstream impacts associated with extraction of energy resources (such as coal or crude oil), including refining, combustion, transmission, losses, and other associated factors. For further detail, see Energy Metadata in the appendix.

End-of-life treatment [EN 15804 C2-C4] is based on average US construction and demolition waste treatment methods and rates. This includes the relevant material collection rates for recycling, processing requirements for recycled materials, incineration rates, and landfilling rates. Along with processing requirements, the recycling of materials is modeled using an avoided burden approach, where the burden of primary material production is allocated to the subsequent life cycle based on the quantity of recovered secondary material. Incineration of materials includes credit for average US energy recovery rates. The impacts associated with landfilling are based on average material properties, such as plastic waste, biodegradable waste, or inert material. Specific end-of-life scenarios are detailed for each entry.

### Data source and quality

Tally utilizes a custom designed LCA database that combines material attributes, assembly details, and architectural specifications with environmental impact data resulting from the collaboration between KieranTimberlake and thinkstep. LCA modeling was conducted in GaBi 6 using GaBi databases and in accordance with [GaBi databases and modeling principles](#).

The data used are intended to represent the US and the year 2013. Where representative data were unavailable, proxy data were used. The datasets used, their geographic region, and year of reference are listed for each entry. An effort was made to choose proxy datasets that are technologically consistent with the relevant entry.

Uncertainty in results can stem from both the data used and its application. Data quality is judged by: its measured, calculated, or estimated precision; its completeness, such as unreported emissions; its consistency, or degree of uniformity of the methodology applied on a study serving as a data source; and geographical, temporal, and technological representativeness. The [GaBi LCI databases](#) have been used in LCA models worldwide in both industrial and scientific applications. These LCI databases have additionally been used both as internal and critically reviewed and published studies. Uncertainty introduced by the use of proxy data is reduced by using technologically, geographically, and/or temporally similar data. It is the responsibility of the modeler to appropriately apply the predefined material entries to the building under study.

Tally methodology is consistent with LCA standards ISO 14040-14044.

## Glossary of LCA Terminology

---

### Environmental Impact Categories

The following list provides a description of environmental impact categories reported according to the TRACI 2.1 characterization scheme. References: [Bare 2010, EPA 2012, Guinée 2001]

#### **Acidification Potential (AP)** kg SO<sub>2</sub> eq

A measure of emissions that cause acidifying effects to the environment. The acidification potential is a measure of a molecule's capacity to increase the hydrogen ion (H<sup>+</sup>) concentration in the presence of water, thus decreasing the pH value. Potential effects include fish mortality, forest decline, and the deterioration of building materials.

#### **Eutrophication Potential (EP)** kg N eq

Eutrophication covers potential impacts of excessively high levels of macronutrients, the most important of which are nitrogen (N) and phosphorus (P). Nutrient enrichment may cause an undesirable shift in species composition and elevated biomass production in both aquatic and terrestrial ecosystems. In aquatic ecosystems increased biomass production may lead to depressed oxygen levels, because of the additional consumption of oxygen in biomass decomposition.

#### **Global Warming Potential (GWP)** kg CO<sub>2</sub> eq

A measure of greenhouse gas emissions, such as carbon dioxide and methane. These emissions are causing an increase in the absorption of radiation emitted by the earth, increasing the natural greenhouse effect. This may in turn have adverse impacts on ecosystem health, human health, and material welfare.

#### **Ozone Depletion Potential (ODP)** kg CFC-11 eq

A measure of air emissions that contribute to the depletion of the stratospheric ozone layer. Depletion of the ozone leads to higher levels of UVB ultraviolet rays reaching the earth's surface with detrimental effects on humans and plants.

#### **Smog Formation Potential (SFP)** kg O<sub>3</sub> eq

Ground level ozone is created by various chemical reactions, which occur between nitrogen oxides (NO<sub>x</sub>) and volatile organic compounds (VOCs) in sunlight. Human health effects can result in a variety of respiratory issues including increasing symptoms of bronchitis, asthma, and emphysema. Permanent lung damage may result from prolonged exposure to ozone. Ecological impacts include damage to various ecosystems and crop damage. The primary sources of ozone precursors are motor vehicles, electric power utilities, and industrial facilities.

#### **Primary Energy Demand (PED)** MJ (lower heating value)

A measure of the total amount of primary energy extracted from the earth. PED is expressed in energy demand from non-renewable resources (e.g. petroleum, natural gas, etc.) and energy demand from renewable resources (e.g. hydropower, wind energy, solar, etc.). Efficiencies in energy conversion (e.g. power, heat, steam, etc.) are taken into account.

## LCA Metadata

### NOTES

The following list provides a summary of all energy, construction, transportation, and materials inputs present in the selected study. Materials are listed in alphabetical order along with a list of all Revit families and Tally entries in which they occur and any notes and system boundaries accompanying their database entries. The mass given here refers to the full life-cycle mass of material, including manufacturing and replacement.

#### Transportation by Barge

Description:  
Barge

Transportation Scope:  
The data set represents the transportation of 1 kg of material from the manufacturer location to the building site by barge. The default transportation distances are based on the transportation distances by three-digit material commodity code in the 2012 Commodity Flow Survey published by the US Department of Transportation Bureau of Transportation Statistics and the US Department of Commerce where more specific industry-level transportation was not available.

Entry Source:  
GLO: Barge PE (2012), US: Diesel mix at filling station PE (2011)

#### Transportation by Container Ship

Description:  
Container Ship

Transportation Scope:  
The data set represents the transportation of 1 kg of material from the manufacturer location to the building site by container ship. The default transportation distances are based on the transportation distances by three-digit material commodity code in the 2012 Commodity Flow Survey published by the US Department of Transportation Bureau of Transportation Statistics and the US Department of Commerce where more specific industry-level transportation was not available.

Entry Source:  
GLO: Container ship PE (2013), US: Heavy fuel oil at refinery (0.3wt.% S) PE (2011)

#### Transportation by Rail

Description:  
Rail

Transportation Scope:  
The data set represents the transportation of 1 kg of material from the manufacturer location to the building site by cargo rail. The default transportation distances are based on the transportation distances by three-digit material commodity code in the 2012 Commodity Flow Survey published by the US Department of Transportation Bureau of Transportation Statistics and the US Department of Commerce where more specific industry-level transportation was not available.

Entry Source:  
GLO: Rail transport cargo - Diesel PE (2013), US: Diesel mix at filling station PE (2011)

#### Transportation by Truck

Description:  
Truck

Transportation Scope:  
The data set represents the transportation of 1 kg of material from the manufacturer location to the building site by diesel truck. The default transportation distances are based on the transportation distances by three-digit material commodity code in the 2012 Commodity Flow Survey published by the US Department of Transportation Bureau of Transportation Statistics and the US Department of Commerce where more specific industry-level transportation was not available.

Entry Source:  
US: Truck - Trailer, basic enclosed / 45,000 lb payload - 8b PE (2013), US: Diesel mix at filling station PE (2011)

#### Model Elements

Revit Categories  
Floors, Roofs, Walls

modelo para TFG v3 Worksets  
Workset1

modelo para TFG v3 Phases  
Existente, Nueva construcción

#### APP Modified bitumen, sheet

234,455.2 kg

Used in the following Revit families:  
00\_Cubierta2\_Def\_plana transitable 60,977.7 kg  
00\_Cubierta3\_Def\_plana transitable 93,596.1 kg  
00\_Cubierta4\_Def\_Plana invertida 79,881.4 kg

Used in the following Tally entries:  
APP modified bitumen, sheet

Description:  
Atactic polypropylene (AAP)-modified bituminous membrane

Life Cycle Inventory:  
Asphalt: 40%  
Sand: 5%  
Limestone: 5%  
Polyester: 10%  
Glass fibers: 10%; Propylene: 10%  
Polypropylene: 10%; Polyethylene: 10%

Manufacturing Scope:  
Cradle to gate

Transportation Distance:  
By truck: 172 km

End of Life Scope:  
5% recycled into bitumen (includes grinding energy and avoided burden credit)  
95% landfilled (inert waste)

Entry Source:  
US: Silica sand (Excavation and processing) PE (2012)  
DE: EPDM roofing membranes (EN15804 A1-A3) PE (2012)  
US: Limestone (CaCO3 washed) PE (2012)  
US: Glass fibres PE (2012)  
RER: Polyester (PET) fabric PE (2012)  
US: Polypropylene granulate (PP) PE (2012)  
US: Polyethylene High Density Granulate (PE-HD) PE (2012)  
US: Bitumen at refinery PE (2010)

#### Brick, generic

55,545,835.3 kg

Used in the following Revit families:  
00\_CUbierta1\_def\_Teja sobre rastrel 314,262.3 kg  
01-Fachada tipo 1 13,167,584.2 kg  
02-Fachada tipo 2 15,559,167.9 kg  
03-Fachada tipo 3 15,621,343.0 kg  
04-Fachada tipo 4 10,883,477.9 kg

Used in the following Tally entries:  
Brick, generic, grouted  
Brick, ungrouted

Description:  
Generic brick, 3.675 x 2.25 x 8

Life Cycle Inventory:  
2000 kg/m<sup>3</sup> fired brick

Manufacturing Scope:  
Cradle to gate  
excludes mortar  
anchors, ties, and metal accessories outside of scope (<1% mass)

Transportation Distance:  
By truck: 172 km

End of Life Scope:  
50% recycled into coarse aggregate (includes grinding energy and avoided burden credit)  
50% landfilled (inert material)

Entry Source:  
DE: Stoneware tiles, unglazed (EN15804 A1-A3) PE (2012)

LCA Metadata (continued)

<p><b>Built up asphalt roofing</b></p> <p>Used in the following Revit families:                  00_CUbierta1_def_Teja sobre rastrel 98,783.1 kg                  00_Cubierta3_Def_plana transitable 170,388.2 kg</p> <p>Used in the following Tally entries:                  Built up asphalt roofing</p> <p>Description:                  Asphalt BUR consisting of a cap sheet and 3 plys of glass-fiber felt</p> <p>Life Cycle Inventory:                  25% Base sheet (50% bitumen, 5% glass fibers, 15% limestone, 5% naphtha, 25% sand)                  75% ply felts (35% bitumen, 25% glass fibers, 20% sand, 20% talc)</p> <p>Manufacturing Scope:                  Cradle to gate</p> <p>Transportation Distance:                  By truck: 172 km</p> <p>End of Life Scope:                  5% recycled into bitumen (includes grinding energy and avoided burden credit)                  95% landfilled (inert waste)</p> <p>Entry Source:                  US: Bitumen at refinery PE (2010)                  US: Naphtha at refinery PE (2010)                  US: Silica sand (Excavation and processing) PE (2012)                  RER: Talcum powder (filler) PE (2012)                  US: Limestone flour (5mm) PE (2012)                  US: Glass fibres PE (2012)</p>	<p><b>269,171.4 kg</b></p>	<p>Transportation Distance:                  By truck: 383 km</p> <p>End of Life Scope:                  14.5% recovered (credited as avoided burden)                  22% incinerated with energy recovery                  63.5% landfilled (untreated wood waste)</p> <p>Entry Source:                  RNA: Softwood lumber CORRIM (2011)</p>
<p><b>Ceramic tile, unglazed</b></p> <p>Used in the following Revit families:                  00_CUbierta1_def_Teja sobre rastrel 680,901.7 kg                  00_Cubierta4_Def_Plana invertida 1,002,373.0 kg</p> <p>Used in the following Tally entries:                  Ceramic tile, unglazed</p> <p>Description:                  Ceramic tile, unglazed</p> <p>Life Cycle Inventory:                  Ceramic tile</p> <p>Manufacturing Scope:                  Cradle to gate</p> <p>Transportation Distance:                  By truck: 805 km</p> <p>End of Life Scope:                  50% recycled into coarse aggregate (includes grinding energy and avoided burden credit)                  50% landfilled (inert material)</p> <p>Entry Source:                  DE: Stoneware tiles, unglazed (EN15804 A1-A3) PE (2012)</p>	<p><b>1,683,274.7 kg</b></p>	<p><b>Flooring, brick</b></p> <p>Used in the following Revit families:                  00_Cubierta2_Def_plana transitable 400,239.4 kg                  00_Cubierta3_Def_plana transitable 153,584.3 kg                  00_Suelo1_def 1,092,456.1 kg                  00_Suelo2_Def 4,186,005.3 kg                  00_Suelo3_Def 4,255,672.8 kg</p> <p>Used in the following Tally entries:                  Flooring, brick</p> <p>Description:                  Brick flooring</p> <p>Life Cycle Inventory:                  Brick</p> <p>Manufacturing Scope:                  Cradle to gate</p> <p>Transportation Distance:                  By truck: 1250 km</p> <p>End of Life Scope:                  50% recycled into coarse aggregate (includes grinding energy and avoided burden credit)                  50% landfilled (inert material)</p> <p>Entry Source:                  DE: Stoneware tiles, unglazed (EN15804 A1-A3) PE (2012)</p>
<p><b>Domestic softwood, US</b></p> <p>Used in the following Revit families:                  00_Suelo1_def 34,345.6 kg</p> <p>Used in the following Tally entries:                  Ornamental wood</p> <p>Description:                  Dimensional lumber, sawn, planed, dried and cut for standard framing or planking</p> <p>Life Cycle Inventory:                  17% US Pacific Northwest                  30% US Southeast                  11% US Inland Northwest                  US Northeast/North Central 3%                  39% CA                  Softwood lumber</p> <p>Manufacturing Scope:                  Cradle to gate</p>	<p><b>34,345.6 kg</b></p>	<p><b>Hardware, stainless steel</b></p> <p>Used in the following Revit families:                  04-Fachada tipo 4 58,682.5 kg</p> <p>Used in the following Tally entries:                  Wall covering, stone facing</p> <p>Description:                  Finished, cast stainless steel entry applicable for door, window or other accessory hardware</p> <p>Life Cycle Inventory:                  Stainless steel</p> <p>Manufacturing Scope:                  Cradle to gate</p> <p>Transportation Distance:                  By truck: 1001 km</p> <p>End of Life Scope:                  98% recovered (product has 58.1% scrap input while remainder is processed and credited as avoided burden)                  2% landfilled (inert material)</p> <p>Entry Source:                  RER: Stainless steel Quarto plate (304) Eurofer (2008)                  DE: Steel cast part machining PE (2012)                  US: Electricity grid mix PE (2010)                  RER: Stainless steel flat product (304) - value of scrap Eurofer (2008)</p>
<p><b>Lightweight aggregate structural concrete, expanded shale mix</b></p> <p>Used in the following Revit families:                  00_CUbierta1_def_Teja sobre rastrel 173,053.8 kg                  00_Cubierta2_Def_plana transitable 583,407.8 kg</p> <p>Used in the following Tally entries:                  Lightweight aggregate structural concrete, unreinforced, expanded shale mix</p>	<p><b>756,461.6 kg</b></p>	

## LCA Metadata (continued)

<p>Description: Lightweight structural concrete with expanded shale aggregate mix</p> <p>Life Cycle Inventory: 15% cement 53% sand 22% shale 10% water</p> <p>Manufacturing Scope: Cradle to gate excludes mixing and pouring impacts</p> <p>Transportation Distance: By truck: 24 km</p> <p>End of Life Scope: 50% recycled into coarse aggregate (includes grinding energy and avoided burden credit) 50% landfilled (inert material)</p> <p>Entry Source: US: Portland cement, at plant USLCl/PE (2009) US: Tap water from groundwater PE (2012) DE: Expanded shale (EN15804 A1-A3) PE (2012) US: Silica sand (Excavation and processing) PE (2012)</p>	<p>50% recycled into coarse aggregate (includes grinding energy and avoided burden credit) 50% landfilled (inert material)</p> <p>Entry Source: DE: Natural stone slab, flexible, facade (EN15804 A1-A3) PE (2012)</p> <p><b>Mineral wool, DDP-RT (U = 0.039 W/mK), EPD - Knauf Insulation</b> <b>926,235.7 kg</b></p> <p>Used in the following Revit families: 00_Suelo4_Def 620,321.7 kg 04-Fachada tipo 4 305,914.0 kg</p> <p>Used in the following Tally entries: Mineral wool, board, manufacturer specific, EPD - Knauf</p> <p>Description: Used for the thermal, acoustic and fire insulation of flat load free roofs compact rock mineral wool slabs with stable density which belongs to the very hard products the product is incombustible, resistant to high temperatures, water-repellent, resistant to aging and chemically neutral. EPD representative of German (DE) conditions.</p> <p>Life Cycle Inventory: Diabase Dolomite Basalt Briquettes (recycled waste + cement)</p> <p>Manufacturing Scope: Cradle to gate</p> <p>Transportation Distance: By truck: 172 km</p> <p>End of Life Scope: Includes disposal as incineration and any relevant resulting credits</p> <p>Entry Source: DE: Rock mineral wool, DDP-RT - Knauf Insulation (A1-A3) PE-EPD (2011) DE: Rock mineral wool, DDP-RT - Knauf Insulation (C4) PE-EPD (2011) DE: Rock mineral wool, DDP-RT - Knauf Insulation (D from C4) PE-EPD (2011)</p>
<p><b>Lightweight insulating concrete, nonstructural, perlite mix</b> <b>302,254.0 kg</b></p> <p>Used in the following Revit families: 00_Cubierta4_Def_Plana invertida 302,254.0 kg</p> <p>Used in the following Tally entries: Lightweight insulating concrete, unreinforced, perlite mix</p> <p>Description: Lightweight nonstructural concrete with perlite mix aggregate, appropriate for fireproofing, roof decks, floor and block fills</p> <p>Life Cycle Inventory: 36% cement 22% perlite 42% water</p> <p>Manufacturing Scope: Cradle to gate excludes mixing and pouring impacts</p> <p>Transportation Distance: By truck: 24 km</p> <p>End of Life Scope: 50% recycled into coarse aggregate (includes grinding energy and avoided burden credit) 50% landfilled (inert material)</p> <p>Entry Source: US: Portland cement, at plant USLCl/PE (2009) US: Tap water from groundwater PE (2012) DE: Perlite (Grain size 0/3) (EN15804 A1-A3) PE (2012) US: Silica sand (Excavation and processing) PE (2012)</p>	<p><b>Mortar type N</b> <b>9,909,189.1 kg</b></p> <p>Used in the following Revit families: 00_Cubierta1_def_Teja sobre rastrel 33,997.5 kg 00_Cubierta2_Def_plana transitable 25,469.8 kg 00_Cubierta3_Def_plana transitable 35,316.2 kg 00_Suelo1_def 251,206.5 kg 00_Suelo2_Def 355,176.2 kg 00_Suelo3_Def 361,087.4 kg 01-Fachada tipo 1 2,573,664.2 kg 02-Fachada tipo 2 1,683,219.1 kg 03-Fachada tipo 3 3,053,262.5 kg 04-Fachada tipo 4 1,536,789.9 kg</p> <p>Used in the following Tally entries: Brick, generic, grouted Brick, ungrouted Flooring, brick</p> <p>Description: Mortar Type N (moderate strength mortar for use in masonry walls and flooring)</p> <p>Life Cycle Inventory: 77% aggregate 12% cement 11% water</p> <p>Manufacturing Scope: Cradle to gate</p> <p>Transportation Distance: By truck: 172 km</p> <p>End of Life Scope: 50% recycled into coarse aggregate (includes grinding energy and avoided burden credit) 50% landfilled (inert material)</p> <p>Entry Source: DE: Masonry mortar (MG II a) PE (2012)</p>
<p><b>Limestone tile</b> <b>9,304,825.4 kg</b></p> <p>Used in the following Revit families: 00_Suelo4_Def 9,304,825.4 kg</p> <p>Used in the following Tally entries: Stone tile</p> <p>Description: Limestone tile</p> <p>Life Cycle Inventory: Limestone</p> <p>Manufacturing Scope: Cradle to gate</p> <p>Transportation Distance: By truck: 217 km</p> <p>End of Life Scope:</p>	<p>Used in the following Tally entries: Brick, generic, grouted Brick, ungrouted Flooring, brick</p> <p>Description: Mortar Type N (moderate strength mortar for use in masonry walls and flooring)</p> <p>Life Cycle Inventory: 77% aggregate 12% cement 11% water</p> <p>Manufacturing Scope: Cradle to gate</p> <p>Transportation Distance: By truck: 172 km</p> <p>End of Life Scope: 50% recycled into coarse aggregate (includes grinding energy and avoided burden credit) 50% landfilled (inert material)</p> <p>Entry Source: DE: Masonry mortar (MG II a) PE (2012)</p>

## LCA Metadata (continued)

<p><b>Paint, exterior acrylic latex</b></p> <p>Used in the following Revit families: 02-Fachada tipo 2</p> <p>Used in the following Tally entries: Brick, generic, grouted</p> <p>Description: Application paint emulsion (building, exterior, white). Associated reference table includes primer.</p> <p>Life Cycle Inventory: 4.5% organic solvents</p> <p>Manufacturing Scope: Cradle to gate, including emissions during application</p> <p>Transportation Distance: By truck: 642 km</p> <p>End of Life Scope: 100% to landfill (plastic waste)</p> <p>Entry Source: DE: Application paint emulsion (building, exterior, white) PE (2012)</p>	<p><b>16,514.5 kg</b></p> <p>16,514.5 kg</p>	<p>Entry Source: DE: Extruded polystyrene (XPS) (EN15804 A1-A3) PE (2012)</p>	<p><b>Steel, reinforcing rod</b></p> <p>Used in the following Revit families:</p> <table border="0"> <tr><td>00_CUBierta1_def_Teja sobre rastrel</td><td style="text-align: right;">91,387.5 kg</td></tr> <tr><td>00_Cubierta2_Def_plana transitable</td><td style="text-align: right;">205,393.5 kg</td></tr> <tr><td>00_Cubierta3_Def_plana transitable</td><td style="text-align: right;">157,631.7 kg</td></tr> <tr><td>00_Cubierta4_Def_Plana invertida</td><td style="text-align: right;">134,533.9 kg</td></tr> <tr><td>00_Suelo1_def</td><td style="text-align: right;">280,311.4 kg</td></tr> <tr><td>00_Suelo2_Def</td><td style="text-align: right;">1,790,132.8 kg</td></tr> <tr><td>00_Suelo3_Def</td><td style="text-align: right;">2,183,911.1 kg</td></tr> <tr><td>00_Suelo4_Def</td><td style="text-align: right;">1,561,063.4 kg</td></tr> </table> <p>Used in the following Tally entries: Cast-in-place concrete, reinforced structural concrete, 3000 psi (20 Mpa)</p> <p>Description: Steel rod suitable for structural reinforcement (rebar), common unfinished tempered steel</p> <p>Life Cycle Inventory: Steel rebar</p> <p>Manufacturing Scope: Cradle to gate</p> <p>Transportation Distance: By truck: 431 km</p> <p>End of Life Scope: 70% recovered (product has 69.8% scrap input while remainder is processed and credited as avoided burden) 30% landfilled (inert material)</p> <p>Entry Source: GLO: Steel rebar worldsteel (2007)</p>	00_CUBierta1_def_Teja sobre rastrel	91,387.5 kg	00_Cubierta2_Def_plana transitable	205,393.5 kg	00_Cubierta3_Def_plana transitable	157,631.7 kg	00_Cubierta4_Def_Plana invertida	134,533.9 kg	00_Suelo1_def	280,311.4 kg	00_Suelo2_Def	1,790,132.8 kg	00_Suelo3_Def	2,183,911.1 kg	00_Suelo4_Def	1,561,063.4 kg	<p><b>6,404,365.3 kg</b></p>							
00_CUBierta1_def_Teja sobre rastrel	91,387.5 kg																										
00_Cubierta2_Def_plana transitable	205,393.5 kg																										
00_Cubierta3_Def_plana transitable	157,631.7 kg																										
00_Cubierta4_Def_Plana invertida	134,533.9 kg																										
00_Suelo1_def	280,311.4 kg																										
00_Suelo2_Def	1,790,132.8 kg																										
00_Suelo3_Def	2,183,911.1 kg																										
00_Suelo4_Def	1,561,063.4 kg																										
<p><b>Paint, interior acrylic latex</b></p> <p>Used in the following Revit families:</p> <table border="0"> <tr><td>00_Suelo1_def</td><td style="text-align: right;">6,275.1 kg</td></tr> <tr><td>00_Suelo2_Def</td><td style="text-align: right;">16,029.7 kg</td></tr> <tr><td>00_Suelo3_Def</td><td style="text-align: right;">16,296.5 kg</td></tr> <tr><td>00_Suelo4_Def</td><td style="text-align: right;">11,648.8 kg</td></tr> <tr><td>01-Fachada tipo 1</td><td style="text-align: right;">5,357.5 kg</td></tr> <tr><td>02-Fachada tipo 2</td><td style="text-align: right;">13,211.6 kg</td></tr> <tr><td>03-Fachada tipo 3</td><td style="text-align: right;">9,841.3 kg</td></tr> <tr><td>04-Fachada tipo 4</td><td style="text-align: right;">11,489.3 kg</td></tr> </table> <p>Used in the following Tally entries: Wall board, gypsum</p> <p>Description: Application paint emulsion (building, interior, white, wear resistant)</p> <p>Life Cycle Inventory: 2% organic solvents</p> <p>Manufacturing Scope: Cradle to gate, including emissions during application</p> <p>Transportation Distance: By truck: 642 km</p> <p>End of Life Scope: 100% to landfill (plastic waste)</p> <p>Entry Source: DE: Application paint emulsion (building, interior, white, wear resistant) PE (2012)</p>	00_Suelo1_def	6,275.1 kg	00_Suelo2_Def	16,029.7 kg	00_Suelo3_Def	16,296.5 kg	00_Suelo4_Def	11,648.8 kg	01-Fachada tipo 1	5,357.5 kg	02-Fachada tipo 2	13,211.6 kg	03-Fachada tipo 3	9,841.3 kg	04-Fachada tipo 4	11,489.3 kg	<p><b>90,149.6 kg</b></p>	<p><b>Stone slab, granite</b></p> <p>Used in the following Revit families: 04-Fachada tipo 4</p> <p>Used in the following Tally entries: Wall covering, stone facing</p> <p>Description: Stone veneer wall</p> <p>Life Cycle Inventory: Granite</p> <p>Manufacturing Scope: Cradle to gate excludes mortar anchors, ties, and metal accessories outside of scope (&lt;1% mass)</p> <p>Transportation Distance: By truck: 217 km</p> <p>End of Life Scope: 50% recycled into coarse aggregate (includes grinding energy and avoided burden credit) 50% landfilled (inert material)</p> <p>Entry Source: DE: Natural stone slab, rigid, facade (EN15804 A1-A3) PE (2012)</p>	<p><b>3,059,139.7 kg</b></p> <p>3,059,139.7 kg</p>								
00_Suelo1_def	6,275.1 kg																										
00_Suelo2_Def	16,029.7 kg																										
00_Suelo3_Def	16,296.5 kg																										
00_Suelo4_Def	11,648.8 kg																										
01-Fachada tipo 1	5,357.5 kg																										
02-Fachada tipo 2	13,211.6 kg																										
03-Fachada tipo 3	9,841.3 kg																										
04-Fachada tipo 4	11,489.3 kg																										
<p><b>Polystyrene board (XPS), Pentane foaming agent</b></p> <p>Used in the following Revit families: 00_Cubierta4_Def_Plana invertida</p> <p>Used in the following Tally entries: Extruded polystyrene (XPS), board</p> <p>Description: XPS board, inclusive of pentane foaming agent</p> <p>Life Cycle Inventory: Extruded polystyrol rigid foam (XPS)</p> <p>Manufacturing Scope: Cradle to gate</p> <p>Transportation Distance: By truck: 1299 km</p> <p>End of Life Scope: 100% landfilled (plastic waste)</p>	<p><b>24,673.8 kg</b></p> <p>24,673.8 kg</p>	<p><b>Structural concrete, 3000 psi, generic</b></p> <p>Used in the following Revit families:</p> <table border="0"> <tr><td>00_CUBierta1_def_Teja sobre rastrel</td><td style="text-align: right;">2,513,155.9 kg</td></tr> <tr><td>00_Cubierta2_Def_plana transitable</td><td style="text-align: right;">7,188,771.2 kg</td></tr> <tr><td>00_Cubierta3_Def_plana transitable</td><td style="text-align: right;">5,517,109.9 kg</td></tr> <tr><td>00_Cubierta4_Def_Plana invertida</td><td style="text-align: right;">4,708,685.9 kg</td></tr> <tr><td>00_Suelo1_def</td><td style="text-align: right;">16,818,683.7 kg</td></tr> <tr><td>00_Suelo2_Def</td><td style="text-align: right;">56,389,184.6 kg</td></tr> <tr><td>00_Suelo3_Def</td><td style="text-align: right;">66,427,297.1 kg</td></tr> <tr><td>00_Suelo4_Def</td><td style="text-align: right;">43,579,686.5 kg</td></tr> <tr><td>01-Fachada tipo 1</td><td style="text-align: right;">598,302.1 kg</td></tr> <tr><td>02-Fachada tipo 2</td><td style="text-align: right;">1,475,415.0 kg</td></tr> <tr><td>03-Fachada tipo 3</td><td style="text-align: right;">1,099,037.1 kg</td></tr> <tr><td>04-Fachada tipo 4</td><td style="text-align: right;">641,536.9 kg</td></tr> </table>	00_CUBierta1_def_Teja sobre rastrel	2,513,155.9 kg	00_Cubierta2_Def_plana transitable	7,188,771.2 kg	00_Cubierta3_Def_plana transitable	5,517,109.9 kg	00_Cubierta4_Def_Plana invertida	4,708,685.9 kg	00_Suelo1_def	16,818,683.7 kg	00_Suelo2_Def	56,389,184.6 kg	00_Suelo3_Def	66,427,297.1 kg	00_Suelo4_Def	43,579,686.5 kg	01-Fachada tipo 1	598,302.1 kg	02-Fachada tipo 2	1,475,415.0 kg	03-Fachada tipo 3	1,099,037.1 kg	04-Fachada tipo 4	641,536.9 kg	<p><b>206,956,865.7 kg</b></p>
00_CUBierta1_def_Teja sobre rastrel	2,513,155.9 kg																										
00_Cubierta2_Def_plana transitable	7,188,771.2 kg																										
00_Cubierta3_Def_plana transitable	5,517,109.9 kg																										
00_Cubierta4_Def_Plana invertida	4,708,685.9 kg																										
00_Suelo1_def	16,818,683.7 kg																										
00_Suelo2_Def	56,389,184.6 kg																										
00_Suelo3_Def	66,427,297.1 kg																										
00_Suelo4_Def	43,579,686.5 kg																										
01-Fachada tipo 1	598,302.1 kg																										
02-Fachada tipo 2	1,475,415.0 kg																										
03-Fachada tipo 3	1,099,037.1 kg																										
04-Fachada tipo 4	641,536.9 kg																										

## LCA Metadata (continued)

Used in the following Tally entries:

Cast-in-place concrete, reinforced structural concrete, 3000 psi (20 Mpa)  
Concrete, unreinforced, generic, 3000 psi (20MPa)

Description:

Structural concrete, generic, 3000 psi

Life Cycle Inventory:

13% cement  
40% gravel  
39% sand  
7% water

Manufacturing Scope:

Cradle to gate  
excludes mixing and pouring impacts

Transportation Distance:

By truck: 24 km

End of Life Scope:

50% recycled into coarse aggregate (includes grinding energy and avoided burden credit)  
50% landfilled (inert material)

Entry Source:

US: Portland cement, at plant USLCI/PE (2009)  
US: Tap water from groundwater PE (2012)  
EU-27: Gravel 2/32 PE (2012)  
US: Silica sand (Excavation and processing) PE (2012)

### **Terracotta tile, generic** **838,032.9 kg**

Used in the following Revit families:  
00\_Cubierta1\_def\_Teja sobre rastrel **838,032.9 kg**

Used in the following Tally entries:

Terracotta tile

Description:

Terracotta tile

Life Cycle Inventory:

Terracotta stoneware (unglazed)

Manufacturing Scope:

Cradle to gate

Transportation Distance:

By truck: 1250 km

End of Life Scope:

50% recycled into coarse aggregate (includes grinding energy and avoided burden credit)  
50% landfilled (inert material)

Entry Source:

DE: Stoneware tiles, unglazed (EN15804 A1-A3) PE (2012)

### **Thinset mortar** **682,261.7 kg**

Used in the following Revit families:  
00\_Cubierta1\_def\_Teja sobre rastrel 70,836.4 kg  
00\_Cubierta4\_Def\_Plana invertida 28,987.6 kg  
00\_Suelo4\_Def 582,437.7 kg

Used in the following Tally entries:

Ceramic tile, unglazed  
Stone tile  
Terracotta tile

Description:

Mortar Type N (moderate strength mortar for use in masonry walls and flooring)

Life Cycle Inventory:

72% aggregate  
16% cement  
12% water

Manufacturing Scope:

Cradle to gate

Transportation Distance:

By truck: 172 km

End of Life Scope:

50% recycled into coarse aggregate (includes grinding energy and avoided burden credit)  
50% landfilled (inert material)

Entry Source:

DE: Masonry mortar (MG II a) PE (2012)

### **Wall board, gypsum, natural** **11,653,247.8 kg**

Used in the following Revit families:

00_Cubierta1_def_Teja sobre rastrel	125,704.9 kg
00_Cubierta2_Def_plana transitable	282,522.0 kg
00_Cubierta3_Def_plana transitable	216,824.9 kg
00_Cubierta4_Def_Plana invertida	185,053.5 kg
00_Suelo1_def	771,145.5 kg
00_Suelo2_Def	1,969,884.8 kg
00_Suelo3_Def	2,002,669.5 kg
00_Suelo4_Def	1,431,511.6 kg
01-Fachada tipo 1	658,379.2 kg
02-Fachada tipo 2	1,623,565.3 kg
03-Fachada tipo 3	1,209,394.3 kg
04-Fachada tipo 4	1,176,592.2 kg

Used in the following Tally entries:

Wall board, gypsum

Description:

Natural gypsum board

Life Cycle Inventory:

1 kg gypsum wallboard

Manufacturing Scope:

Cradle to gate

Transportation Distance:

By truck: 172 km

End of Life Scope:

54% recycled into gypsum stone (includes grinding and avoided burden credit)  
46% landfilled (inert waste)

Entry Source:

DE: Gypsum wallboard (EN15804 A1-A3) PE (2012)

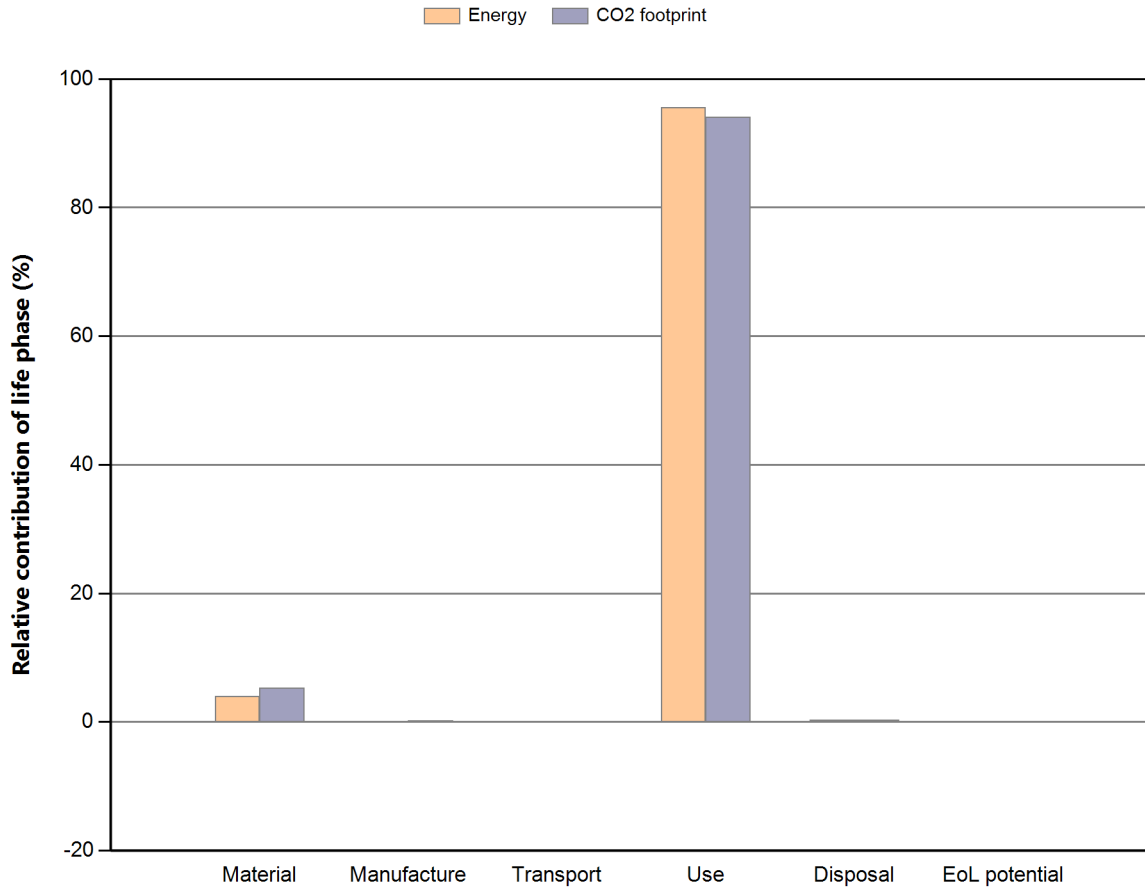




## Eco Audit Report

Product name                                    Product  
 Country of use                                    Spain  
 Product life (years)                            60

**Summary:**



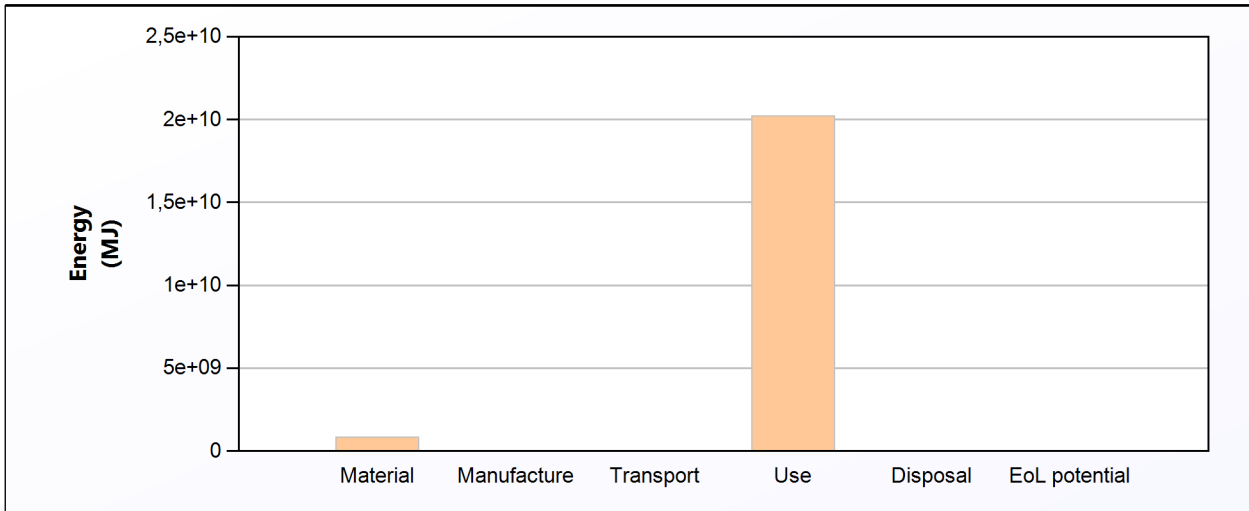
[Energy details](#)

[CO2 footprint details](#)

Phase	Energy (MJ)	Energy (%)	CO2 footprint (kg)	CO2 footprint (%)
<b>Material</b>	8,45e+08	4,0	6,48e+07	5,3
<b>Manufacture</b>	3,35e+07	0,2	2,52e+06	0,2
<b>Transport</b>	0	0,0	0	0,0
<b>Use</b>	2,02e+10	95,5	1,15e+09	94,1
<b>Disposal</b>	6,38e+07	0,3	4,46e+06	0,4
Total (for first life)	<b>2,12e+10</b>	<b>100</b>	<b>1,22e+09</b>	<b>100</b>
<b>End of life potential</b>	0		0	

## Energy Analysis

[Summary](#)



	Energy (MJ/year)
Equivalent annual environmental burden (averaged over 60 year product life):	3,53e+08

## Detailed breakdown of individual life phases

### Material:

[Summary](#)

Component	Material	Recycled content* (%)	Part mass (kg)	Qty.	Total mass (kg)	Energy (MJ)	%
APP Modified bitumen, sheet	Bitumen	Virgin (0%)	5e+05	1	5e+05	5,3e+07	6,3
Brick, generic	Common brick	Virgin (0%)	7,7e+07	1	7,7e+07	2,5e+08	30,1
Domestic softwood, US	Bamboo	Virgin (0%)	3,4e+04	1	3,4e+04	1,7e+05	0,0
Steel	Low carbon steel	Virgin (0%)	6,5e+06	1	6,5e+06	1,7e+08	20,1
Lightweight aggregate concrete	Concrete (structural lightweight)	Virgin (0%)	1,1e+06	1	1,1e+06	1,2e+06	0,1
Mneral wool	Ceramic tile	Virgin (0%)	9,3e+05	1	9,3e+05	1,1e+07	1,3
Mortar type N	Cement (ordinary Portland)	Virgin (0%)	1,1e+07	1	1,1e+07	6e+07	7,1
Paint	Butyl rubber	Virgin (0%)	1,1e+05	1	1,1e+05	1,3e+07	1,5
Polystyrene board (XPS), Pentane foaming agent	Rigid polystyrene foam	Virgin (0%)	2,5e+04	1	2,5e+04	2,7e+06	0,3
Structural concrete	High performance concrete	Virgin (0%)	2,1e+08	1	2,1e+08	2,4e+08	27,9
Wall board, gypsum, natural	Plaster of Paris	Virgin (0%)	1,2e+07	1	1,2e+07	2,6e+07	3,0
Marble	Marble	Virgin (0%)	3,1e+06	1	3,1e+06	6,1e+06	0,7
Terracotta tile, generic	Terracotta	Virgin (0%)	8,4e+05	1	8,4e+05	1,1e+07	1,4
Total				13	3,2e+08	8,4e+08	100

\*Typical: Includes 'recycle fraction in current supply'

### Manufacture:

[Summary](#)

Component	Process	Amount processed	Energy (MJ)	%
Steel	Extrusion, foil rolling	6,5e+06 kg	3,3e+07	98,5
Polystyrene board (XPS), Pentane foaming agent	Polymer molding	2,5e+04 kg	5,2e+05	1,5
Total			3,4e+07	100

---

**Transport:**[Summary](#)**Breakdown by transport stage**

Stage name	Transport type	Distance (km)	Energy (MJ)	%
Total				100

**Breakdown by components**

Component	Mass (kg)	Energy (MJ)	%
APP Modified bitumen, sheet	5e+05	0	
Brick, generic	7,7e+07	0	
Domestic softwood, US	3,4e+04	0	
Steel	6,5e+06	0	
Lightweight aggregate concrete	1,1e+06	0	
Mineral wool	9,3e+05	0	
Mortar type N	1,1e+07	0	
Paint	1,1e+05	0	
Polystyrene board (XPS), Pentane foaming agent	2,5e+04	0	
Structural concrete	2,1e+08	0	
Wall board, gypsum, natural	1,2e+07	0	
Marble	3,1e+06	0	
Terracotta tile, generic	8,4e+05	0	
Total	<b>3,2e+08</b>	<b>0</b>	<b>100</b>

---

**Use:**[Summary](#)**Static mode**

Energy input and output type	Electric to thermal
Country of use	Spain
Power rating (kW)	1,3e+05
Usage (hours per day)	1
Usage (days per year)	3,7e+02
Product life (years)	60

**Relative contribution of static and mobile modes**

Mode	Energy (MJ)	%
Static	2e+10	100,0
Mobile	0	
Total	<b>2e+10</b>	<b>100</b>

---

**Disposal:**[Summary](#)

Component	End of life option	Energy (MJ)	%
APP Modified bitumen, sheet	Landfill	1e+05	0,2
Brick, generic	Landfill	1,5e+07	24,0
Domestic softwood, US	Landfill	6,9e+03	0,0
Steel	Landfill	1,3e+06	2,0
Lightweight aggregate concrete	Landfill	2,1e+05	0,3
Mneral wool	Landfill	1,9e+05	0,3
Mortar type N	Landfill	2,1e+06	3,3
Paint	Landfill	2,1e+04	0,0
Polystyrene board (XPS), Pentane foaming agent	Landfill	4,9e+03	0,0
Structural concrete	Landfill	4,1e+07	64,9
Wall board, gypsum, natural	Landfill	2,3e+06	3,7
Marble	Landfill	6,1e+05	1,0
Terracotta tile, generic	Landfill	1,7e+05	0,3
Total		<b>6,4e+07</b>	<b>100</b>

**EoL potential:**

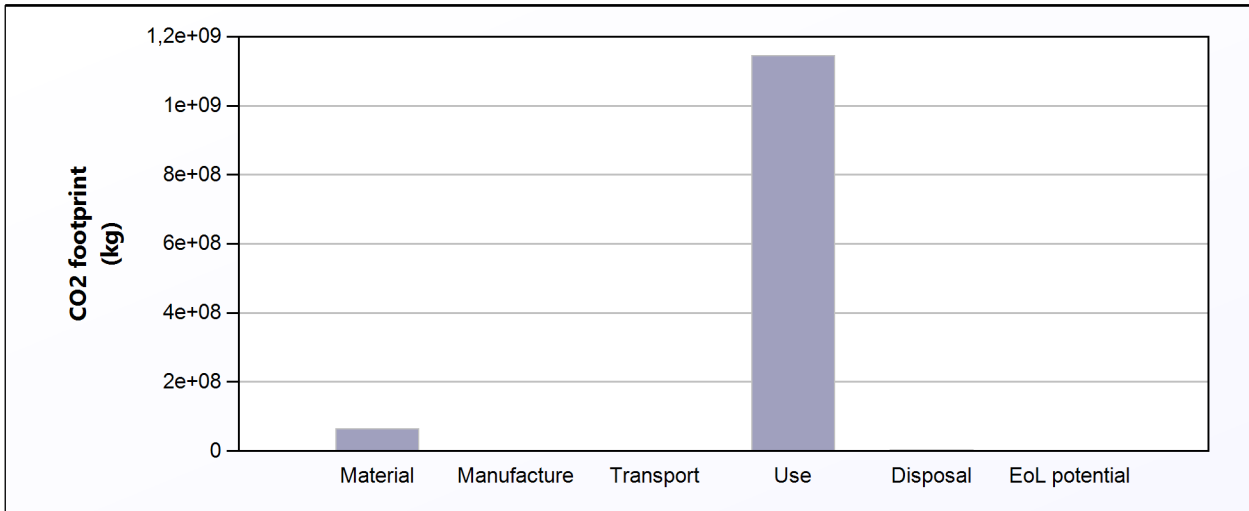
Component	End of life option	Energy (MJ)	%
APP Modified bitumen, sheet	Landfill	0	
Brick, generic	Landfill	0	
Domestic softwood, US	Landfill	0	
Steel	Landfill	0	
Lightweight aggregate concrete	Landfill	0	
Mneral wool	Landfill	0	
Mortar type N	Landfill	0	
Paint	Landfill	0	
Polystyrene board (XPS), Pentane foaming agent	Landfill	0	
Structural concrete	Landfill	0	
Wall board, gypsum, natural	Landfill	0	
Marble	Landfill	0	
Terracotta tile, generic	Landfill	0	
Total		<b>0</b>	<b>100</b>

---

**Notes:**[Summary](#)

## CO2 Footprint Analysis

[Summary](#)



	CO2 (kg/year)
Equivalent annual environmental burden (averaged over 60 year product life):	2,03e+07

## Detailed breakdown of individual life phases

### Material:

[Summary](#)

Component	Material	Recycled content* (%)	Part mass (kg)	Qty.	Total mass (kg)	CO2 footprint (kg)	%
APP Modified bitumen, sheet	Bitumen	Virgin (0%)	5e+05	1	5e+05	1,2e+05	0,2
Brick, generic	Common brick	Virgin (0%)	7,7e+07	1	7,7e+07	1,7e+07	25,6
Domestic softwood, US	Bamboo	Virgin (0%)	3,4e+04	1	3,4e+04	1,1e+04	0,0
Steel	Low carbon steel	Virgin (0%)	6,5e+06	1	6,5e+06	1,2e+07	18,0
Lightweight aggregate concrete	Concrete (structural lightweight)	Virgin (0%)	1,1e+06	1	1,1e+06	1e+05	0,2
Mneral wool	Ceramic tile	Virgin (0%)	9,3e+05	1	9,3e+05	1,5e+06	2,4
Mortar type N	Cement (ordinary Portland)	Virgin (0%)	1,1e+07	1	1,1e+07	1e+07	15,5
Paint	Butyl rubber	Virgin (0%)	1,1e+05	1	1,1e+05	7,1e+05	1,1
Polystyrene board (XPS), Pentane foaming agent	Rigid polystyrene foam	Virgin (0%)	2,5e+04	1	2,5e+04	1e+05	0,2
Structural concrete	High performance concrete	Virgin (0%)	2,1e+08	1	2,1e+08	2e+07	30,3
Wall board, gypsum, natural	Plaster of Paris	Virgin (0%)	1,2e+07	1	1,2e+07	2,3e+06	3,5
Marble	Marble	Virgin (0%)	3,1e+06	1	3,1e+06	3,8e+05	0,6
Terracotta tile, generic	Terracotta	Virgin (0%)	8,4e+05	1	8,4e+05	1,6e+06	2,5
Total				13	3,2e+08	6,5e+07	100

\*Typical: Includes 'recycle fraction in current supply'

### Manufacture:

[Summary](#)

Component	Process	Amount processed	CO2 footprint (kg)	%
Steel	Extrusion, foil rolling	6,5e+06 kg	2,5e+06	98,4
Polystyrene board (XPS), Pentane foaming agent	Polymer molding	2,5e+04 kg	4,1e+04	1,6
Total			2,5e+06	100

---

**Transport:**[Summary](#)**Breakdown by transport stage**

Stage name	Transport type	Distance (km)	CO2 footprint (kg)	%
Total				100

**Breakdown by components**

Component	Mass (kg)	CO2 footprint (kg)	%
APP Modified bitumen, sheet	5e+05	0	
Brick, generic	7,7e+07	0	
Domestic softwood, US	3,4e+04	0	
Steel	6,5e+06	0	
Lightweight aggregate concrete	1,1e+06	0	
Mineral wool	9,3e+05	0	
Mortar type N	1,1e+07	0	
Paint	1,1e+05	0	
Polystyrene board (XPS), Pentane foaming agent	2,5e+04	0	
Structural concrete	2,1e+08	0	
Wall board, gypsum, natural	1,2e+07	0	
Marble	3,1e+06	0	
Terracotta tile, generic	8,4e+05	0	
Total	<b>3,2e+08</b>	<b>0</b>	<b>100</b>

---

**Use:**[Summary](#)**Static mode**

Energy input and output type	Electric to thermal
Country of use	Spain
Power rating (kW)	1,3e+05
Usage (hours per day)	1
Usage (days per year)	3,7e+02
Product life (years)	60

**Relative contribution of static and mobile modes**

Mode	CO2 footprint (kg)	%
Static	1,1e+09	100,0
Mobile	0	
Total	<b>1,1e+09</b>	<b>100</b>



---

**Disposal:**[Summary](#)

Component	End of life option	CO2 footprint (kg)	%
APP Modified bitumen, sheet	Landfill	7,1e+03	0,2
Brick, generic	Landfill	1,1e+06	24,0
Domestic softwood, US	Landfill	4,8e+02	0,0
Steel	Landfill	9e+04	2,0
Lightweight aggregate concrete	Landfill	1,5e+04	0,3
Mneral wool	Landfill	1,3e+04	0,3
Mortar type N	Landfill	1,5e+05	3,3
Paint	Landfill	1,5e+03	0,0
Polystyrene board (XPS), Pentane foaming agent	Landfill	3,5e+02	0,0
Structural concrete	Landfill	2,9e+06	64,9
Wall board, gypsum, natural	Landfill	1,6e+05	3,7
Marble	Landfill	4,3e+04	1,0
Terracotta tile, generic	Landfill	1,2e+04	0,3
Total		<b>4,5e+06</b>	<b>100</b>

**EoL potential:**

Component	End of life option	CO2 footprint (kg)	%
APP Modified bitumen, sheet	Landfill	0	
Brick, generic	Landfill	0	
Domestic softwood, US	Landfill	0	
Steel	Landfill	0	
Lightweight aggregate concrete	Landfill	0	
Mneral wool	Landfill	0	
Mortar type N	Landfill	0	
Paint	Landfill	0	
Polystyrene board (XPS), Pentane foaming agent	Landfill	0	
Structural concrete	Landfill	0	
Wall board, gypsum, natural	Landfill	0	
Marble	Landfill	0	
Terracotta tile, generic	Landfill	0	
Total		<b>0</b>	<b>100</b>

---

**Notes:**[Summary](#)

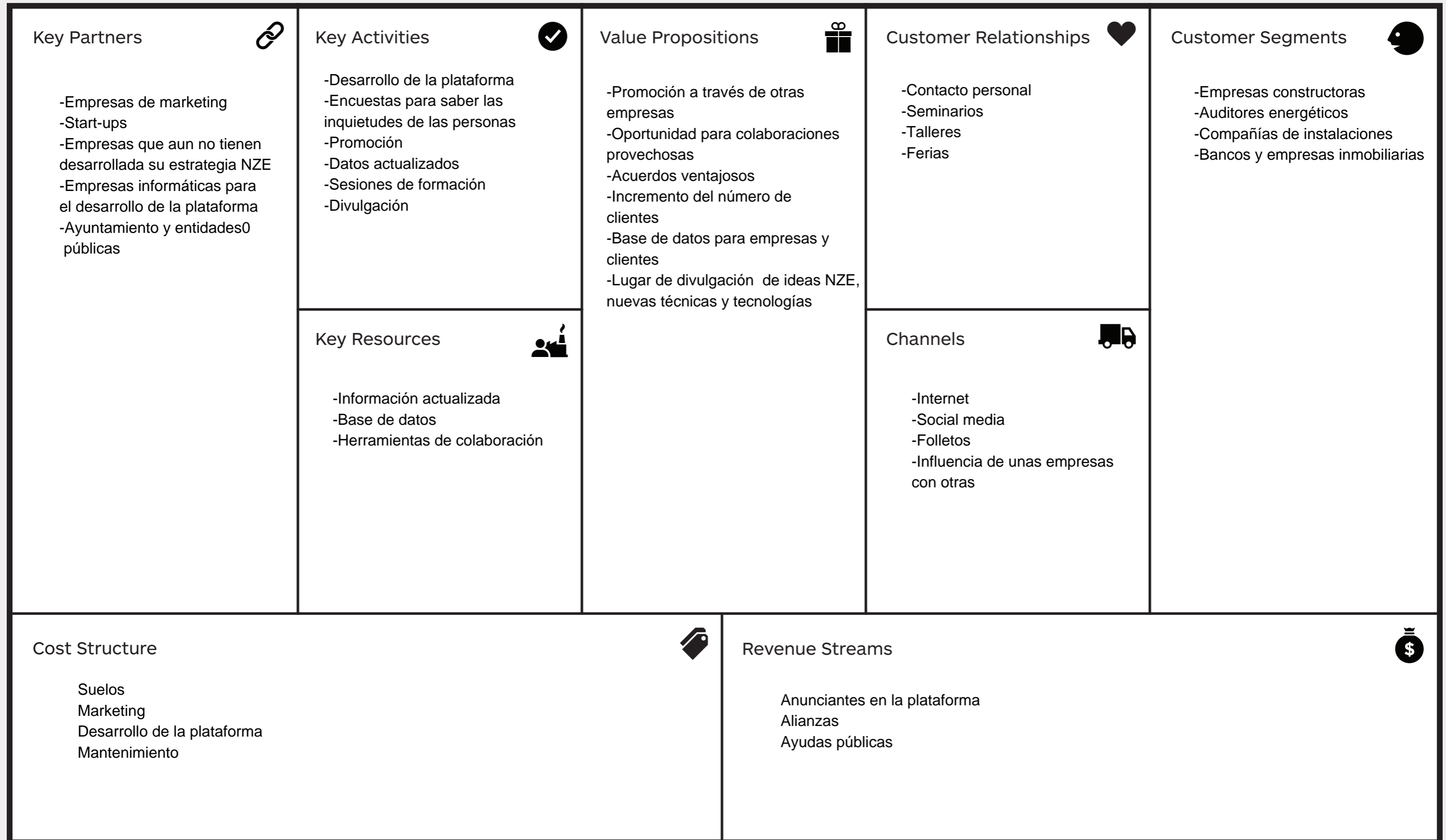
# The Business Model Canvas

Designed for: TFG

Designed by: Raimon Calabuig Moreno

Date: 05/2017

Version:



This work is licensed under the Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0 Unported License. To view a copy of this license, visit: <http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/> or send a letter to Creative Commons, 171 Second Street, Suite 300, San Francisco, California, 94105, USA.