

Trabajo Fin de Grado  
Grado en Ingeniería de las Tecnologías Industriales

# **Diseño edificio autosuficiente energéticamente - Palacio de Viana**

Autor:

Carlos Cuerda del Valle

Tutores:

José Sánchez Ramos

Servando Álvarez Domínguez

Dpto. de Termotecnia

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2022

# Resumen

---

Durante el desarrollo de este Trabajo de Fin de Grado se realizará el diseño y estudio energéticos de la ampliación de un edificio singular situado en la ciudad de Córdoba. Para ello se hará un estudio y recopilación previos de edificios parecidos analizando las tecnologías y estrategias energéticas utilizadas.

Con la ayuda de un Software informático introduciremos la geometría del edificio, su localización, sus materiales...y se realizarán 4 simulaciones con diferentes propuestas de diseño e instalaciones de climatización. Los resultados obtenidos por el programa se analizarán y se irá mejorando el diseño para obtener así una gran calificación energética cumpliendo a la vez con el Código Técnico de la Edificación.

# Índice

---

<b>1</b>	<b>Introducción</b> .....	<b>15</b>
1.1.	<i>Objetivos del Proyecto</i> .....	15
<b>2</b>	<b>Estado del Arte</b> .....	<b>16</b>
2.1.	<i>Reto energético</i> .....	16
2.2.	<i>Contexto energético europeo</i> .....	17
2.3.	<i>Contexto energético español</i> .....	18
2.4.	<i>¿Qué es un NZEB según la literatura?</i> .....	20
2.5.	<i>Edificio Passivhaus</i> .....	21
2.5.1.	Principios esenciales.....	22
2.5.1.1.	Los aislamientos.....	22
2.5.1.2.	Las ventanas.....	22
2.5.1.3.	La hermeticidad.....	22
2.5.1.4.	La ventilación.....	22
2.5.1.5.	Los puentes térmicos.....	22
2.5.2.	Edificio Passivhaus vs Edificio ZNEB.....	23
2.5.2.1.	Enfoque de Energía Cero Neta.....	23
2.5.2.2.	Enfoque Passivhaus.....	23
2.6.	<i>Casos de éxito</i> .....	23
2.6.1.	Edificio “Milla Digital”, Zaragoza-Empresa Acciona (año 2010).....	24
2.6.1.1.	Reducción de la demanda.....	24
2.6.1.2.	Reducción del consumo.....	25
2.6.1.3.	Climatización.....	26
2.6.1.4.	Fuentes renovables y estrategias utilizadas.....	26
2.6.1.5.	Balance energético.....	27
2.6.2.	Edificio Enertic, San Sebastián (año 2014).....	27
2.6.2.1.	Estrategias pasivas.....	28
2.6.2.2.	Estrategias activas.....	28
<b>3</b>	<b>Evaluación de eficiencia energética en edificios</b> .....	<b>29</b>
3.1.	<i>Conceptos básicos</i> .....	29
3.2.	<i>Indicadores de la eficiencia energética</i> .....	29
3.3.	<i>Metodología</i> .....	30
3.4.	<i>Herramientas oficiales y Software elegido</i> .....	30
3.5.	<i>Tipos de edificios</i> .....	32
<b>4</b>	<b>Caso de estudio – Ampliación Palacio de Viana</b> .....	<b>32</b>
4.1.	<i>Resumen de la propuesta</i> .....	32
4.2.	<i>Emplazamiento</i> .....	33
4.3.	<i>Flujo de trabajo</i> .....	34
4.3.1.	Definimos el tipo de edificio a simular.....	34
4.3.2.	Creación de espacios e introducción de la geometría del edificio.....	34
4.3.3.	Emparejamiento de particiones interiores.....	37
4.3.4.	Definición de las características de espacios habitables.....	38
4.3.5.	Creación y simulación edificio de referencia, HE0 y HE1.....	38
4.4.	<i>Simulación 1</i> .....	39
4.4.1.	Introducción de variables.....	39
4.5.	<i>Simulación 2</i> .....	41
4.6.	<i>Simulación 2 mejorada</i> .....	44
4.7.	<i>Simulación 3</i> .....	45

<b>5</b>	<b>Resultados caso de estudio .....</b>	<b>48</b>
5.1.	<i>Simulación 1</i> .....	48
5.1.1	Cumplimiento HE0.....	48
5.1.2	Cumplimiento HE1.....	48
5.1.3	Cumplimiento HE4.....	49
5.1.4	Consumo de electricidad (Kwh/m <sup>2</sup> ).....	49
5.1.5	Consumo de gas natural (Kwh/m <sup>2</sup> ).....	50
5.1.6	Calificaciones energéticas.....	50
5.2.	<i>Simulación 2</i> .....	51
5.2.1.	Cumplimiento HE0.....	51
5.2.2.	Cumplimiento HE1 y HE4.....	51
5.2.3.	Consumo de electricidad (Kwh/m <sup>2</sup> ).....	51
5.3.	<i>Simulación 2 mejorada</i> .....	52
5.3.1.	Cumplimiento HE0.....	52
5.3.2.	Cumplimiento HE1.....	53
5.3.3.	Cumplimiento HE4.....	53
5.3.4.	Consumo de electricidad (Kwh/m <sup>2</sup> ).....	53
5.3.5.	Consumo de gas natural (Kwh/m <sup>2</sup> ).....	54
5.3.6.	Calificaciones energéticas.....	54
5.4.	<i>Simulación 3</i> .....	55
5.4.1.	Cumplimiento HE0.....	55
5.4.2.	Cumplimiento HE1 y HE4.....	56
5.4.3.	Calificaciones energéticas.....	56
<b>6</b>	<b>Conclusiones .....</b>	<b>57</b>
<b>7</b>	<b>Bibliografía .....</b>	<b>59</b>

# Índice de tablas

---

Tabla 1.	Demanda edificio Energetic .....	28
Tabla 2.	Resumen herramientas utilizadas en el caso de estudio .....	31
Tabla 3.	Superficies reales del edificio en m <sup>2</sup> .....	35
Tabla 4.	Características de los espacios habitables .....	40
Tabla 5.	Definición de la demanda de ACS .....	41
Tabla 6.	Características de los espacios habitables .....	42
Tabla 7.	Definición de la demanda de ACS .....	45
Tabla 8.	Comparación puentes térmicos .....	45
Tabla 9.	Cumplimiento HE0 (Simulación 1) .....	48
Tabla 10.	Cumplimiento HE1 (Simulación 1) .....	48
Tabla 11.	Cumplimiento HE4 (Simulación 1) .....	49
Tabla 12.	Consumo electricidad (Simulación 1) .....	49
Tabla 13.	Consumo gas natural (Simulación 1) .....	50
Tabla 14.	Calificaciones energéticas (Simulación 1) .....	50
Tabla 15.	Cumplimiento HE0 (Simulación 2) .....	51
Tabla 16.	Cumplimiento HE1 y HE4 (Simulación 2) .....	51
Tabla 17.	Consumo electricidad (Simulación 2) .....	51
Tabla 18.	Cumplimiento HE0 (Simulación 2 mejorada) .....	52
Tabla 19.	Cumplimiento HE1 (Simulación 2 mejorada) .....	53
Tabla 20.	Cumplimiento HE4 (Simulación 2 mejorada) .....	53
Tabla 21.	Consumo electricidad (Simulación 2 mejorada) .....	53
Tabla 22.	Consumo gas natural (Simulación 2 mejorada) .....	54
Tabla 23.	Calificaciones energéticas (Simulación 2 mejorada) .....	54
Tabla 24.	Cumplimiento HE0 (Simulación 3) .....	55
Tabla 25.	Cumplimiento HE1 y HE4 (Simulación 3) .....	56
Tabla 26.	Calificaciones energéticas (Simulación 3) .....	56
Tabla 27.	Resumen cumplimiento del HE0 .....	57

# Índice de figuras

---

Figura 1.	Cambios en la superficie construida, la población, el uso de energía del sector de los edificios y las emisiones relacionadas con la energía a nivel mundial, 2010-2018.....	16
Figura 2.	Demanda de energía primaria en la UE.....	18
Figura 3.	Evolución del consumo de energía primaria en España por fuentes energéticas (2000-2018).....	19
Figura 4.	Consumo de energía final en España por sectores (2000-2018).....	19
Figura 5.	Estructura sectorial del consumo de energía final en España en 2018.....	20
Figura 6.	Años clave para edificios de consumo casi nulo .....	21
Figura 7.	Reparto energético promedio de un edificio en operación diferenciando edificio de oficinas y edificio unifamiliar o multifamiliar .....	24
Figura 8.	Reducción de la demanda edificio “Milla Digital” .....	25
Figura 9.	Climatización invierno y verano .....	26
Figura 10.	Balance energético .....	27
Figura 11.	Gráfica consumos (Simulación 1).....	50
Figura 12.	Gráfica consumos (Simulación 2 mejorada) .....	55
Figura 13.	Gráfica consumos (Simulación 3).....	56

# Índice de imágenes

---

Imagen 1.	Edificio Energetic.....	27
Imagen 2.	Emplazamiento Palacio de Viana.....	33
Imagen 3.	Definición del caso y tipo de edificio .....	34
Imagen 4.	3D del edificio en Sketchup. ....	35
Imagen 5.	Puentes térmicos para introducir en SG Save.....	37
Imagen 6.	Instalación VRV .....	43
Imagen 7.	Geolocalización del proyecto .....	44
Imagen 8.	Definición ventilación de doble flujo .....	46
Imagen 9.	Instalación con recuperador de calor de doble flujo y resistencia eléctrica .....	47
Imagen 10.	Etiqueta energética 1 para el sistema VRV elegido.....	58
Imagen 11.	Etiqueta energética 2 para el sistema VRV elegido.....	58

# 1 INTRODUCCIÓN

---

Estuve pensando varias semanas una propuesta que me pareciera interesante para realizar mi TFG, quería plantearlo sobre un tema actual de interés que tuviese futuro y posibilidad de desarrollo. Estuve pensado en temas relacionados con hidrógeno, receptores solares, gestión y almacenamiento de energía... Finalmente, se me ocurrió la idea de plantear un edificio “Zero Emissions” autosuficiente energéticamente.

Mi idea inicial era trabajar sobre un edificio singular para que el TFG no fuera tan abstracto; se me ocurrió entonces la idea de apoyarme en mi hermana. Mi hermana estudia 4º de arquitectura en la US y en una asignatura de proyectos trabajó sobre la ampliación de un edificio singular de Córdoba, el Palacio de Viana. Este edificio es uno de los más emblemáticos de la ciudad, está declarado bien de interés cultural y atrae muchos turistas todos los años.

Mi propuesta en este TFG es trabajar sobre esta ampliación del Palacio y diseñarla desde el punto de vista energético conjuntamente con el diseño arquitectónico, cuidando y analizando de manera rigurosa la eficiencia energética del nuevo edificio.

Se trata de un nuevo edificio que cuenta con una superficie total de 1.796,21 m<sup>2</sup>. distribuida en un sótano y dos plantas con diferentes espacios: salón de exposiciones, cafetería, despachos, salas de talleres, garaje, restaurante de lujo, biblioteca, patios... entre otras.

## 1.1. Objetivos del Proyecto

El objetivo de este TFG es analizar mediante un Software informático distintas posibilidades para el diseño energético de un edificio singular. Se pretende conseguir un edificio “Zero Emissions” y certificación energética tipo A.

Objetivos del proyecto:

- Analizar y maximizar la eficiencia energética del edificio.
- Análisis de las diferentes instalaciones aplicando los conceptos estudiados.
- Aprendizaje del software Open Studio.
- Modelado 3D del edificio.
- Instalaciones de climatización.
- Instalación de ACS.
- Estudio de la demanda energética.
- Implantación de energías renovables.

Queda fuera del alcance en este TFG el análisis energético del sótano (Garaje) del edificio.

## 2 ESTADO DEL ARTE

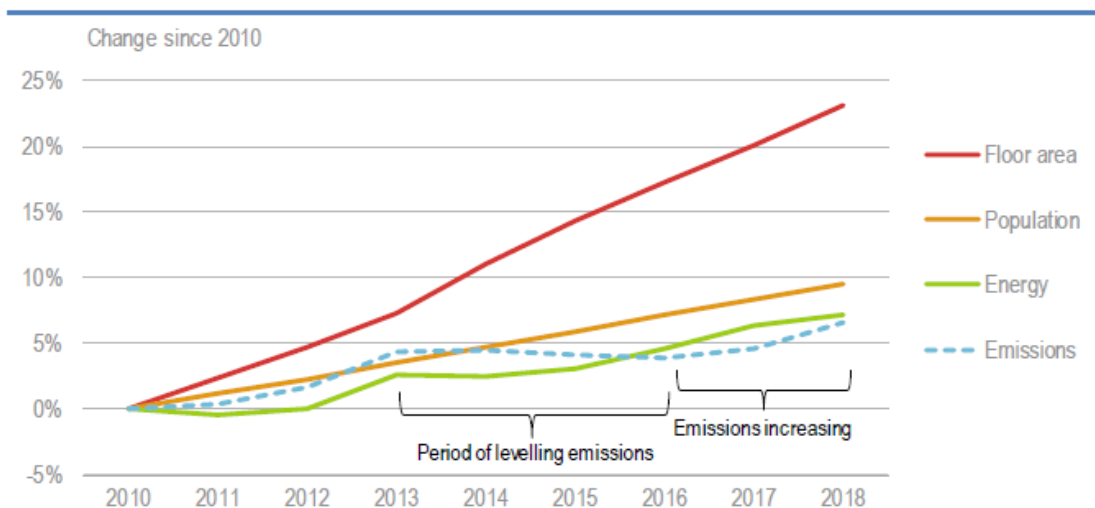
### 2.1. Reto energético

Actualmente la energía es algo prácticamente necesario para los seres humanos, cada vez más necesitamos cubrir nuestras funciones básicas con diferentes formas de energía, está directamente relacionada con la calidad de vida de las personas y es esencial para generar riqueza comercial, social y para producir confort personal y movilidad.

Pero su producción y consumo ejercen una presión considerable sobre el medio ambiente: emisiones de gases de efecto invernadero, agentes contaminantes atmosféricos, ocupación del suelo, generación de residuos y vertidos de hidrocarburos. Estas presiones contribuyen a acelerar el cambio climático, dañan los ecosistemas naturales, el medio ambiente y tienen efectos adversos para la salud humana.

En 2018, las emisiones globales de los edificios aumentaron un 2% por segundo año consecutivo para 9,7 gigatoneladas de dióxido de carbono (GtCO<sub>2</sub>), lo que sugiere un cambio en la tendencia de 2013 a 2016, cuando las emisiones se habían estabilizado. El crecimiento fue impulsado por un aumento de la superficie construida y el crecimiento demográfico, que llevaron a un aumento del 1% en el consumo de energía global a alrededor de 125 exajulios (EJ), o 36% del uso global de energía.

**Figura 1.** Cambios en la superficie construida, la población, el uso de energía del sector de los edificios y las emisiones relacionadas con la energía a nivel mundial, 2010-2018.



Fuente: IEA (2019a), World Energy Statistics and Balances 2019 y IEA (2019b) Energy Technology.



¿Se puede combatir esta tendencia y los diversos problemas expuestos anteriormente? Existen diversas propuestas y medidas que llevan muchos años estudiándose, en este Trabajo de Fin de Grado me centraré en una de ellas; se trata de la eficiencia energética en edificios.

## **2.2. Contexto energético europeo.**

La descarbonización del sector de la edificación y la construcción es fundamental para lograr el compromiso del Acuerdo de París y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de las Naciones Unidas (ONU). Estos sectores son responsables de casi el 40% de las emisiones relacionadas con la energía y los procesos. Tomar acciones climáticas sobre ellos es de esencial importancia.

Sin embargo, el informe de situación mundial publicado por la Alianza Global para los Edificios y la Construcción (Global ABC) en la COP25 en Madrid en diciembre de 2019 sobre edificios y la construcción nos dice que el sector no va por buen camino con el nivel de acción climática necesario, la inversión en eficiencia energética en el sector de la construcción se estabilizó en 2018 en lugar de mostrar el crecimiento necesario.

La demanda final de energía en los edificios en 2018 aumentó un 1% desde 2017 y un 7% desde 2010. Este informe junto con el de la Agencia Internacional de Energía (AIE) subrayan la necesidad de una acción urgente por parte de los responsables políticos y los inversores. Necesitamos revertir la tendencia y hacer un esfuerzo concertado para descarbonizar y mejorar la eficiencia energética en los edificios.

Esto significa cambiar a fuentes de energía renovables. Significa mejorar el diseño del edificio. Significa ser más eficiente en calefacción, refrigeración, ventilación, electrodomésticos y equipamiento. Significa utilizar soluciones y enfoques basados en la naturaleza que analicen los edificios dentro su ecosistema, la ciudad.

Según este informe el parque de edificios se duplicará para 2050 debido al crecimiento demográfico, lo que presenta otra importante oportunidad que no debe perderse. Al cumplir con el ODS 11 “lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles” debemos asegurarnos de promover soluciones e innovaciones limpias para hacer edificios a prueba de futuro.

En la Cumbre del Clima tanto los países como el sector privado se comprometieron a un sector de edificios sin emisiones de carbono, y el objetivo de movilizar 1 billón USD para el cumplimiento de París. Se estableció el aumento de inversiones en países en desarrollo para 2030. El cambio está en proceso.

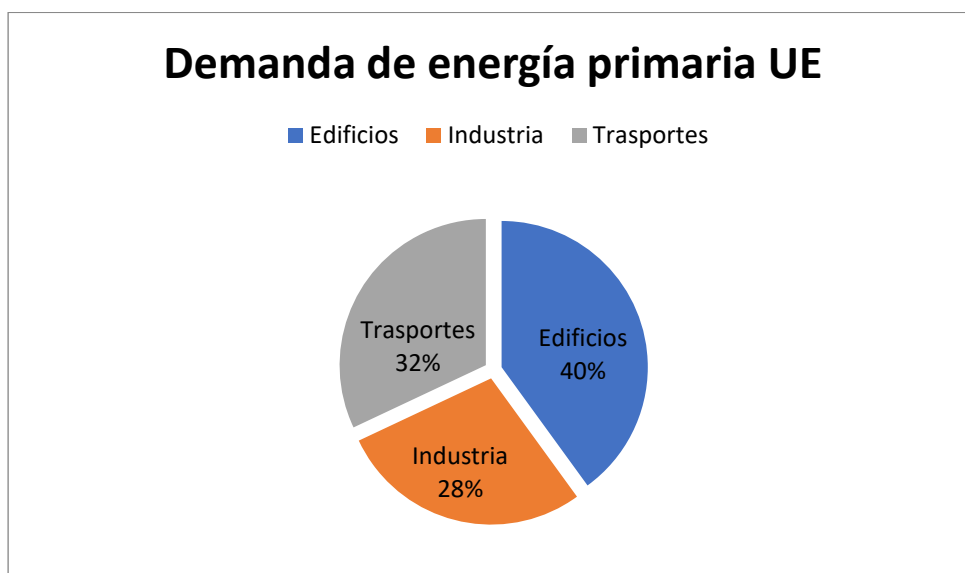
Este informe proporciona ejemplos de país, ciudad y acciones del sector privado, de cómo se está reformando el sector de la edificación y la construcción. A través de esta serie de informes de estado global, Europa está trabajando con expertos y formuladores de políticas en definir sus acciones para poner al sector en pista: urbanismo; nuevos edificios; modernizaciones para edificios existentes; operaciones de construcción; electrodomésticos, iluminación, cocina y sistemas; materiales; resiliencia de los edificios; y energía limpia. Estas hojas de ruta y acciones pueden luego adaptarse aún más a nivel nacional.

Según las estadísticas el 40% del consumo energético en Europa viene de los edificios. Esto ha llevado a la Comisión Europea a crear Directivas en Eficiencia Energética que obliguen a mejorar la eficiencia Energética de los edificios, introduciendo el concepto de NZEB o Edificio de Consumo Energético Casi Nulo.

Los edificios de la UE son responsables de:

- 40% de Demanda de Energía Primaria.
- 60% de su Demanda de Electricidad.
- 40% de Emisiones de CO<sub>2</sub>.
- 50% de Materias Primas Consumidas.
- 30% de Residuos
- 20% del Consumo de Agua Potable.

**Figura 2.** *Demanda de energía primaria en la UE.*



Fuente: United States Green Building Council

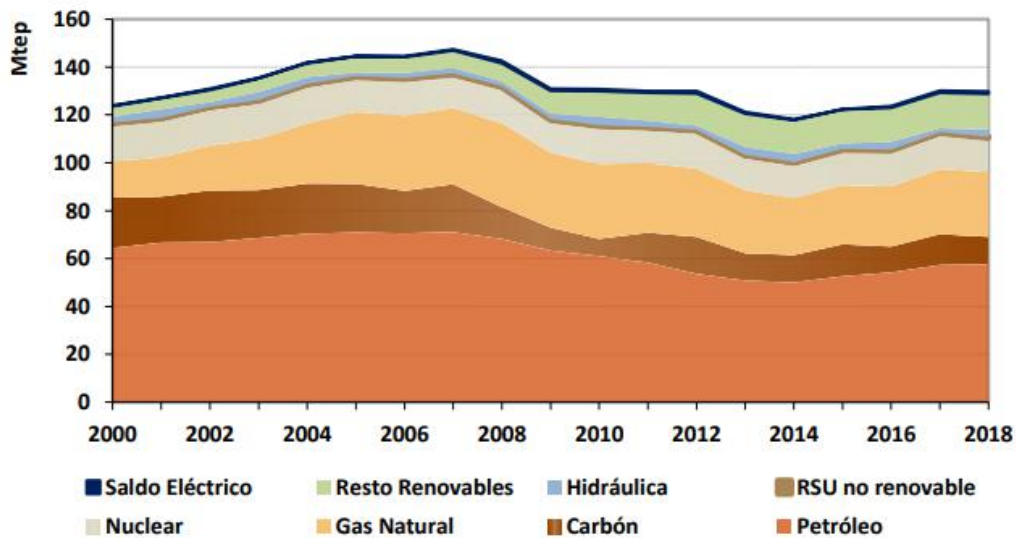
### 2.3. Contexto energético español

El cambio climático es un hecho, Europa lo sabe y España también, se trata de uno de los grandes retos de la actualidad, por ello el Congreso de los Diputados ha aprobado la Ley de Cambio Climático y Transición Energética (abril 2021). El objetivo de esta norma es ayudar a España a cumplir con sus compromisos internacionales en la lucha contra el cambio climático para alcanzar antes de 2050 la denominada "neutralidad climática" (que el país solo pueda emitir los gases de efecto invernadero que puedan ser absorbidos por los sumideros, por ejemplo, los bosques).

La eficiencia energética en edificios es uno de los mayores puntos de interés a nivel nacional, esta ley pretende servir para canalizar los fondos europeos del plan de recuperación también en materia de edificación y eficiencia energética. Estas son algunas de las medidas contempladas:

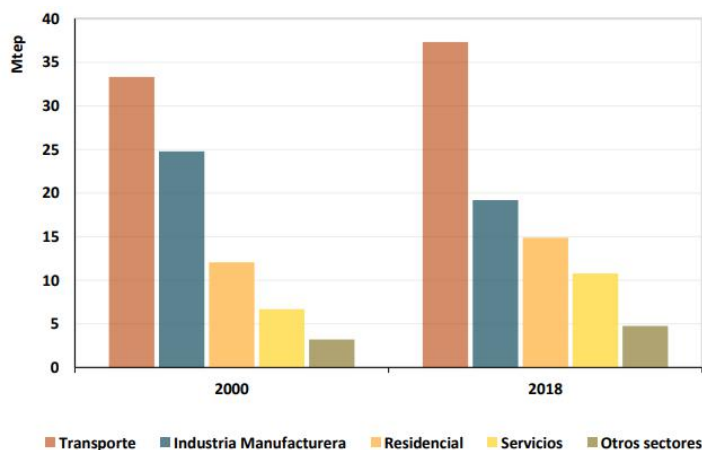
- Poner en marcha un plan de rehabilitación de viviendas y renovación urbana.
- Las Administraciones tendrán que aprobar incentivos para la “introducción de las energías renovables” para impulsar así el autoconsumo y la calefacción y refrigeración de cero emisiones. También se apuesta por el uso de materiales con la menor huella de carbono posible y por las mejoras en la accesibilidad.

**Figura 3. Evolución del consumo de energía primaria en España por fuentes energéticas (2000-2018)**



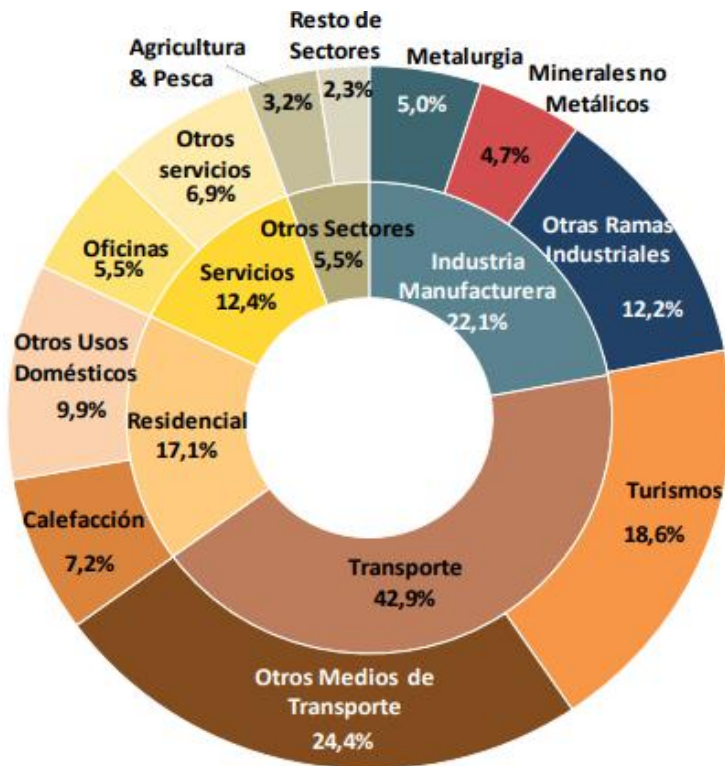
Fuente: IDAE

**Figura 4. Consumo de energía final en España por sectores (2000-2018)**



Fuente: IDAE

Figura 5. Estructura sectorial del consumo de energía final en España en 2018



Fuente: IDAE

Como se observa en el gráfico el consumo de energía final en España en el sector residencial es menor que en Europa, esto es debido a nuestro clima suave donde la demanda de calefacción es mucho menor que en el norte de Europa. Aun así, sigue siendo una parte muy importante y la tercera forma de consumo más importante en nuestro país por lo que debemos tenerla muy en cuenta.

## 2.4. ¿Qué es un NZEB según la literatura?

Con el fin de estimular aún más los edificios sostenibles y contribuir en la independencia energética de la UE, la Directiva de rendimiento energético de los edificios (EPBD, 2010/31 / EC) introdujo la definición de NZEB que significa literalmente “Nearly Zero Energy Buildings” o “Edificios de Consumo de Energía casi Nulo”. Se trata de “edificios con un rendimiento energético muy alto donde la cantidad de energía requerida es nula o casi nula y debe cubrirse ampliamente con fuentes renovables producidas en el sitio o en las cercanías” (Art 2).

La aplicación e implicación de esta Directiva tiene en el sector energético un enorme calado ya que transformará muchos de los procedimientos de diseño, construcción y gestión hacia una mayor eficiencia energética en los edificios y las ciudades. Estos cambios implicarán tanto a los ingenieros, arquitectos como al resto de agentes (promotoras, constructoras, fabricantes de materiales, sistemas y equipos) que tendrán que adaptarse para cumplir las exigencias normativas que se prevén según el calendario marcado por las Directivas Europeas que se muestra en la Figura 6.

**Figura 6. Años clave para edificios de consumo casi nulo**



Fuente: BPIE

- Como se observa en la imagen a partir de enero de 2019 todos los edificios públicos deberían ser NZEB y a partir de enero de 2021 el resto de los edificios, todas las construcciones deben alcanzar el objetivo NZEB definido a nivel nacional.
- Actualmente todos los países están trabajando en las definiciones y en los documentos normativos nacionales. Para ello hay diferentes enfoques, en algunos países se está proponiendo un endurecimiento progresivo de los requerimientos energéticos normativos de todos los edificios para alcanzar unos requerimientos de consumo de energía casi nula en todos los edificios. En otros países, se ha decidido implementar inicialmente la definición de NZEB en algunas tipologías, para posteriormente adaptarla al resto.
- El debate en torno a la definición de NZEB cruza las fronteras de la UE e involucra a la comunidad técnica y científica internacional. Se utiliza una gran variedad de términos, otros comúnmente utilizados en lugar de NZEB podrían ser:
  - Edificio de Energía Cero (ZEB)
  - Edificio de Energía Cero Neta (ZNEB)
  - Edificio de Carbono Cero (ZCB)

La mayoría de ellos se utilizan más o menos de forma similar a los edificios de energía casi nula, sin embargo, algunos de ellos pueden ser ligeramente más difíciles de definir.

## 2.5. Edificio Passivhaus

El término Passivhaus proviene del alemán y significa “casa pasiva”. Es un estándar de construcción nacido en Alemania en 1991 que se ha ido extendiendo por el resto del mundo. Combina un elevado confort interior con un consumo de energía muy bajo y un precio asequible, gracias al máximo cuidado de la envolvente del edificio y a un sistema de ventilación controlada. Se centra en conseguir la máxima eficiencia energética.

Se trata de un tipo de vivienda creada para mantener las condiciones atmosféricas ideales en su interior logrando un ahorro energético que oscila entre el 70% y el 90% respecto a una vivienda convencional. Son construcciones que deben contar con un aislamiento térmico óptimo en sus paredes exteriores, rotura del puente térmico (que evita que la cara interior y exterior de una ventana tengan contacto entre

sí para eliminar la pérdida de calor), ventilación mecánica con recuperación de calor y ventanas y puertas de altas prestaciones.

La certificación Passivhaus de un edificio exige cumplir determinados valores que están regulados y determinados mediante métodos para su comprobación, no exige soluciones o tipologías constructivas concretas, se trata de un diseño abierto. Para obtener el certificado Passivhaus, se debe cumplir:

- Calefacción menor de 15kW/m<sup>2</sup> año.
- Refrigeración menor de 15kW/m<sup>2</sup> año.
- Energía primaria menor de 120kW/m<sup>2</sup> año. Engloba todos los elementos calefacción, refrigeración, ACS, iluminación, electricidad auxiliar de equipos. Se refiere a la no renovable.
- Hermeticidad menor de 0,6 ren/hora (con diferencia de presión de 50 Pa entre interior y exterior)

## **2.5.1. Principios esenciales**

### **2.5.1.1. Los aislamientos**

Aumentar el espesor de los aislamientos reduce las pérdidas de calor en invierno, las ganancias de calor en verano y la demanda de energía para climatizar los edificios.

### **2.5.1.2. Las ventanas**

Las zonas más débiles de la envolvente son las ventanas. Por ello, es fundamental contar con carpinterías y vidrios de muy alta calidad con el fin de limitar al máximo la fuga de energía a través de ellas. Uso vidrios triples bajo emisivos con gases nobles. (U entre 0,6 y 1,2 W/m<sup>2</sup>K)

### **2.5.1.3. La hermeticidad**

En los edificios convencionales el aire que se requiere en las estancias proviene de las infiltraciones que se producen a través de los encuentros de los elementos constructivos, a través de las ventanas y puertas o a través del paso de las instalaciones. En las casas pasivas esta entrada de aire se produce de una forma controlada lo que permite acondicionarlo de tal forma que el aporte se realiza en perfectas condiciones higiénicas, de temperatura y humedad.

### **2.5.1.4. La ventilación**

La ventilación mecánica controlada con recuperación de calor es un sistema formado por dos circuitos: uno de entrada de aire fresco exterior y otro de salida de aire viciado interior. Ambos comparten un elemento común, el recuperador, en el que se aprovecha en más de un 80% el calor que transporta el aire viciado antes de ser expulsado y se transfiere al aire fresco exterior que, previamente filtrado, se atempera y se revierte a las estancias.

### **2.5.1.5. Los puentes térmicos**

Un puente térmico se comporta en un edificio como un agujero en un cubo de agua: aumenta el flujo de calor entre el interior y el exterior del mismo modo en que el agua se derrama a través del agujero del cubo. En los edificios pasivos se controla de forma rigurosa la eliminación de los puentes térmicos.

## **2.5.2. Edificio Passivhaus vs Edificio ZNEB**

Los edificios Passivhaus y los edificios de Energía Cero Neta tienen mucho en común. Si bien los diseñadores de Passivhaus se contentan con lograr un presupuesto de energía muy bajo, los diseñadores de viviendas con Energía Cero Neta incluyen una matriz fotovoltaica para producir suficiente electricidad que equilibre el uso anual de energía de la casa.

### **2.5.2.1. Enfoque de Energía Cero Neta**

El mejor aspecto del enfoque de Energía Cero Neta es el hecho de que, para equilibrar las cargas de energía con la producción de energía, los diseñadores se ven obligados a evaluar la rentabilidad de cada medida de eficiencia energética y compararla con el costo de una energía fotovoltaica.

Una vez que se haya diseñado un buen armazón, cada mejora incremental aumenta el costo de construcción, pero ahorra cada vez menos energía. A medida que el aislamiento es más grueso o las capas adicionales de acristalamiento comienzan a costar más que la fotovoltaica, es hora de cuestionar la lógica de la inversión, es decir, si disponemos de una matriz fotovoltaica en el techo, no tiene mucho sentido invertir en mejoras de aislamiento a menos que la inversión produzca más ahorros de kWh que una matriz fotovoltaica. Se trata de un problema de optimización.

### **2.5.2.2. Enfoque Passivhaus**

El enfoque Passivhaus destaca en no asumir que la producción de electricidad se realiza mejor en un techo residencial. De hecho, generar electricidad en techos residenciales tiene a veces inconvenientes como:

- Los techos residenciales suelen estar sombreados por árboles o edificios vecinos.
- Muchos techos residenciales no tienen la inclinación u orientación óptimas para una matriz fotovoltaica.
- Una matriz fotovoltaica en la azotea complica enormemente la renovación del techo.
- La mayoría de los propietarios no quieren ser responsables del mantenimiento y reparación de los equipos de generación de energía.
- El costo de los créditos fiscales y los subsidios que se distribuyen a los propietarios de viviendas que instalan paneles fotovoltaicos aumenta la carga fiscal.
- Se plantean inversiones en mejoras de envolvente que cuestan considerablemente más que la fotovoltaica. Su principal argumento: si bien los módulos fotovoltaicos pueden desgastarse en 30 o 40 años, y pueden requerir mantenimiento o reparaciones en el camino, es probable que el aislamiento dure mucho más y prácticamente no requiera mantenimiento.

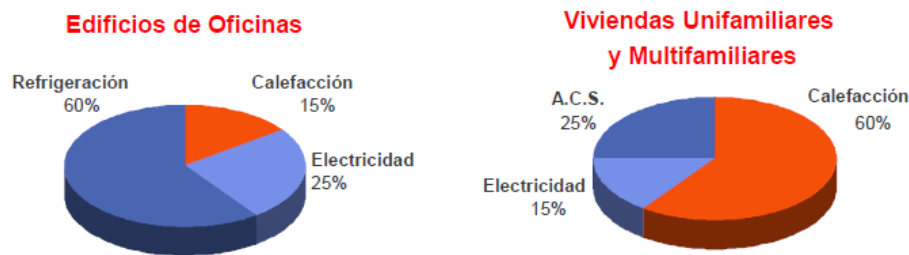
Ambos enfoques resultan muy interesantes y pueden llegar a ser complementarios dependiendo del edificio de estudio en cuestión, sus dimensiones, su uso privado o público, según la legislación del país pertinente, etc.

## **2.6. Casos de éxito**

Los casos de éxito se tratan de edificios con una alta eficiencia energética, donde se consigue reducir la demanda y producir energía de forma renovable. Para conseguirlo es necesario realizar un estudio del

reparto energético de nuestro edificio e identificar los diferentes puntos de consumo. En la Figura 7 se puede observar el reparto energético promedio de un edificio en operación diferenciando edificio de oficinas y edificio unifamiliar o multifamiliar.

**Figura 7. Reparto energético promedio de un edificio en operación diferenciando edificio de oficinas y edificio unifamiliar o multifamiliar**



Fuente: DENA (Agencia de Energía de Alemania)

Vemos que gran parte del consumo energético proviene de la climatización, tanto refrigeración como calefacción. Este reparto tendrá que estudiarse de forma minuciosa en cada proyecto.

### 2.6.1. Edificio "Milla Digital", Zaragoza-Empresa Acciona (año 2010).

#### 2.6.1.1. Reducción de la demanda

##### Arquitectura pasiva

- Orientación.
- Factor de Forma: edificio compacto.
- Doble piel.
- Huecos y aberturas.
- Atrio.
- Luz natural en todos los espacios.
- Muros y losas de hormigón.
- Aislamiento térmico en cara exterior: inercia térmica al interior de edificio
- Termoarcilla: amortiguación de la onda térmica
- Optimización espesor aislamiento.
- Elección óptima del vidrio según orientaciones ( $U=2,8$ ;  $g=0,35$ )

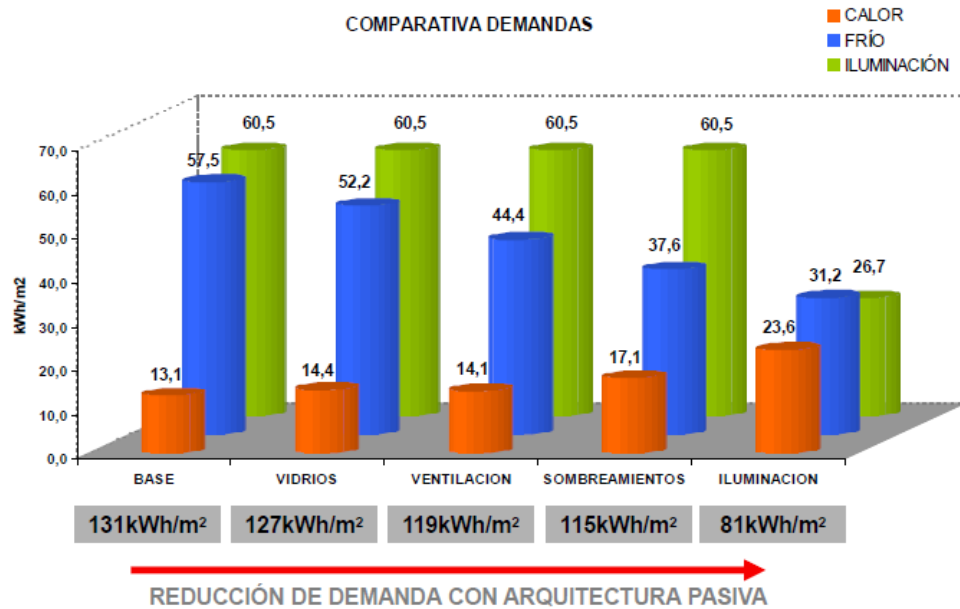
##### Iluminación

- Iluminación natural (sistema tipo DALI).
- LEDs. Menos ganancias internas.
- Sistema domótico programado.



Aplicando estas estrategias han conseguido reducir significativamente la demanda del edificio situado en Zaragoza, pasando de tener una demanda de 131 kWh/m<sup>2</sup> a 81 kWh/m<sup>2</sup> como se ve en la Figura 8.

**Figura 8. Reducción de la demanda edificio "Milla Digital"**



Fuente: Acciona Energía.

### 2.6.1.2. Reducción del consumo

#### Climatización

- Suelo radiante y difusores de desplazamiento.
- Sistema de baja velocidad y caudal variable.
- Evitar el diseño sobredimensionado en las instalaciones. Validación del diseño mediante simulación dinámica. Variadores de velocidad.
- Máxima sectorización de equipos a climatizar.
- Regulación en función de condiciones climatológicas.

#### Iluminación

- Detectores de presencia y reguladores de iluminación.
- Tecnología LED.

#### Control

- Regulación y control de todos los sistemas activos del edificio.
- Monitorización y control remoto.

### 2.6.1.3. Climatización

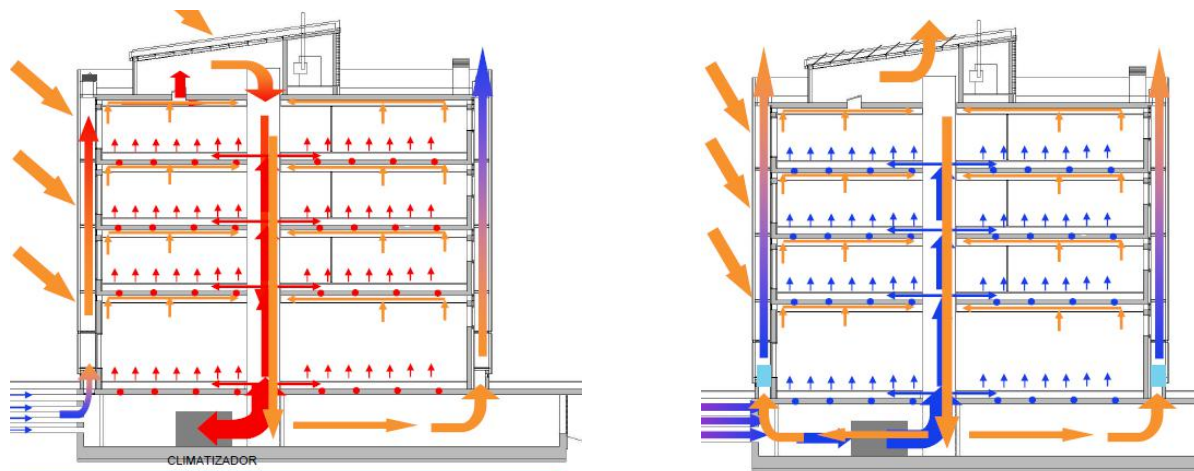
#### Invierno

- Se utiliza un sistema de precalentamiento del aire mediante geotermia y radiación solar.
- Existen diferentes tipos de climatización del aire: mediante un sistema convencional de aire, por suelo radiante (biodiesel) y por aire expulsado.
- El aire de expulsión se utiliza para calentar el aire en el intercambiador y la cara norte evita condensaciones y sirve de barrera térmica

#### Verano

- Se utiliza un sistema de preenfriamiento del aire de entrada mediante geotermia.
- Dos mecanismos de climatización de aire: sistema todo aire y suelo refrescante (agua de pozo bomba de calor).
- Enfriamiento adiabático.
- Nebulización agua retorno
- Enfriamiento de fachada por calor latente del aire.
- Gradiente aire exterior que favorece la ventilación

**Figura 9. Climatización invierno y verano**



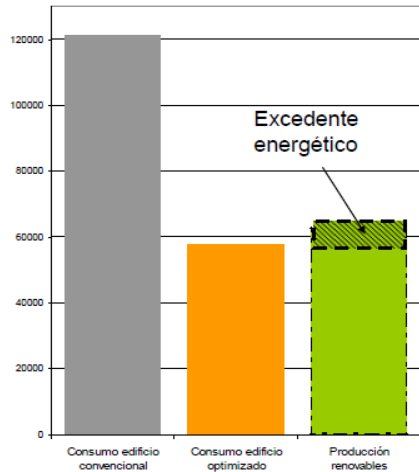
Fuente: Acciona Energía

### 2.6.1.4. Fuentes renovables y estrategias utilizadas

- Geotermia tierra-aire.
- Geotermia tierra-agua.
- Caldera de biodiésel auxiliar para garantizar la demanda de energía térmica.
- Energía solar fotovoltaica en cubierta y fachada.
- Energía minieólica para generación de electricidad.

### 2.6.1.5. Balance energético

**Figura 10. Balance energético**



Gracias a las medidas adoptadas este edificio cuenta con un balance energético positivo (con excedente de energía), cosa que no ocurriría si fuera un edificio convencional.

Fuente: Acciona Energía

### 2.6.2. Edificio Enertic, San Sebastián (año 2014)

Se trata del primer edificio “Cero Emisiones” en San Sebastián, País Vasco (España) inaugurado en junio de 2014 con el claro objetivo de crear un icono contemporáneo que mediante su imagen y uso fomente la reacción/renovación que pide su entorno hacia las “Smart City”.

Enertic es un edificio de calificación energética A y próximo a emisiones 0, integra desde su diseño y construcción principios bioclimáticos, tanto en sí mismo, como en su entorno, a través de estrategias energéticas pasivas, utiliza energías renovables y fue diseñado de forma sostenible lo que hace que reduzca al máximo la demanda de energía.

**Imagen 1. Edificio Enertic**



Fuente: Inarquía.

### 2.6.2.1. Estrategias pasivas

- Relación forma-volumen del edificio con un diseño compacto que reduce la superficie en contacto con el exterior y limita pérdidas energéticas.
- Orientación Norte-Sur que favorece la reducción de la demanda energética del edificio y la mejora de la iluminación natural y la captación solar.
- Gran aislamiento e inercia térmica utilizando capas de hormigón en fachadas.
- Jardín vertical en la fachada sur que actúa como regulador térmico del edificio y cubierta vegetal que compensa las emisiones de CO<sup>2</sup> y actúa como regulador térmico evitando el sobrecalentamiento en verano y protegiendo del enfriamiento en invierno, a la vez que favorece la integración natural.
- Ventilación e iluminación natural por patios interiores y atrio.

### 2.6.2.2. Estrategias activas

Las estrategias activas utilizadas en el diseño de este edificio se diseñaron para cubrir la siguiente demanda mostrada en la Tabla 1.

**Tabla 1. Demanda edificio Energetic**

	Calefacción	Refrigeración	ACS	Iluminación
Demanda	Baja	Alta	Baja	Electricidad

Fuente: Inarquía

Se opta para la calefacción, refrigeración y ACS por una combinación de bomba de calor agua/agua por geotermia con un apoyo de bomba de calor aire/agua para momentos de picos de consumo. Las sondas para la geotermia se instalan bajo el aparcamiento exterior del edificio. La climatización se realiza mediante fancoils en oficinas y unidades de tratamiento de aire primarias con recuperación y enfriamiento gratuito en exterior (UTA).

Producción de electricidad mediante paneles solares fotovoltaicos situados sobre las plataformas de aparcamiento frente al edificio y en la colina tras el mismo y mediante microturbinas eólicas en cubierta. Siempre que toda la energía producida se consuma, las instalaciones pueden llegar hasta un 90% de rendimiento cubriendo prácticamente la totalidad de la demanda.

El centro también cuenta con un pequeño motor de cogeneración, además de otras estrategias añadidas al edificio o a su entorno: uso de materiales de bajo impacto ambiental, depuración de aguas residuales, reutilización de aguas pluviales en riego y WC. En la planta baja del edificio está instalada la Micro-red energética i-Sare, que trabaja las áreas de generación, almacenamiento y consumo energético. Actualmente i-Sare está funcionando en modo isla, con posibilidad de conexión al edificio en el futuro.

# 3 EVALUACIÓN DE EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EDIFICIOS

---

## 3.1. Conceptos básicos

Según la legislación europea, un certificado de la eficiencia energética de un edificio es un «certificado reconocido por un Estado miembro, o por una persona jurídica designada por este, en el que se indica la eficiencia energética de un edificio o unidad de este, calculada con arreglo a una metodología».

Es importante distinguir, en primer lugar, los términos calificación, certificación y certificado energéticos.

Empezando por el final, el certificado es un documento, suscrito por un técnico competente y que contiene tanto información sobre las características energéticas del edificio o unidad del edificio como su calificación energética.

La certificación es el proceso que conduce a la expedición del certificado.

Y la calificación es una medida de la eficiencia energética de un edificio o parte de él, que se mide mediante un método determinado y se expresa a través de una serie de indicadores energéticos. Esto da lugar a una nueva definición, la de la etiqueta que corresponde al distintivo de escala de letras y colores que se suele asociar con este proceso, y que en algunos edificios permanece a la vista del público.

## 3.2. Indicadores de la eficiencia energética

El consumo de energía se muestra con una serie de indicadores, índices y calificación con un código de letras y colores de la A a la G, y del verde al rojo (de más eficiente a menos eficiente). Con estos indicadores y a través de la escala de letras y colores se muestra de forma muy visual el comportamiento o la eficiencia energéticos del caso de estudio objeto de la certificación.

En un certificado energético vienen los dos indicadores principales, que son:

- **Emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), expresado en kgCO<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>año.**

Es la cantidad de CO<sub>2</sub> que emitimos a la atmósfera mediante nuestro consumo eléctrico. La electricidad consumida es generada a decenas o cientos de kilómetros en una central eléctrica que si quema combustibles fósiles expulsará una determinada cantidad de gases a la atmosfera y, por lo tanto, se puede asociar nuestro consumo eléctrico con unas determinadas emisiones de CO<sub>2</sub>. Se obtiene de la suma de las emisiones de CO<sub>2</sub> de calefacción, refrigeración y producción de agua caliente que a su vez se estiman a través del cálculo de la energía que en teoría es necesaria para climatizar toda la superficie útil y producir el agua caliente necesaria a lo largo de todo el año.

- **Consumo de energía primaria no renovable, expresado en kWh/m<sup>2</sup>año.**

Para entender correctamente este indicador debemos explicar en primer lugar qué es la energía final consumida. La energía final consumida es el consumo “que estamos acostumbrados a ver”,

por ejemplo, en una factura eléctrica; es decir, la cantidad de energía suministrada al edificio o unidad del edificio que ha sido empleada por un sistema técnico (ej. una caldera de gas) para atender una determinada demanda energética (elevar la temperatura interior hasta un nivel de confort). Con esta definición añadimos la de energía primaria, para suministrar una cantidad determinada de energía (final) al edificio, es necesario que, desde la fuente inicial o primaria que empleamos para obtenerla, esta sufra una serie de transformaciones, que dan lugar a pérdidas (estas las contabilizamos a través de los factores de paso). Por ejemplo, un m<sup>3</sup> de gas natural contiene una determinada cantidad de energía, pero al quemarlo para producir electricidad, gran parte de esa energía se pierde en forma de calor en la propia central eléctrica, y otra se pierde trasladándola y transformándola a la tensión con la que finalmente se suministra. Por tanto, suministrar una unidad energética requiere de una cantidad adicional de energía que se pierde en procesos intermedios. La energía primaria no renovable hace referencia, como su nombre indica, a aquella de origen fósil excluyendo las energías renovables (eólica, solar, hidráulica...).

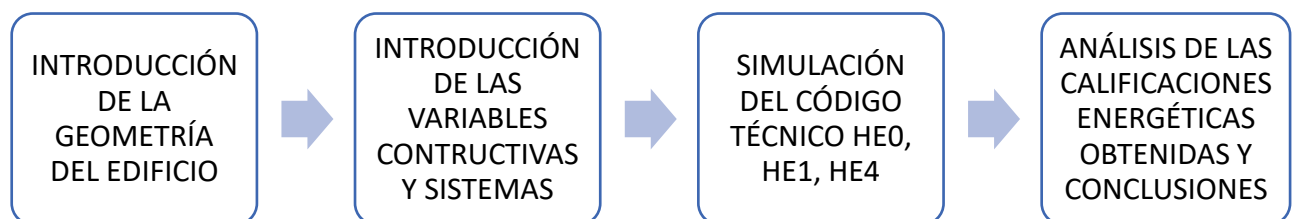
### 3.3. Metodología

Los técnicos tienen herramientas de cálculo que les permiten efectuar el certificado energético. A la hora de efectuar el certificado los técnicos valoran aspectos previos como el año de construcción del edificio, el tipo de inmueble, la ubicación geográfica del inmueble. Con estos datos previos, los programas de certificación energética tienen en consideración las condiciones climáticas del lugar en cuestión, sumado a las bases de datos que llevan incorporadas.

Una vez hecho esto, se facilitan una serie de parámetros fruto de la medición durante la visita al inmueble y en base a la normativa. Estos parámetros analizan la envolvente térmica (cerramientos, muros exteriores, suelo, ventanas), datos de las instalaciones térmicas del edificio y medidas de mejora.

Respecto a las condiciones de ocupación del edificio o unidad, no se tiene en consideración la realidad de las mismas. Los programas realizan el cálculo con unas condiciones de uso preestablecidas, de modo que los edificios sean comparables entre sí independientemente de quien los utilice.

La metodología que se llevará a cabo en los siguientes apartados será la siguiente:



### 3.4. Herramientas oficiales y Software elegido

Las herramientas informáticas o documentos técnicos que han sido reconocidos por el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico que pueden servir de apoyo al proceso de certificación energética de edificios en proyecto, terminados y existentes son:

- Herramienta Unificada

- SG SAVE
- CYPETHERM HE Plus
- CE3X

En este Trabajo de Fin de Grado se utilizará la herramienta **SG SAVE** para realizar la certificación de la Ampliación del Palacio de Viana. Este software es, desde el 5 de julio de 2018, documento reconocido para la certificación energética de edificios. Además, incorpora todas las condiciones de cálculo establecidas en la normativa española: archivos meteorológicos, perfiles de uso, edificio de referencia...Permite la verificación del DB HE0 y DB HE1 del Código Técnico de la Edificación.

Cualquier programa de simulación computacional debe disponer de una interfaz adecuada que permita introducir la geometría del edificio de la forma más sencilla posible y reflejando la realidad al mismo tiempo. SG SAVE utiliza como interfaz para introducir la geometría del edificio SketchUp, un programa informático de diseño y modelaje en 3D para entornos arquitectónicos, ingenieriles, diseño industrial, etc., inicialmente desarrollado y publicado por Google. Esta herramienta permite crear volúmenes y formas arquitectónicas de forma rápida y sencilla. Además, los edificios creados pueden ser geolocalizados a través de Google Earth.

SG SAVE utiliza como motor de cálculo EnergyPlus. En la actualidad, EnergyPlus es el programa de simulación térmica en edificios más avanzado que existe, ha sido desarrollado por el DOE (Departamento de Energía de Estados Unidos) y con él se pueden hacer estudios de la demanda y el consumo energético en los edificios.

La forma de introducir los datos en EnergyPlus es muy compleja y poco intuitiva ya que no permite “dibujar” el edificio y tanto la geometría como el resto de los datos, es necesario introducirlos de forma “manual”. Por esta razón, el departamento de Energía de los Estados Unidos desarrolló OpenStudio que permite la introducción de los datos del edificio y de los sistemas de una forma más sencilla. Sin embargo, ambas herramientas tenían el problema de que no disponían de una interfaz que permitiera “dibujar” y definir el edificio en 3D y realizar los cálculos de forma directa. Por esta razón, se creó un plugin de OpenStudio que integrándose en SketchUp permite la completa modelación del edificio en 3D de forma directa. En este contexto, la utilización del Open Studio resulta especialmente atractiva, no sólo porque nos permite dar cumplimiento al trámite burocrático, sino porque además, nos permite un avanzado análisis del proyecto.

**Tabla 2. Resumen herramientas utilizadas en el caso de estudio**

<b>Open Studio</b>	Software de cálculo para análisis energético
<b>SG Save</b>	Plugin con la normativa española
<b>EnergyPlus</b>	Motor de cálculo del Software Open Studio
<b>Sketchup</b>	Plugin para modelado del edificio

Fuente: propia.

### 3.5. Tipos de edificios

Las herramientas informáticas oficiales demandan una serie de datos y parámetros en función del tipo de edificación a analizar ya que la normativa es diferente en cada caso, pueden clasificarse en tres categorías distintas:

1. Vivienda: por unidad residencial o por el edificio completo.
2. Pequeño terciario: pequeños y medianos locales (superficie menor de 1.3000 m<sup>2</sup>)
3. Gran terciario: son aquellos inmuebles que son destinados a una o varias actividades económicas, cuya finalidad es la prestación de servicios al público, a las empresas y a los organismos (superficie mayor de 1300 m<sup>2</sup>). Existen dos tipos.
  - Naves industriales
  - Edificios de gran tamaño (hoteles, complejos de oficinas, centros comerciales...)

Nuestro caso de estudio se tratará, por tanto, de un edificio gran terciario.

## 4 CASO DE ESTUDIO – AMPLIACIÓN PALACIO DE VIANA

---

### 4.1. Resumen de la propuesta

El caso de estudio de este Trabajo de Fin de Grado se centrará en el análisis y certificación energética de la ampliación del solar adyacente del actual Palacio de Viana. Este diseño tendrá en cuenta el pasado histórico del Palacio, la ciudad y su relación con el entorno y la vegetación.

Se pretende impulsar y conectar este barrio de Santa Marina (Córdoba) con la parte más turística de la ciudad Mezquita-Catedral y su entorno monumental. Por ello debe contener una parte de actividades que generen riqueza en este sector urbano, diversificando funciones y diseñando un centro complementario del Palacio de Viana que conlleve un cierto equilibrio.

Arquitectónicamente se propone construir un edificio moderno, un nuevo reclamo turístico en el que cobre gran importancia el medio ambiente y el aire libre, por ello se plantea un patio de grandes dimensiones en el que se distribuyen diferentes usos. En esta idea de relación con el medio ambiente entra en juego el diseño ingenieril y mi propuesta de conseguir un edificio sostenible y autosuficiente “Zero Emissions”.

La ampliación arquitectónica realizada por Isabel Cuerda y Alejandra Vacas (4º Arquitectura) cuenta con sótano, planta primera, planta segunda y cubierta (parte de ella transitable). En ella podemos diferenciar tres zonas principales:

- Zona principal (Solar adyacente)



- Zona de restauración (Casa Morales nº2)
- Zona de administración (Antigua casa del guarda).

## 4.2. Emplazamiento

La ampliación se ubica junto al Palacio de los Marqueses de Viana, situado en el barrio de Santa Marina, Córdoba (Zona climática B4 según CTE HE), que pertenece a la parte oriental del conjunto histórico desarrollado durante la etapa musulmana, que es la Axerquía. Se levanta en un solar adyacente que no solo es colindante con el propio Palacio del Marqués de Viana, sino que da a dos calles: Morales y Zarco, que tiene una importante capacidad de activación de una zona deprimida dentro de la ciudad histórica.

En este ámbito se restaura una casa patio, en la calle Morales nº 2. También se incorpora a la propuesta la superficie de la antigua casa del guarda con nuevas funciones ya que actualmente nadie la habita. La superficie del solar actual es de 1.220,71 m<sup>2</sup>, mientras que la superficie en planta de la casa de calle Morales nº 2 es de 366,28 m<sup>2</sup> y la antigua casa del guarda es de 209,22 m<sup>2</sup>, lo que arroja un total de 1.796,21 m<sup>2</sup>.

**Imagen 2. Emplazamiento Palacio de Viana**



Fuente: propia

## 4.3. Flujo de trabajo

Para el análisis, simulación y certificación energética se seguirá la siguiente metodología en el Software Open Studio.

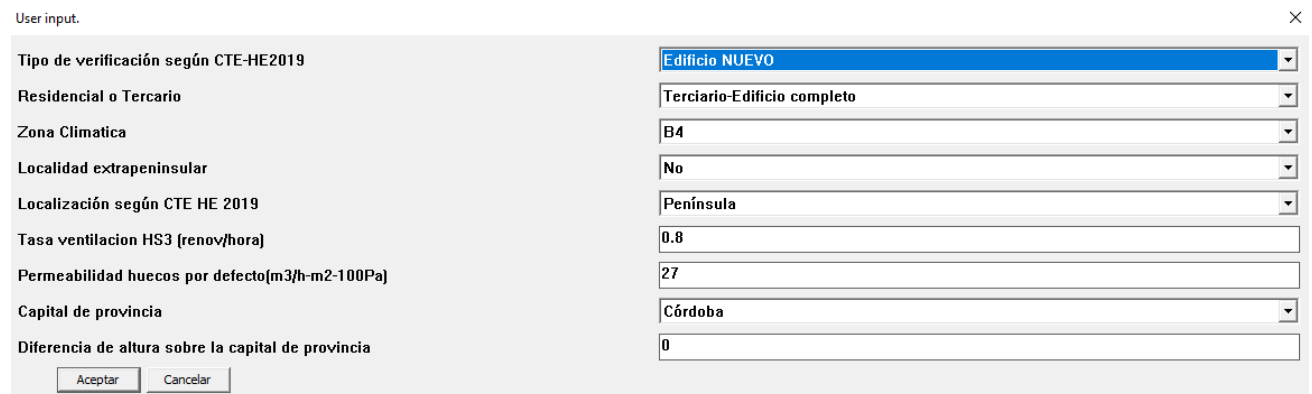
### 4.3.1. Definimos el tipo de edificio a simular.

En este primer apartado se introducirán datos básicos que no volverán a modificarse a lo largo de los diferentes estudios y simulaciones. Ejecutamos la opción:

#### Extensiones > SG Save > Definición del caso y tipo de edificio

- Edificio nuevo/existente.
- Tipo de edificio: (Vivienda, pequeño terciario, gran terciario).
- Zona climática: zona climática según el CTE-HE (se adjunta tabla en anexo).
- Tasa de ventilación: en edificios terciarios se empleará la tasa de 0.8 renovaciones/hora según el CTE HE.
- Permeabilidad de los huecos.

**Imagen 3.** Definición del caso y tipo de edificio



User input.

Tipo de verificación según CTE-HE2019	Edificio NUEVO
Residencial o Terciario	Terciario-Edificio completo
Zona Climática	B4
Localidad extrapeninsular	No
Localización según CTE HE 2019	Península
Tasa ventilacion HS3 [renov/hora]	0.8
Permeabilidad huecos por defecto(m3/h-m2-100Pa)	27
Capital de provincia	Córdoba
Diferencia de altura sobre la capital de provincia	0

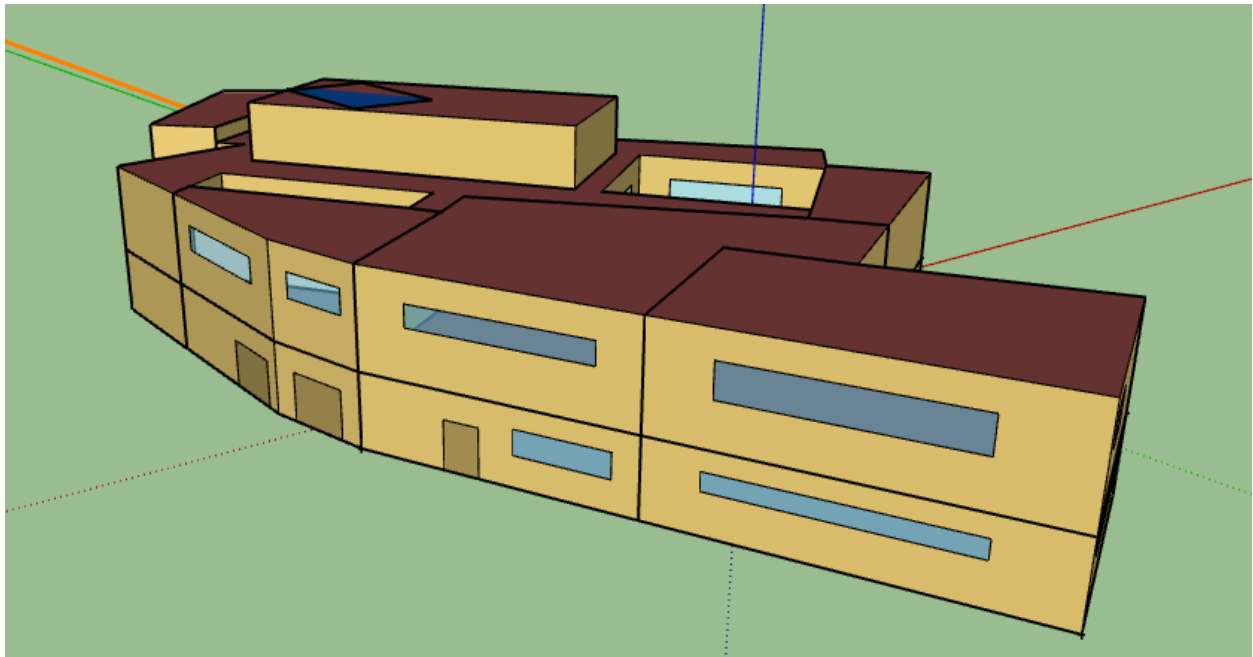
Aceptar Cancelar

Fuente: propia

### 4.3.2. Creación de espacios e introducción de la geometría del edificio

El edificio contempla diferentes espacios que se han introducido uno por uno a través de Sketchup. A la hora de introducirlos cabe destacar que, como todo software de simulación, debemos hacerlo de la manera más sencilla posible reflejando la realidad. Es decir, con el menor número de superficies aunque esto conlleve a una pequeña desviación del modelo arquitectónico real (en el motor de cálculo EnergyPlus una fachada dibujada con dos superficies tardaría el doble de tiempo en calcularse que la misma fachada con una única superficie).

**Imagen 4. 3D del edificio en Sketchup.**



Fuente: propia

En la Tabla 3 se pueden observar los distintos espacios que componen el nuevo edificio con su superficie correspondiente.

**Tabla 3. Superficies reales del edificio en m<sup>2</sup>**

SUPERFICIES PLANTA BAJA (m <sup>2</sup> )		SUPERFICIES PLANTA PRIMERA (m <sup>2</sup> )	
Hall 1	178,5	Hall 2	104
Cafetería	75	Biblioteca	145
Sala Convenciones	334	Sala de Exposiciones	136
Talleres	70	Zona Restauración 2	168,5
Zona Restauración 1	186,5	Zona Administrativa 2	148
Zona Administrativa 1	134		

Fuente: propia

Una vez creados los espacios con sus respectivos huecos pasaremos a introducir las propiedades de las carpinterías. Para ello usaremos el siguiente comando y tendremos las siguientes opciones:

**Extensiones > SG Save > Utilidades > Huecos > Introduce carpinterías y retranqueos**

- PVC 2 cámaras.
- PVC 3 cámaras.

- Madera.
- Aluminio.
- Aluminio con ruptura del puente térmico > 12 mm.
- Aluminio con ruptura del puente térmico < 12 mm.

Al introducir estas carpinterías, se introduce también un retranqueo de 20 cm.

Si se desea introducir otras carpinterías, será necesario abrir el inspector de Open Studio y modificar las propiedades de las carpinterías.

A continuación, hemos de introducir los puentes térmicos, uno de los parámetros más importantes. Un puente térmico es una zona puntual o lineal de la envolvente de un edificio en la cual se transmite más fácilmente el calor que en el resto de las zonas debido a una variación de la resistencia térmica. Se trata de un lugar en el que se rompe la superficie aislante.

Así pues, un puente térmico aparece debido a:

- Un cambio en la geometría de la envolvente.
- Un cambio de materiales o de resistencia térmica.

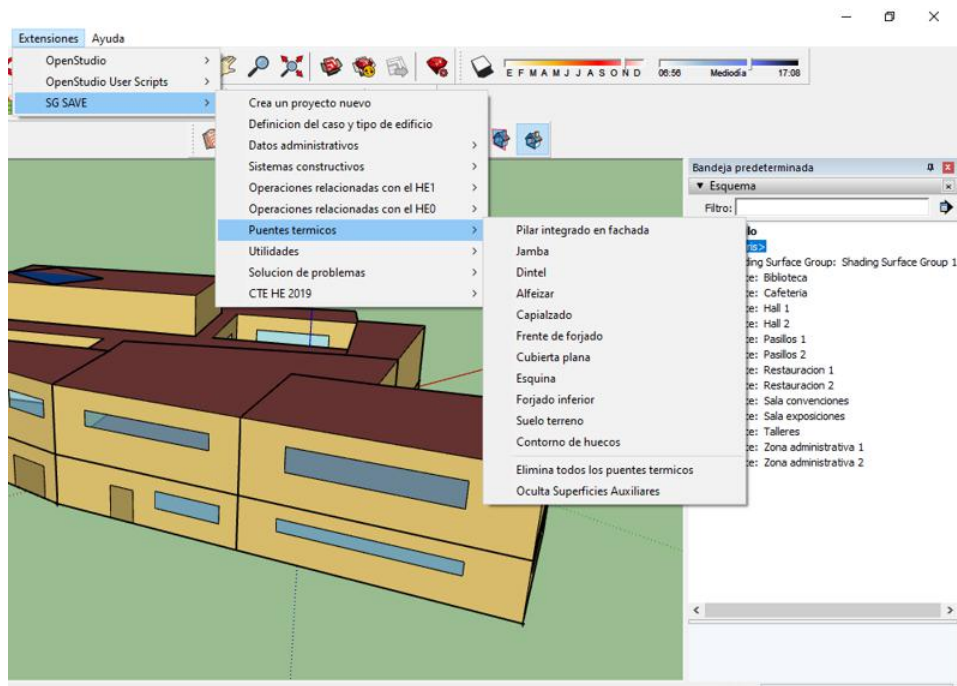
Antes de que se generalizase el aislamiento térmico de los edificios, los puentes representaban entre el 10 y el 20% de las pérdidas totales de calor por lo que debemos tenerlos muy en cuenta.

Los puentes térmicos en SG Save se tratan introduciendo en el modelo superficies auxiliares cuyos balances energéticos son equivalentes a los representados por el puente térmico. Para introducirlos primero se seleccionarán los espacios para los que se van a generar los puentes térmicos, una vez seleccionados se escogerán las opciones para introducir los puentes térmicos según proceda. Estas superficies auxiliares creadas podemos ocultarlas en el modelo.

Los valores límite de los puentes térmicos vienen definidos en el CTE HE, en SG Save se proponen valores por defecto, pero también podemos introducir otros valores después de realizar una medición real. El valor del puente térmico se introduce mediante la transmitancia térmica lineal (W/mK) del mismo.

**Extensiones > SG Save > Puentes térmicos**

Imagen 5. Puentes térmicos para introducir en SG Save



Fuente: propia

### 4.3.3. Emparejamiento de particiones interiores

Las particiones interiores que limitan distintos espacios, tanto las horizontales como las verticales, hay que dibujarlas por duplicado en los distintos espacios.

Por defecto, al dibujar las superficies, el programa OpenStudio considerará lo siguiente:

- Superficies verticales: son todas exteriores.
- Cubiertas: son todas exteriores.
- Suelos: están todos en contacto con el terreno.

Mientras se está dibujando la geometría, el programa no puede saber si finalmente una superficie acabará siendo exterior o una partición interior. Por ello, una vez que se ha terminado de dibujar la geometría hay que ejecutar la orden:

**Extensiones > SG Save > Utilidades > Opacos > Emperejamiento de superficies**

Esta orden buscará en todo el modelo, las superficies que se superponen y las convertirá en interiores. Para poder hacer el emparejamiento de superficies interiores, las superficies tienen que ser exactamente iguales. Es conveniente utilizar el modo de visualización por condiciones de contorno, en este modelo de visualización los colores representan:

- Azul intenso: Condiciones de contorno exteriores.
- Azul menos intenso: Condiciones de contorno exteriores, pero sin estar afectadas por el sol y el viento.

- Verde: Condiciones de contorno interiores.
- Marrón: En contacto con el terreno.
- Rosa: Condiciones adiabáticas.

#### **4.3.4. Definición de las características de espacios habitables**

Una vez que se han dibujado los espacios, hay que indicar de qué tipo son. Para ello, se seleccionarán los espacios habitables del mismo tipo y se ejecutará la orden:

**Extensiones > SG Save > Operaciones relacionadas con el HE1 > Define espacio habitable**

- Tipo de espacio: Tipos de espacio definidos en el CTE-HE 2013 en función del calendario de horas la intensidad de uso (intensidad de ocupación alta, media o baja). No variarán en las diferentes simulaciones.
- Familia de construcciones: Familia de sistemas que contiene la definición del sistema constructivo para paredes, suelos, techos y huecos. Iremos modificando la familia de construcciones en las diferentes simulaciones para ver cómo afectan al diseño.
- Altura espacios (m): Altura libre de los espacios. La tasa de ventilación se aplicará al volumen definido por la superficie del espacio, multiplicado por esta altura.
- Potencia iluminación (W/m<sup>2</sup>): Potencia de la instalación de iluminación dividida por la superficie del espacio.
- VEEI objeto (W/m<sup>2</sup>-100 Lux): Valor de eficiencia energética de la instalación de iluminación.
- VEEI máximo normativo (W/m<sup>2</sup>-100 Lux): Valor límite normativo de la instalación de iluminación según el CTE HE (en certificación energética, en lo referente a iluminación, el edificio de referencia sigue siendo el del CTE HE). Ver anexo.

De la misma forma deben definirse las características de los espacios no habitables, en nuestro caso de estudio esta parte no procede ya que todos los espacios definidos son habitables.

#### **4.3.5. Creación y simulación edificio de referencia, HE0 y HE1**

Determinadas opciones de verificación del CTE-HE y de certificación energética requieren la generación y simulación del edificio de referencia, en nuestro caso al tratarse de un edificio terciario es necesario.

**Extensiones > SG Save > Operaciones relacionadas con el HE1 > Crea y simula edificio de referencia**

Al ejecutar el comando, se creará el modelo del edificio de referencia y se abrirá la aplicación del OpenStudio, con el modelo listo para ser simulado. Una vez simulado el edificio de referencia, no es necesario volver a simularlo mientras no se produzca cambios en el modelo del tipo:

- Geométricos.
- Características de los espacios habitables.
- Del tipo del edificio y su zona climática.

A continuación, se realizará la simulación del HE1 donde no intervienen los sistemas. Con esta opción se eliminan los posibles sistemas que pudiera haber el edificio y los sustituye por unos “perfectos” con los que se estima la demanda de calefacción y refrigeración del edificio.

#### **Extensiones > SG Save > Operaciones relacionadas con el HE1 > Calcula la demanda del edificio**

Finalmente introduciremos los sistemas del edificio: ACS, fotovoltaica y sistemas de climatización. SG Save permite introducir de manera rápida los sistemas más habitualmente utilizados, para instalaciones más complejas tendremos que introducirlas desde OpenStudio. Estos sistemas se irán modificando en las diferentes simulaciones. Una vez introducidos se realizará la verificación del HE0 y la certificación energética.

#### **Extensiones > SG Save > Operaciones relacionadas con HE0 > Verificación HE0 y certificación energética**

## **4.4. Simulación 1**

### **4.4.1. Introducción de variables**

Para la simulación 1 siguiendo la metodología explicada en el apartado anterior se ha utilizado:

- Carpinterías: Aluminio con ruptura del puente térmico < 12 mm.
- Carpinterías: Permeabilidad de 27 (m<sup>3</sup>/h\*m<sup>2</sup>).

Se han introducido los siguientes puentes térmicos:

- Contorno de huecos: 0,45 (W/m\*K)
- Cubierta plana: U muro de 0,5 W/m<sup>2</sup>\*K y U cubierta de 0,3 W/m<sup>2</sup>\*K.
- Pilar integrado en fachada: 0,6 (W/m<sup>2</sup>\*K)
- Esquina: 0,6 (W/m<sup>2</sup>\*K)
- Suelo terreno: U muro de 0,5 W/m<sup>2</sup>\*K y U solera de 0,45 W/m<sup>2</sup>\*K

Para todos los espacios se ha seleccionado la familia constructiva “Sate con Vidrio Aislante”, una de las más exigentes y con mejores propiedades.

- Paredes exteriores: sate con lana mineral y trasdosado.
- Suelos exteriores: solera seca flotante con lana mineral.
- Techos: cubierta cerámica.
- Paredes interiores: tabique interior con placa de yeso laminado y lana mineral.
- Cerramientos con el terreno: solera seca flotante con lana mineral.

En la Tabla 4 se muestran las características de los espacios habitables para la simulación 1.

**Tabla 4. Características de los espacios habitables**

Espacio	Ocupación	Altura (m)	Iluminación (W/m <sup>2</sup> )	VEEI máximo	VEEI objeto	ACS (l/día)
Biblioteca	Alta 12h	6	8	5	5	45
Cafetería	Media 12h	4,25	8	6	6	65
Hall 1	Alta 12h	4,25	8	6	6	15
Hall 2	Alta 12h	5	8	6	6	15
Pasillos 1	Media 12h	4,25	8	6	6	35
Pasillos 2	Media 12h	5	8	6	6	35
Restauración 1	Media 8h	4,25	8	8	8	110
Restauración 2	Media 8h	5	8	8	8	110
Sala convenciones	Alta 8h	12	6	4	4	25
Talleres	Media 12h	4,25	6	6	6	20
Zona administrativa 1	Media 12h	4,25	8	6	6	85
Zona administrativa 2	Media 12h	5	8	6	6	85
Sala exposiciones	Media 12	5	8	5	5	20

Fuente: propia

Para el cálculo de la demanda de ACS recurrimos al documento oficial HE4 “Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria” aquí aparece una tabla que podemos ver en el anexo con la demanda de ACS para distintos tipos de edificios. Sumando las demandas por espacios de la Tabla 4 obtenemos una demanda total de 665 l/día.

**Extensiones > SG Save > Operaciones relacionadas con HE0 > Introduce demanda de ACS**



**Tabla 5. Definición de la demanda de ACS**

Demanda diaria de ACS (l/día)	665
Porcentaje de ACS cubierto por solar (%)	60
Porcentaje de ACS mínimo requerido por HE 4 (%)	30
Combustible	Gas natural
Rendimiento nominal (%)	85
Volumen del depósito (l)	400
Coefficiente global de pérdidas del depósito	6

Fuente: propia

En cuento a los sistemas para esta simulación 1 se colocarán bombas de calor individuales en todos los espacios.

- COP de 2,5
- EER de 2,5

Extensiones > SG Save > Operaciones relacionadas con HE0 > Bombas de calor individuales

## 4.5. Simulación 2

Para la simulación 2 trataremos de mejorar la simulación 1, para ello empezaremos con las carpinterías, ahora se colocarán:

- Carpinterías PVC de 2 cámaras.
- Permeabilidad de 20 ( $\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$ ).

Los puentes térmicos y familia constructiva siguen siendo los mismos que en la simulación 1.

Para disminuir la demanda eléctrica de iluminación se utilizarán luminarias con una mayor eficiencia energética y se colocarán 3 nuevas ventanas en lugares estratégicos en las zonas de cafetería, sala de exposiciones y sala de convenciones.

En la Tabla 6 se muestran las características de los espacios habitables para la simulación 2 donde se modificarán los parámetros de iluminación y VEEL objeto, el resto no varían respecto la tabla anterior.

**Tabla 6. Características de los espacios habitables**

<b>Espacio</b>	<b>Ocupación</b>	<b>Altura (m)</b>	<b>Iluminación (W/m<sup>2</sup>)</b>	<b>VEEI máximo</b>	<b>VEEI objeto</b>	<b>ACS (l/día)</b>
Biblioteca	Alta 12h	6	6	5	3,75	45
Cafetería	Media 12h	4,25	6	6	4,5	65
Hall 1	Alta 12h	4,25	6	6	4,5	15
Hall 2	Alta 12h	5	6	6	4,5	15
Pasillos 1	Media 12h	4,25	6	6	4,5	35
Pasillos 2	Media 12h	5	6	6	4,5	35
Restauración 1	Media 8h	4,25	6	8	6	110
Restauración 2	Media 8h	5	6	8	6	110
Sala convenciones	Alta 8h	12	6	8	6	25
Talleres	Media 12h	4,25	6	6	4,5	20
Zona administrativa 1	Media 12h	4,25	6	6	4,5	85
Zona administrativa 2	Media 12h	5	6	6	4,5	85
Sala exposiciones	Media 12h	5	6	5	3,75	20

Fuente: propia

La instalación y demanda calculada en el caso anterior para el ACS sigue siendo la misma.

En la simulación 2 introduciremos una matriz fotovoltaica en el edificio, concretamente en la cubierta de la sala de convenciones (para evitar sombreamientos).

#### **Extensiones > SG Save > Operaciones relacionadas con HE0 > Fotovoltaica**

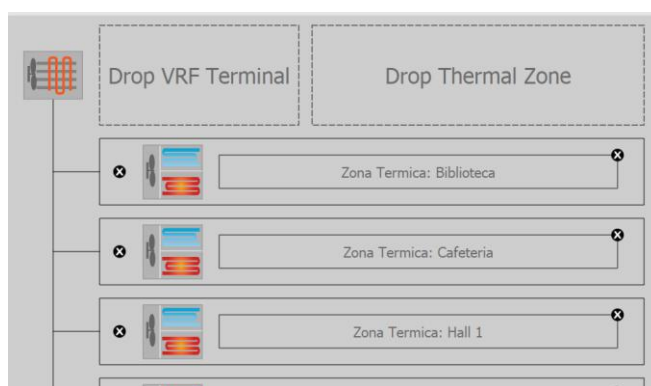
Para ello definiremos los siguientes parámetros:

- Superficie de células FT: 119,84 m<sup>2</sup>
- Fracción de superficie cubierta por células FT activas: 0,9
- Eficiencia de la célula (constante): 15%

- Eficiencia del inversor: 0,95

El sistema de climatización en este caso consiste en un VRV (Caudal de refrigerante variable), sería una evolución de la bombas de calor individuales que introducimos en la simulación 1. Este tipo de sistemas más complejos tenemos que introducirlos manualmente a través de la consola de OpenStudio. La instalación consistirá en una unidad exterior y 13 unidades interiores, los parámetros de potencia de calefacción y refrigeración se calculan con la opción de “Autosized” de OpenStudio a través de las demandas de calefacción y refrigeración del edificio, aunque siempre podremos modificarla si fuera necesario. El parámetro más importante a definir en esta instalación es el salto de presión que deben vencer los ventiladores de las unidades terminales, que en este caso será de 300 Pascales.

**Imagen 6. Instalación VRV**

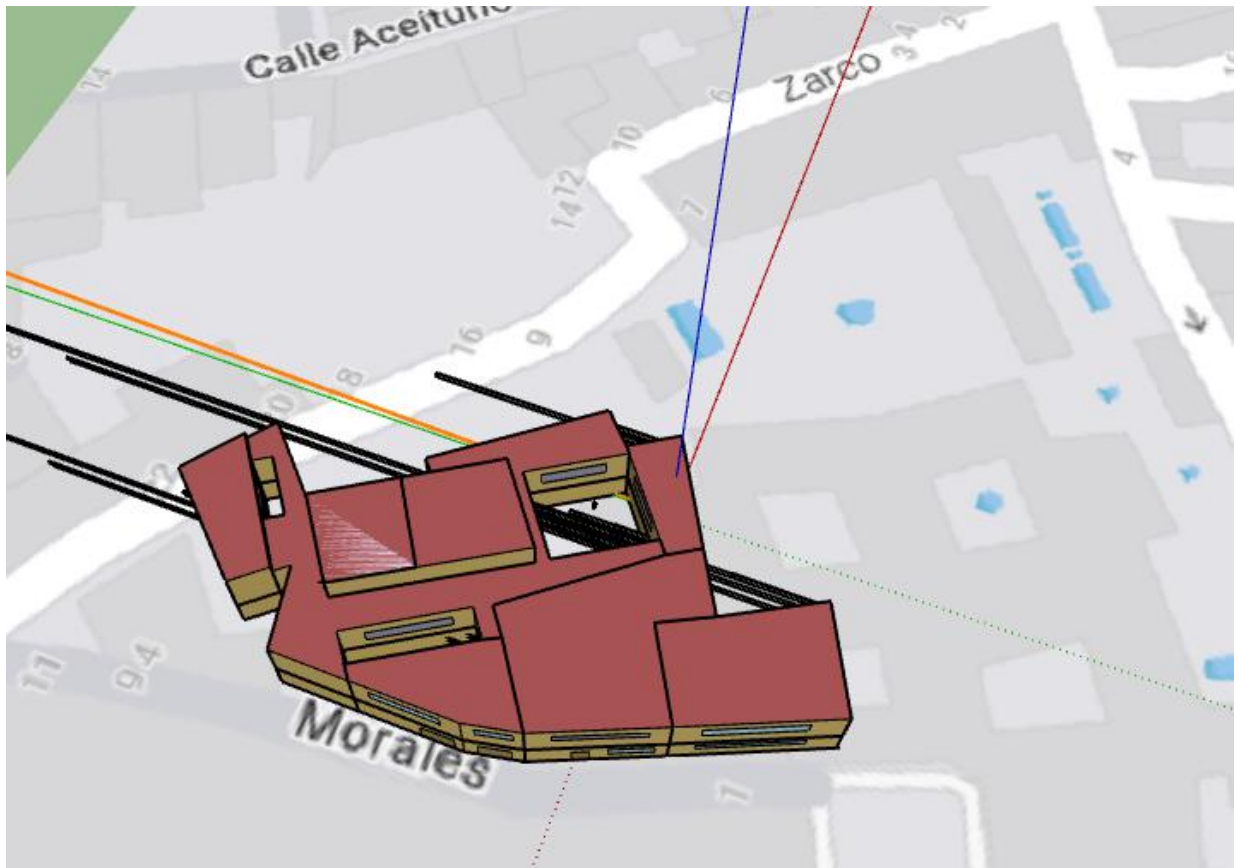


Fuente: propia

Finalmente, para optimizar el modelo anterior se realizará la geolocalización del proyecto en la ciudad de Córdoba. Como se observa en la Imagen 4 está situado entre las calles Morales y Zarco y encaja perfectamente con el solar vacío adyacente al Palacio de Viana. Pueden observarse también las superficies auxiliares correspondientes a los puentes térmicos.

**Archivo > Geolocalización > Añadir localización**

**Imagen 7. Geolocalización del proyecto**



Fuente: propia

## 4.6. Simulación 2 mejorada

Ya que no nos cumple el HE0 vamos a introducir algunos cambios respecto la simulación anterior. Primero respecto a la producción fotovoltaica, se amplía la superficie un 53,2% y se mejora la eficiencia del inversor.

- Nueva superficie de células FT: 256,03 m<sup>2</sup>
- Fracción de superficie cubierta por células FT activas: 0,9
- Eficiencia de la célula (constante): 15%
- Eficiencia del inversor: 0,98

El salto de presión proporcionado por los ventiladores pasa de 300Pa a 120Pa.

Redefinimos la demanda de ACS mejorando el porcentaje cubierto por solar, pasa de un 60% a un 80%. El volumen del depósito pasa de 400l a 300l.

**Tabla 7. Definición de la demanda de ACS**

<b>Demanda diaria de ACS (l/día)</b>	665
<b>Porcentaje de ACS cubierto por solar (%)</b>	80
<b>Porcentaje de ACS mínimo requerido por HE 4 (%)</b>	30
<b>Combustible</b>	Gas natural
<b>Rendimiento nominal (%)</b>	85
<b>Volumen del depósito (l)</b>	300
<b>Coefficiente global de pérdidas del depósito</b>	6

Fuente: propia

## 4.7. Simulación 3

Para esta simulación utilizaremos el modelo Passivhaus. Lo primero que debemos modificar es la tasa de ventilación HS3 en la definición del caso y tipo de edificio ya que la ventilación se introduce a través de la red de conductos y no por las rejillas de los huecos.

Carpinterías: PVC 2 cámaras.

Familia constructiva: Sate Vidrio Aislante.

Puentes térmicos se han mejorado un poco respecto las simulaciones anteriores como se puede observar

**Tabla 8. Comparación puentes térmicos**

<b>Puente térmico</b>	<b>Simulación 1 y 2</b>	<b>Simulación 3</b>	<b>Unidades</b>
Contorno de huecos	0,45	0,43	(W/m <sup>2</sup> *K)
Cubierta plana	U muro de 0,5	U muro de 0,48	W/m <sup>2</sup> *K
	U cubierta de 0,3	U cubierta de 0,28	W/m <sup>2</sup> *K
Pilar integrado en fachada	0,6	0,55	(W/m <sup>2</sup> *K)
Esquina	0,6	0,55	(W/m <sup>2</sup> *K)
Suelo terreno	U muro de 0,5	U muro de 0,48	W/m <sup>2</sup> *K
	U solera de 0,45	U solera de 0,42	W/m <sup>2</sup> *K

Fuente: propia

Las características de los espacios habitables son las mismas que en la simulación 2.

Respecto a la definición del ACS es la misma que para el caso 2 mejorado:

- La demanda cubierta por solar pasa de un 60% y un 80%.
- El volumen del depósito pasa de 400 litros a 300 litros.

Introducimos fotovoltaica como en el caso 2 mejorado.

- Superficie de células FT: 256,03 m<sup>2</sup>
- Fracción de superficie cubierta por células FT activas: 0,9
- Eficiencia de la célula (constante): 15%
- Eficiencia del inversor: 0,98

Para el modelo Passivhaus introducimos un recuperador de calor de doble flujo con una eficiencia del 80%. La instalación consiste en un anillo de aire que mueve las 0,63 ren/h que propone el Código Técnico con 100% de aire exterior. Le hemos añadido también una bomba de calor (ciclo simple de refrigerante) de 2 etapas con humidificador con un COP=3 y resistencia eléctrica a la salida del intercambiador cuya potencia se calculará con la opción "Autosize" a través de Open Studio.

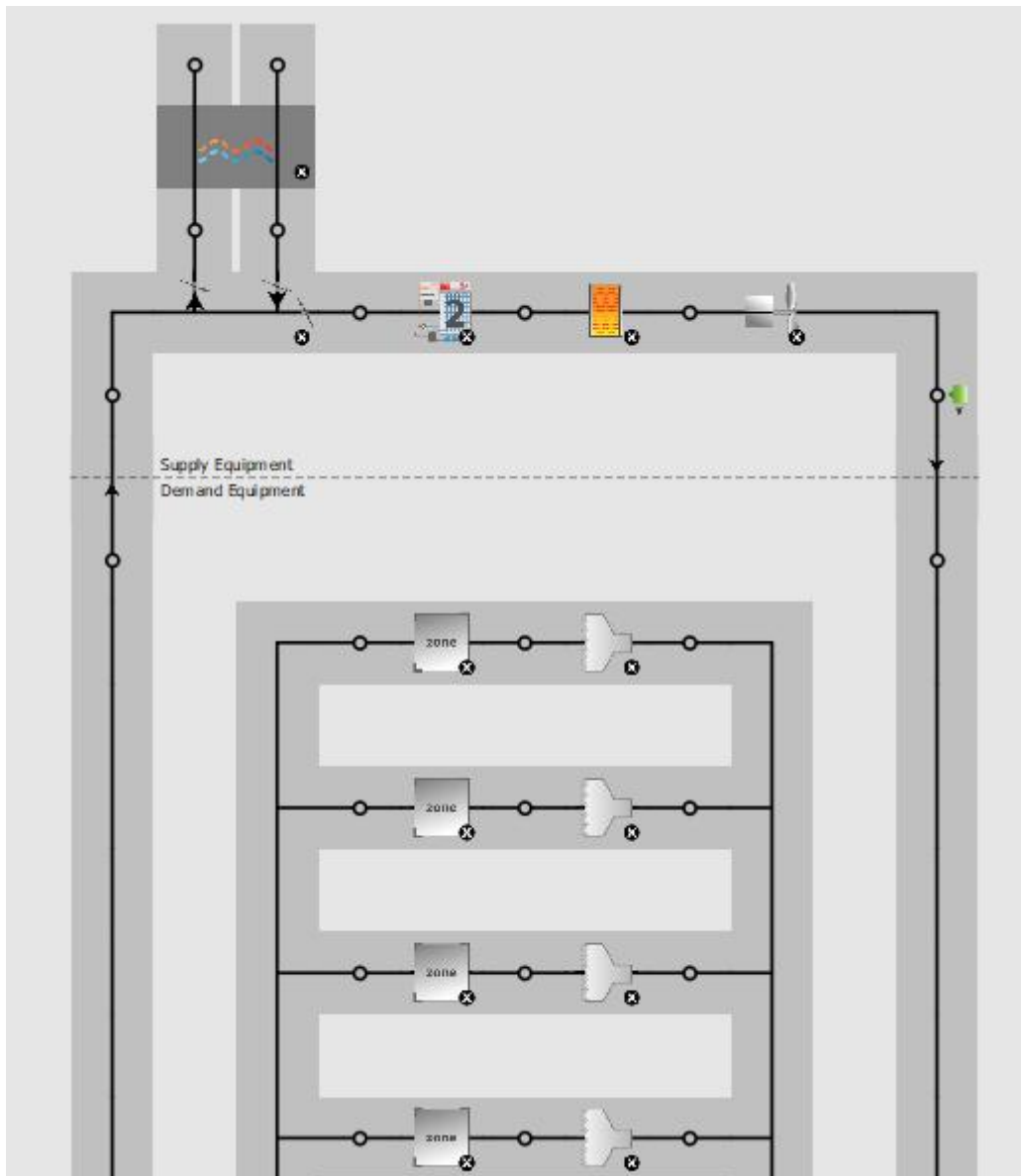
**Imagen 8. Definición ventilación de doble flujo**

User input. ×

¿Se introduce un equipo por zona?	<input type="text" value="No"/>
¿Cuenta con bypass el recuperador de calor?	<input type="text" value="No"/>
Tasa de ventilación (renov/hora)	<input type="text" value="0.63"/>
Eficacia del recuperador(%)	<input type="text" value="80"/>
Potencia consumida ventiladores [W]	<input type="text" value="175"/>

Fuente: propia

**Imagen 9.** *Instalación con recuperador de calor de doble flujo y resistencia eléctrica*



Fuente: propia

## 5 RESULTADOS CASO DE ESTUDIO

### 5.1. Simulación 1.

#### 5.1.1 Cumplimiento HE0.

Tabla 9. Cumplimiento HE0 (Simulación 1)

	Edificio objeto	Valor límite	Cumple
Horas fuera de consigna- Con ocupación	0	141,8	SÍ
Energía primaria no removable (Kwh/m <sup>2</sup> -año)	85,6	107,8	SÍ
Energía primaria total (Kwh/m <sup>2</sup> -año)	104,9	215,1	SÍ

Fuente: propia.

#### 5.1.2 Cumplimiento HE1.

Tabla 10. Cumplimiento HE1 (Simulación 1)

	Transmitancia térmica (W/m <sup>2</sup> -K)	Transmitancia térmica límite (W/m <sup>2</sup> -K)	Cumple
Elementos opacos	0,2	0,6	SÍ
Cubiertas en contacto con el exterior	0,2	0,4	SÍ
Suelos terreno	0,2/0,3/0,4	0,8	SÍ
Huecos	0,6	2,3	SÍ
Coefficiente global envolvente	0,31	0,81	SÍ
Ganancia solar	3,23	4	SÍ
Permeabilidad huecos	27	27	SÍ

Fuente: propia



### 5.1.3 Cumplimiento HE4.

**Tabla 11. Cumplimiento HE4 (Simulación 1)**

<b>Demanda diaria de ACS (l/día)</b>	<b>Demanda neta ACS anual (Kwh/año)</b>	<b>% Cubierto</b>	<b>% Requerido</b>	<b>Cumple</b>
665	5060,9	60,0	60,0	Sí

Fuente: propia

### 5.1.4 Consumo de electricidad (Kwh/m<sup>2</sup>).

**Tabla 12. Consumo electricidad (Simulación 1)**

	<b>Calefacción</b>	<b>Refrigeración</b>	<b>Iluminación</b>	<b>Equipamiento</b>	<b>Total</b>
<b>Enero</b>	0,2	0,02	2,17	1,42	3,81
<b>Febrero</b>	0,13	0,04	1,92	1,26	3,35
<b>Marzo</b>	0,07	0,2	2,15	1,41	3,83
<b>Abril</b>	0,01	0,54	2	1,31	3,86
<b>Mayo</b>	-	1,36	2,17	1,42	4,95
<b>Junio</b>	-	2,56	2,07	1,36	5,99
<b>Julio</b>	-	3,8	2,09	1,37	7,26
<b>Agosto</b>	-	3,9	2,17	1,42	7,49
<b>Septiembre</b>	-	2,7	1,98	1,3	5,98
<b>Octubre</b>	-	1,37	2,17	1,42	4,96
<b>Noviembre</b>	0,02	0,25	2,09	1,37	3,73
<b>Diciembre</b>	0,16	0,01	2,07	1,36	3,60
<b>Total</b>	0,59	16,75	25,05	16,42	58,81

Fuente: propia.

### 5.1.5 Consumo de gas natural (Kwh/m<sup>2</sup>).

Tabla 13. Consumo gas natural (Simulación 1)

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	Total
ACS	0,22	0,2	0,21	0,2	0,2	0,18	0,18	0,18	0,18	0,2	0,21	0,22	2,38

Fuente: propia

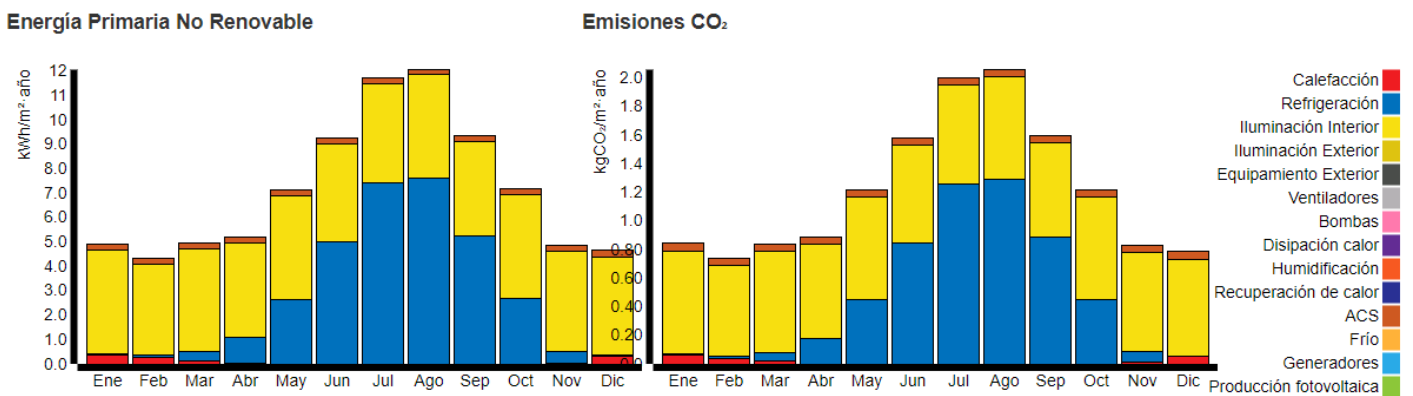
### 5.1.6 Calificaciones energéticas

Tabla 14. Calificaciones energéticas (Simulación 1)

Indicador	Valor	Nota
Calificación emisiones TOTALES	14,6 Kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> año	B (0,5)
Calificación energía primaria TOTAL	85,6 kWh/m <sup>2</sup> año	B (0,6)
Demanda calefacción	1,3 kWh/m <sup>2</sup> año	A
Demanda refrigeración	40,3 kWh/m <sup>2</sup> año	C

Fuente: propia

Figura 11. Gráfica consumos (Simulación 1).



Fuente: propia

## 5.2. Simulación 2

### 5.2.1. Cumplimiento HE0.

**Tabla 15. Cumplimiento HE0 (Simulación 2)**

	Edificio objeto	Valor límite	Cumple
Horas fuera de consigna- Con ocupación	0	141,8	SÍ
Energía primaria no removable (Kwh/m <sup>2</sup> -año)	174,4	103,5	NO
Energía primaria total (Kwh/m <sup>2</sup> -año)	213,6	210,2	NO

Fuente: propia.

### 5.2.2. Cumplimiento HE1 y HE4.

**Tabla 16. Cumplimiento HE1 y HE4 (Simulación 2)**

Cumplimiento HE1	SÍ
Cumplimiento HE4	SÍ

Fuente: propia

### 5.2.3. Consumo de electricidad (Kwh/m<sup>2</sup>).

Se añaden dos nuevas columnas de resultados correspondientes al consumo de los ventiladores y a la producción fotovoltaica.

**Tabla 17. Consumo electricidad (Simulación 2)**

	Calefacción	Refrigeración	Iluminación	Equipos	Ventiladores	Producción FV	Total
Enero	0,04	0,22	1,76	1,42	3,18	-0,07	3,81
Febrero	0,01	0,39	1,56	1,26	2,87	-0,09	3,35
Marzo	-	0,86	1,74	1,41	3,18	-0,13	3,83
Abril	-	1,53	1,62	1,31	3,07	-0,16	3,86
Mayo	-	2,89	1,76	1,42	3,18	- 0,2	4,95

	Calefacción	Refrigeración	Iluminación	Equipos	Ventiladores	Producción FV	Total
<b>Junio</b>	-	4,68	1,67	1,36	3,07	-0,22	5,99
<b>Julio</b>	-	6,33	1,69	1,37	3,18	-0,24	7,26
<b>Agosto</b>	-	6,46	1,76	1,42	3,18	-0,22	7,49
<b>Septiembre</b>	-	4,58	1,61	1,3	3,07	-0,16	5,98
<b>Octubre</b>	-	2,69	1,76	1,42	3,18	-0,12	4,96
<b>Noviembre</b>	-	0,92	1,69	1,37	3,07	-0,08	3,73
<b>Diciembre</b>	0,02	0,26	1,67	1,36	3,18	-0,07	3,60
<b>Total</b>	0,07	31,81	20,29	16,42	37,41	-1,76	58,81

Fuente: propia.

Como se observa el consumo de ventiladores no es nada despreciable disparando el consumo de energía primaria no renovable y la energía primaria total, y haciendo que no se cumpla el HE0.

## 5.3. Simulación 2 mejorada

### 5.3.1. Cumplimiento HE0.

**Tabla 18.** Cumplimiento HE0 (Simulación 2 mejorada)

	Edificio objeto	Valor límite	Cumple
<b>Horas fuera de consigna- Con ocupación</b>	0	141,8	Sí
<b>Energía primaria no removable (Kwh/m<sup>2</sup>-año)</b>	88,1	97,4	Sí
<b>Energía primaria total (Kwh/m<sup>2</sup>-año)</b>	111,2	203,3	Sí

Fuente: propia.

### 5.3.2. Cumplimiento HE1.

**Tabla 19. Cumplimiento HE1 (Simulación 2 mejorada)**

	Transmitancia térmica (W/m <sup>2</sup> -K)	Transmitancia térmica límite (W/m <sup>2</sup> -K)	Cumple
Elementos opacos	0,2	0,6	Sí
Cubiertas en contacto con el exterior	0,2	0,4	Sí
Suelos terreno	0,2/0,3/0,4	0,8	Sí
Huecos	0,6/0,7	2,3	Sí
Coefficiente global envolvente	0,31	0,81	Sí
Ganancia solar	3,8	4	Sí
Permeabilidad huecos	20	27	Sí

Fuente: propia

### 5.3.3. Cumplimiento HE4.

**Tabla 20. Cumplimiento HE4 (Simulación 2 mejorada)**

Demanda diaria de ACS (l/día)	Demanda neta ACS anual (Kwh/año)	% Cubierto	% Requerido	Cumple
665	2530,4	80,0	60,0	Sí

Fuente: propia

### 5.3.4. Consumo de electricidad (Kwh/m<sup>2</sup>).

**Tabla 21. Consumo electricidad (Simulación 2 mejorada)**

	Calefacción	Refrigeración	Iluminación	Equipos	Ventiladores	Producción FV	Total
Enero	0,38	0,02	1,18	1,42	1,08	-0,17	3,91
Febrero	0,21	0,05	1,04	1,26	0,98	-0,21	3,33

	Calefacción	Refrigeración	Iluminación	Equipos	Ventiladores	Producción FV	Total
Marzo	0,07	0,22	1,17	1,41	1,08	-0,31	3,64
Abril	-	0,58	1,09	1,31	1,05	-0,37	3,66
Mayo	-	1,63	1,18	1,42	1,08	-0,46	4,85
Junio	-	3,34	1,12	1,36	1,05	-0,51	6,36
Julio	-	5,07	1,13	1,37	1,08	-0,56	8,09
Agosto	-	5,11	1,18	1,42	1,08	-0,5	8,29
Septiembre	-	3,33	1,08	1,3	1,05	-0,37	6,39
Octubre	-	1,47	1,18	1,42	1,08	-0,27	4,88
Noviembre	0,02	0,24	1,13	1,37	1,05	-0,19	3,62
Diciembre	0,29	0,02	1,12	1,36	1,08	-0,15	3,72
<b>Total</b>	<b>0,97</b>	<b>21,08</b>	<b>13,60</b>	<b>16,42</b>	<b>12,74</b>	<b>-4,07</b>	<b>60,74</b>

Fuente: propia.

### 5.3.5. Consumo de gas natural (Kwh/m<sup>2</sup>).

**Tabla 22. Consumo gas natural (Simulación 2 mejorada)**

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	Total
ACS	0,11	0,1	0,11	0,1	0,1	0,09	0,09	0,09	0,09	0,1	0,1	0,11	1,19

Fuente: propia

### 5.3.6. Calificaciones energéticas

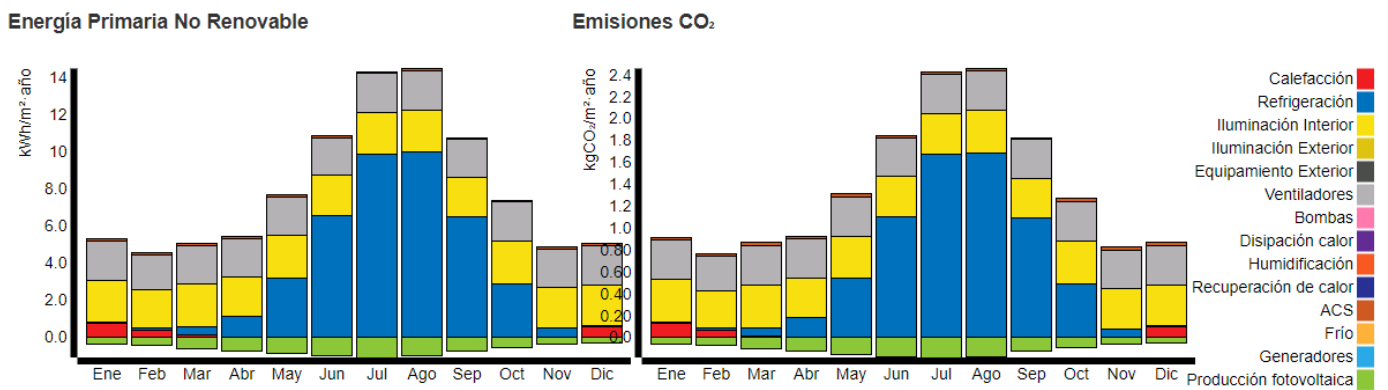
**Tabla 23. Calificaciones energéticas (Simulación 2 mejorada)**

Indicador	Valor	Nota
Calificación emisiones TOTALES	15,0 Kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> año	B (0,5)
Calificación energía primaria TOTAL	88,1 kWh/m <sup>2</sup> año	B (0,6)
Demanda calefacción	2,6 kWh/m <sup>2</sup> año	A

Indicador	Valor	Nota
Demanda refrigeración	33,5 kWh/m <sup>2</sup> año	B

Fuente: propia

Figura 12. Gráfica consumos (Simulación 2 mejorada)



Fuente: propia

## 5.4. Simulación 3

### 5.4.1. Cumplimiento HE0.

Tabla 24. Cumplimiento HE0 (Simulación 3)

	Edificio objeto	Valor límite	Cumple
Horas fuera de consigna- Con ocupación	1967	141,8	NO
Energía primaria no removable (Kwh/m <sup>2</sup> -año)	88,6	103,5	SÍ
Energía primaria total (Kwh/m <sup>2</sup> -año)	111,8	210,2	SÍ

Fuente: propia.

### 5.4.2. Cumplimiento HE1 y HE4.

Tabla 25. Cumplimiento HE1 y HE4 (Simulación 3)

Cumplimiento HE1	SÍ
Cumplimiento HE4	SÍ

Fuente: propia

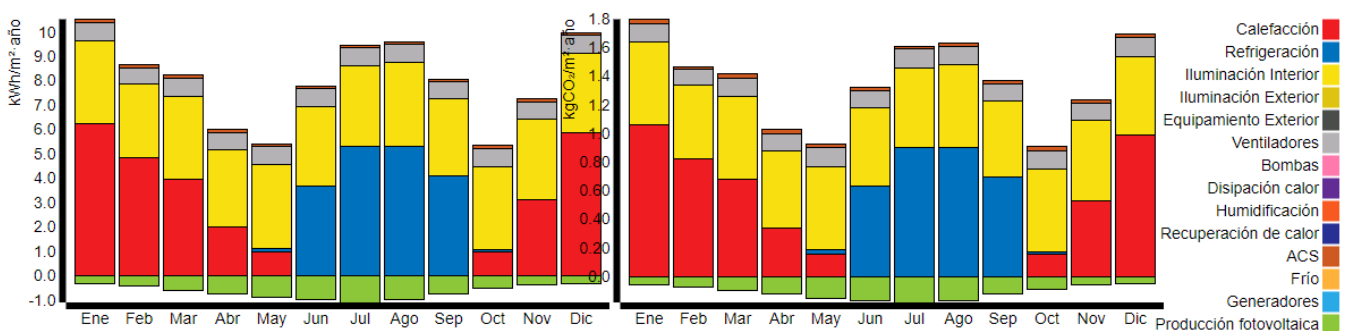
### 5.4.3. Calificaciones energéticas

Tabla 26. Calificaciones energéticas (Simulación 3)

Indicador	Valor	Nota
Calificación emisiones TOTALES	15,1 Kg CO <sub>2</sub> /m <sup>2</sup> año	B (0,5)
Calificación energía primaria TOTAL	88,6 kWh/m <sup>2</sup> año	B (0,6)
Demanda calefacción	1,6 kWh/m <sup>2</sup> año	A
Demanda refrigeración	38,0 kWh/m <sup>2</sup> año	B

Fuente: propia

Figura 13. Gráfica consumos (Simulación 3).



Fuente: propia



## 6 CONCLUSIONES

---

En este Trabajo de Fin de Grado se ha analizado la demanda energética, las distintas instalaciones de climatización y la correspondiente certificación energética del Palacio de Viana en base a ellas. Para ello se han realizado 4 simulaciones donde se han ido variando diferentes parámetros como las carpinterías, los puentes térmicos, la ocupación, la eficiencia energética de las luminarias o los propios sistemas de climatización de frío y calor. Todo ello gracias a la herramienta reconocida SG SAVE que nos indica el cumplimiento del Código Técnico.

Empezaremos las conclusiones analizando el cumplimiento del HE1. Para todas las simulaciones se observa el cumplimiento del HE1 ya que en todas se han utilizado materiales y familias constructivas de altas prestaciones, en concreto la familia constructiva "Sate Vidrio Aislante". En la simulación 1 se utilizó una peor carpintería lo que provoca que la demanda de refrigeración ascendiera hasta 40,3 kWh/m<sup>2</sup> año obteniendo una calificación C, para el resto de simulaciones se obtiene una calificación B mejorando este parámetro. Cabe también destacar la diferencia entre las demandas de calefacción y refrigeración en todas las simulaciones; por ejemplo, para la simulación 2 mejorada la demanda de calefacción es de 2,6 kWh/m<sup>2</sup> año mientras que la de refrigeración es de 33,5 kWh/m<sup>2</sup> año, esto cuadra con la zona climática B4 donde se encuentra nuestro edificio y es ajeno a la instalación elegida, es por ello que se repite en todas las simulaciones.

Analizando el cumplimiento del HE4, al igual que el HE1, se cumple para todas las simulaciones ya que nosotros mismos hemos definido el sistema de ACS. Para no cumplirse el portentaje cubierto por solar tendría que ser menor del 60%. En las simulaciones hemos elegido porcentajes del 60% y 80%.

Pasando al último parámetro HE0 podemos encontrar las mayores diferencias entre las simulaciones, estas se muestran en la siguiente tabla resumen:

**Tabla 27. Resumen cumplimiento del HE0**

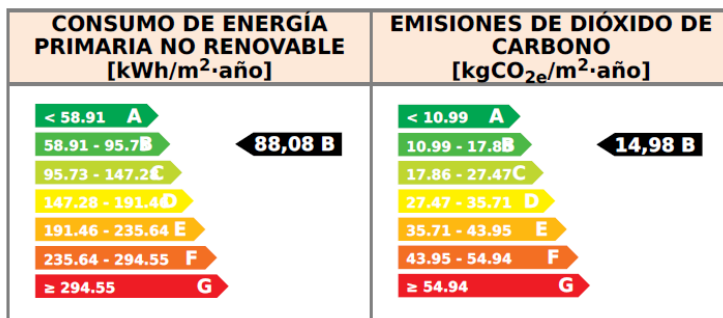
	Simulación 1	Simulación 2	Simulación 2 mejorada	Simulación 3
<b>Horas fuera de consigna- Con ocupación</b>	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPLE
<b>Energía primaria no renovable (Kwh/m<sup>2</sup>-año)</b>	CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE
<b>Energía primaria total (Kwh/m<sup>2</sup>-año)</b>	CUMPLE	NO CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE

Fuente: propia

Como se observa en la tabla sólo las simulaciones 1 y 2 mejorada cumplen los tres requisitos para el cumplimiento del HEO. La simulación 2 se excede del límite marcado por el Código Técnico en la energía primaria no renovable y energía primaria total debido al gran consumo de los ventiladores utilizados en el sistema VRV. Por el contrario, la simulación 3 sí cumple estos parámetros ya que se propone un sistema de ventilación natural con una bomba de calor y una resistencia eléctrica que consumen poca energía. El problema viene en que este sistema no es capaz de mantener la temperatura de confort las horas de consigna mínimas marcadas por el Código Técnico; concretamente son 1967 horas fuera de consigna, lo que equivaldría aproximadamente a 82 días al año o casi tres meses.

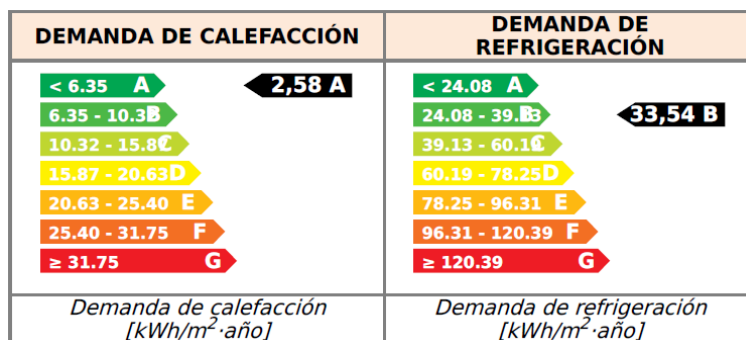
Parece evidente que debemos elegir entre la simulación 1 o la 2 mejorada para nuestro diseño energético; la primera simulación consiste en colocar bombas de calor individuales, este tipo de sistemas son eficientes y por ello son el más utilizado en la mayoría de las viviendas, sin embargo, su funcionamiento requiere de una unidad interior y otra exterior, lo que a nivel funcional y económico parece muy poco viable en un edificio de las características del planteado en el caso de estudio. La otra opción consiste en el sistema VRV con una unidad exterior y 13 unidades interiores. Claramente este sería el sistema elegido para nuestro edificio, un sistema mucho más centralizado, con una única unidad exterior y que además cumple con todos los requisitos marcados por el Código Técnico.

Imagen 10. Etiqueta energética 1 para el sistema VRV elegido



Fuente: propia

Imagen 11. Etiqueta energética 2 para el sistema VRV elegido



Fuente: propia

## 7 BIBLIOGRAFÍA

---

Spain Green Building Council.

Guía de aplicación DBHE 2019

Informe- 2019 Global Status Report for Buildings and Construction.

IDAE-Instituto Diversificación y Ahorro de Energía.

Proyecto de Ley de Cambio y Transición Energética.

Informe- Nearly zero energy buildings definitions across Europe.

Portal Europeo para la Eficiencia Energética en Edificios.

Green Building Advisor.

Manual SG Save

Manual Open Studio

World Energy Statistics and Balances 2019, [www.iea.org/statistics](http://www.iea.org/statistics)

<https://www.dexma.com/es/blog-es/que-son-los-edificios-nzeb-y-como-contribuyen-el-desarrollo-sostenible/>

<https://www.construible.es/comunicaciones/comunicacion-energetic-centro-innovacion-empresas-ambito-smart>

REAL DECRETO 47/2007, de 19 de enero

Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico

<http://www.efinovatic.es/>

<https://www.certicalia.com/blog/que-es-un-edificio-gran-terciario>

<https://peritajes-peritos.es/articulos/articulo-peritaje-c-mo-se-realiza-la-certificaci-n-energ-tica-de-un-edificio-gran-terciario-/>