



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR INGENIEROS  
INDUSTRIALES VALENCIA

**Curso Académico:**

# ÍNDICE

|   |           |
|---|-----------|
| <b>ABSTRACT</b> . . . . .   | 7         |
| <b>1. Contexto tecnológico</b>  | <b>8</b>  |
| <b>1.1. Introducción</b> . . . . .  | 8         |
| <b>1.1.1. Estructura del trabajo</b> . . . . .  | 10        |
| <b>1.2. Mix energético España</b> . . . . .   | 10        |
| <b>1.3. El pacto de los alcaldes</b> . . . . .  | 11        |
| <b>1.4. Contribución del sector residencial a las emisiones de gases de efecto invernadero de la ciudad</b> . . . . . | 14        |
| <b>1.4.1. Tipos de consumo de energía en una vivienda</b> . . . . .   | 14        |
| <b>1.4.2. Eficiencia energética de las viviendas</b> . . . . .  | 15        |
| <b>1.4.3. Rehabilitación energética dentro de las viviendas</b> . . . . .   | 16        |
| <b>1.4.4. Aislamiento de las fachadas</b> . . . . .   | 16        |
| <b>1.5. Tecnologías renovables</b> . . . . .  | 17        |
| <b>1.5.1. Implantación y uso</b> . . . . .  | 17        |
| <b>1.5.2. Generación de electricidad fotovoltaica</b> . . . . .   | 18        |
| <b>1.6. Estado del arte de los paneles fotovoltaicos en la fachada de edificios</b> . . . . .                         | 20        |
| <b>2. Presentación de datos iniciales</b>   | <b>24</b> |
| <b>2.1. Caso de estudio, Benicalap</b> . . . . .  | 24        |
| <b>2.2. Selección de las fachadas</b> . . . . .   | 25        |
| <b>2.2.1. Presentación de la vivienda escogida</b> . . . . .  | 26        |
| <b>2.2.2. Fachadas tipo A</b> . . . . .   | 28        |
| <b>2.2.3. Fachadas tipo B</b> . . . . .   | 29        |
| <b>2.2.4. Presentación del sistema fotovoltaico a implementar</b> . . . . .   | 30        |
| <b>3. Herramientas y consideraciones en los cálculos</b>  | <b>34</b> |
| <b>3.1. Cálculos térmicos</b> . . . . .   | 34        |
| <b>3.1.1. Intercambio de calor por fachada existente</b> . . . . .  | 34        |
| <b>3.1.2. Intercambio de calor por fachada existente con paneles verticales fotovoltaicos</b> . . . . .               | 36        |
| <b>3.1.3. Herramienta para la realización de los cálculos - Hulc</b> . . . . .  | 38        |
| <b>3.2. Cálculos eléctricos - PVsyst</b> . . . . .  | 39        |
| <b>3.3. Programa análisis de ciclo de vida - SimaPro</b> . . . . .  | 41        |

|  |           |
|--|-----------|
| <b>4. Resultados y análisis</b>  | <b>44</b> |
| 4.1. Resultados térmicos   | 44        |
| 4.1.1. Discusión de los resultados térmicos                                      | 45        |
| 4.2. Resultados eléctricos   | 47        |
| 4.2.1. Discusión de los resultados eléctricos                                    | 49        |
| 4.3. Resultados ambientales  | 50        |
| 4.3.1. Huella de Carbono de las soluciones                                       | 53        |
| 4.3.2. Discusión de los resultados de los resultados ambientales                 | 54        |
| 4.4. Estudio tecno-económico del proyecto  | 55        |
| 4.4.1. Presupuesto y viabilidad del sistema fotovoltaico                         | 55        |
| 4.4.2. Tiempo de recuperación de la inversión                                    | 57        |
| 4.4.3. Balance de beneficios e impactos ambientales                              | 58        |
| 4.4.4. Discusión del estudio económico   | 58        |
| <b>5. Conclusiones</b>   | <b>59</b> |
| <b>REFERENCIAS</b>   | <b>63</b> |
| <b>A. Información de las fachadas estudiadas</b>                                 | <b>64</b> |
| 1.1. Clasificación fachadas  | 64        |
| <b>B. Información adicional de los programas de simulación</b>                   | <b>66</b> |
| 2.1. Características de los cerramientos introducidos en HULC                    | 66        |
| 2.2. Resultado detallado de la simulación eléctrica - PVsyst                     | 71        |
| 2.3. Información ambiental de los componentes del sistema fotovoltaico - SimaPro | 75        |
| 2.4. Cálculos - estudio económico  | 80        |

# Índice de tablas

|  |    |
|--|----|
| 2.1. Datos de material constructivo. U siendo el coeficiente global transmisión de calor.  | 28 |
| 2.2. Datos de material constructivo de la fachada, U siendo el coeficiente global transmisión de calor.  | 29 |
| 3.1. Detalles técnicos del panel fotovoltaico.   | 39 |
| 4.1. El presupuesto de los materiales necesarios en el sistema fotovoltaico. Costes sin IVA y tasa de beneficio industrial incluido.             | 55 |
| 4.2. El presupuesto para los costes de mano de obra y montaje del sistema fotovoltaico. Costes sin IVA y tasa de beneficio industrial incluido.  | 56 |
| 4.3. El presupuesto total de ejecución material, para el sistema fotovoltaico. Incluye una tasa de de beneficio industrial de 6 % y 21 % de IVA. | 56 |
| 4.4. El desarrollo de los valores VAN y TIR a lo largo de los años.  | 57 |

# Índice de figuras

|  |    |
|--|----|
| 1.1. Evaluación de la concentración de $CO_{2e}$ atmosférico. Fuente: NORA. . . . .  | 8  |
| 1.2. La contribución de emisión de dióxido de carbono de diferentes países. . . . .  | 9  |
| 1.3. Estructura de las fuentes de generación de electricidad en España. . . . .  | 11 |
| 1.4. Los planes de acción acordados para realizar por el ayuntamiento de Valencia. .   | 13 |
| 1.5. Progreso de la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero. . . .   | 14 |
| 1.6. Distribución del consumo de energía según servicio, en el sector residencial. . .   | 15 |
| 1.7. Distribución de las fuentes energéticas en el sector residencial. . . . .   | 15 |
| 1.8. : Estructura y componentes de un panel fotovoltaico. . . . .  | 18 |
| 1.9. Relación entre Intensidad y Voltaje de un panel fotovoltaico tipo, e influencia<br>de la temperatura de las celdas en la tensión, intensidad y potencia del panel. . .                                | 19 |
| 1.10. Una cubierta integrada con placas fotovoltaicas. . . . .   | 21 |
| 1.11. El edificio más sostenible en Barcelona, La Fábrica Del Sol. . . . .   | 22 |
|  |    |
| 2.1. El distrito valenciano, Benicalap y ejemplos de la diferente densidad de vivien-<br>das en el barrio de Benicalap y en el de Ciudad Fallera. . . . .  | 24 |
| 2.2. La fachada sur-oeste de la vivienda y su posición geográfica enfrente del parque. .   | 26 |
| 2.3. El mapa de radiación solar sobre la horizontal en la zona del edificio (extraído<br>de los datos de radiación de la estación del aeropuerto de Valencia, según PVGIS). .                              | 26 |
| 2.4. La cantidad de irradiación solar en la fachada (inclinación 90°) en Calle Andreu<br>Alfaro 14 (extraído de los datos de radiación de la estación del aeropuerto de<br>Valencia, según PVGIS). . . . . | 27 |
| 2.5. Fachada sur de los edificios representativos de esta categoría. . . . .   | 29 |
| 2.6. Panel fotovoltaico usado en el trabajo. Modelo Jink Solar. . . . .  | 30 |
| 2.7. Conexión en serie y paralelo de la agrupación: 24 paneles, 2 líneas de 16 paneles<br>en paralelo. . . . .   | 31 |
| 2.8. Soportes, herrajes y conexiones a tierra para sujetar los paneles a la pared. Cada<br>Kit soporta tres paneles de las dimensiones de los seleccionados. . . . .                                       | 32 |
| 2.9. El tipo de inversor, SMA Sunny Boy de 3-5 kWp. . . . .  | 32 |
|  |    |
| 3.1. Fachada de doble hoja en edificio plurifamiliar en Benicalap. . . . .   | 35 |
| 3.2. Fachada de doble hoja del año 1970 con paneles verticales fotovoltaicos insta-<br>lados. Las capas de material de la fachada es la misma que en la figura 3.1. . . .                                  | 37 |
| 3.3. El edificio en Calle Andreu Alfaro 14 en HULC. . . . .  | 38 |
| 3.4. Las fases durante el ciclo de vida del producto. . . . .  | 41 |

|  |    |
|--|----|
| 3.5. El estándar ISO 14040. . . . .  | 43 |
| 4.1. La demanda de calefacción y refrigeración durante un año. . . . .   | 44 |
| 4.2. La distribución mensual de la demanda de calefacción. . . . .   | 45 |
| 4.3. La distribución de la irradiación solar en los paneles fotovoltaicos, durante un año. . . . .   | 47 |
| 4.4. La distribución de la irradiación solar en los paneles fotovoltaicos, durante un año. . . . .   | 48 |
| 4.5. Pérdidas en la generación a partir de energía solar en los paneles fotovoltaicos, durante un año. . . . .   | 49 |
| 4.6. Los impactos ambientales derivados de los paneles fotovoltaicos chinos. . . . .   | 50 |
| 4.7. Los impactos ambientales derivados de las inversores. . . . .   | 50 |
| 4.8. Los impactos ambientales derivados de las instalaciones eléctricas. . . . .   | 51 |
| 4.9. Los impactos ambientales derivados de la generación de electricidad española, durante 25 años. . . . .  | 51 |
| 4.10. Las mayores emisiones de gases durante el ciclo de vida del sistema fotovoltaico. . . . .  | 52 |
| 4.11. Las mayores causas de impacto ambiental agregado durante el ciclo de vida del sistema fotovoltaico. . . . .                                      | 53 |
| 4.12. Las emisiones de $CO_2$ y $CO_{2eq}$ que el sistema fotovoltaico supone durante los primeros 12 años. . . . .                                    | 54 |
| 1.1. Descripción geográfica y geométrica de las fachadas en Benicalap, para la evaluación de su potencial de integrar un sistema fotovoltaico. . . . . | 64 |
| 1.2. Descripción geográfica y geométrica de las fachadas en Benicalap, para la evaluación de su potencial de integrar un sistema fotovoltaico. . . . . | 65 |
| 2.1. Características de las capas que conforman la cubierta. . . . .   | 66 |
| 2.2. Características de las capas que conforman el forjado con el terreno. . . . .   | 67 |
| 2.3. Características de las capas que conforman la solera. . . . .   | 67 |
| 2.4. Características de las capas que conforman la fachada. . . . .  | 68 |
| 2.5. Características de los cerramientos de ventana. . . . .   | 68 |
| 2.6. Características de los cerramientos de puerta. . . . .  | 69 |
| 2.7. Características de la fachada ventilada. . . . .  | 69 |
| 2.8. Demandas energéticas para climatización y refrigeración obtenidas de HULC. Comparación entre simulación y edificio base por ley. . . . .          | 70 |
| 2.9. Demandas energéticas para climatización y refrigeración obtenidas de HULC comparando con y sin fachada ventilada. . . . .                         | 70 |
| 2.10. Datos introducidos de la localidad y características de los paneles fotovoltaicos. . . . .   | 71 |
| 2.11. Rendimiento de los paneles fotovoltaicos en su localidad y características del sistema durante el año. . . . .                                   | 72 |
| 2.12. Representaciones de la generación eléctrica diaria según frecuencia y proporción de generación. . . . .  | 73 |
| 2.13. Visualización de las pérdidas del sistema fotovoltaico. . . . .  | 74 |

|   |    |
|---|----|
| 2.14. Los impactos ambientales de las instalaciones eléctricas, incluyendo cableados y protecciones.  | 75 |
| 2.15. Los impactos ambientales de un inversor 3-5 kWp.  | 75 |
| 2.16. Los impactos ambientales de los paneles fotovoltaicos de origen China.  | 76 |
| 2.17. Los impactos ambientales de la generación de electricidad española.   | 76 |
| 2.18. Los impactos ambientales de las estructuras soporte.  | 77 |
| 2.19. Los cálculos de impactos ambientales realizados los resultados de SimaPo como base.   | 77 |
| 2.20. El análisis de la causa de cada uno de los impactos ambientales. Datos detallados de las instalaciones eléctricas, cableado y protecciones incluidos. | 78 |
| 2.21. El análisis de la causa de cada uno de los impactos ambientales. Datos detallados de un inversor 3-5 kWp.   | 78 |
| 2.22. El análisis de la causa de cada uno de los impactos ambientales. Datos detallados de los paneles fotovoltaicos con origen China.                      | 79 |
| 2.23. El análisis de la causa de cada uno de los impactos ambientales. Datos detallados de la generación de 1 kWh de electricidad española.                 | 79 |
| 2.24. El análisis de la causa de cada uno de los impactos ambientales. Datos detallados de las estructuras soporte.   | 80 |
| 2.25. La cuenta de pérdidas y ganancias y cálculo de VAN y TIR  | 80 |

## ABSTRACT

The purpose of this thesis is to evaluate the benefit of installing photovoltaic panels vertically on adequate facades as an option to reduce the energy consumption (heating and cooling) inside of residential buildings. The energy poverty is highly present in the district of Valencia, Benicalap, and the aim of the photovoltaic system is to provide a sustainable choice of electricity, to increase the energy efficiency and at the same time help the Valencian families to improve their home environment. The generation of renewable energy will prevent global warming by reducing the emission of greenhouse gases.

The photovoltaic system is being evaluated with respect to its thermal, electrical, environmentally and economical aspects. The thermal evaluation is computed with the Spanish software Hulec, where photovoltaic panels are installed on the facade with an air gap of 12-15 cm between the panels and the facade. A possible isolating effect of the ventilated facade is examined.

The photovoltaic electricity generated by the solar irradiation and received by the panels is 6522 kWh per year, as simulated in PVsyst. The electric analysis is followed by an environmental LCA carried out in SimaPro, where the generation of electricity is compared to the energy needed during the life cycle of the photovoltaic system.

Furthermore, an economical study is performed, proposing a budget for the system and evaluating the NPV (Net Present Value, VAN in Spanish) and IRR (Internal rate of return, TIR in Spanish).

From the analysis of the environmental impacts and the generation of electricity of the PV system we can conclude that the installation of the photovoltaic system is recommended, despite the investment is not economically feasible since the NPV is still negative after 20 years of operation. The ventilated facade does not contribute to an improvement of the isolation of the building.

Keywords: photovoltaic electricity, energy efficiency, global warming, renewable energy, solar irradiation, life cycle analysis, carbon footprint, sustainability, the covenant of mayors



# Capítulo 1

## Contexto tecnológico

### 1.1. Introducción

El nivel de dióxido de carbono en la atmósfera fluctúa con el tiempo, pero llegó a un nivel máximo de 300 partes por millón en los últimos ocho milenios. Desde 1950 el nivel ha aumentado drásticamente, y ahora la cifra está por encima de 400 partes por millón. [16]

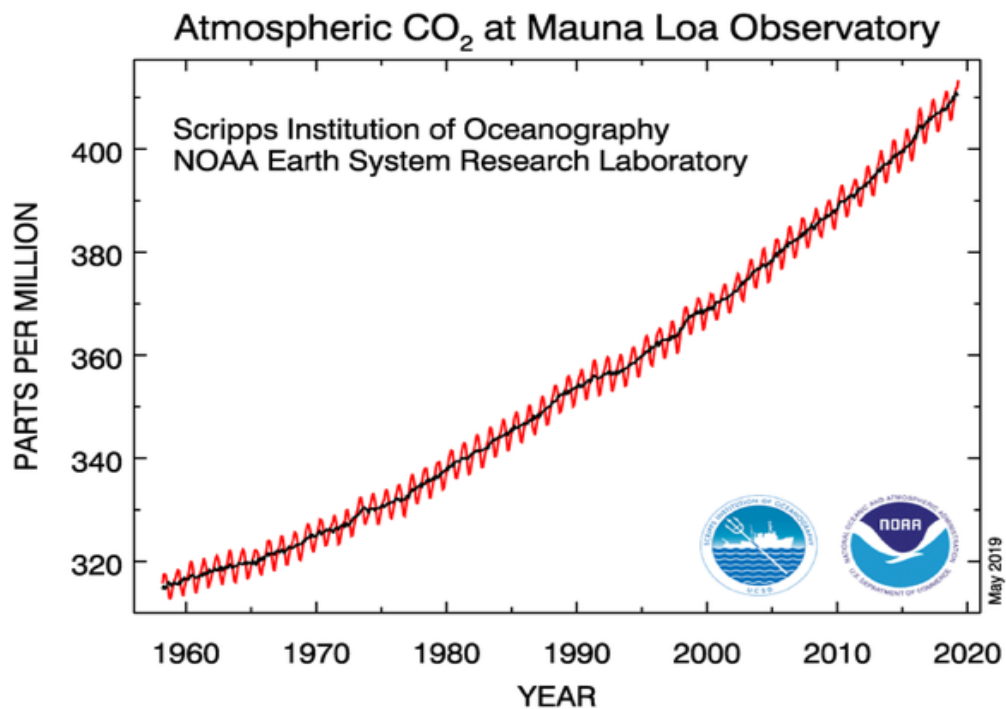


Figura 1.1: Evaluación de la concentración de  $CO_{2e}$  atmosférico. Fuente: NORA.

A comienzos de 2016 se registró una disminución de las emisiones pero en 2018 las cifras

volvieron a subir, y con un incremento de 2,7 % respecto al año anterior. Durante 2018 fueron emitidas 37,1 millones de toneladas de dióxido de carbono, siendo la cifra más alta que se ha medido. Según la organización Global Carbon Project, que proporciona la estadística, el incremento es debido a un mayor uso de combustibles fósiles como fuentes de energía, como son el carbón, petróleo o gas natural. Tal y como se ve en la figura 1.2 [35], las naciones que contribuyen con más emisiones son China, EEUU e India. Europa como continente también representa un emisor significativo.

La organización prevé que las naciones mencionadas van a aumentar su cuota de emisión en los próximos años, mientras que Europa disminuirá su contribución de  $CO_{2e}$  en un 0,7 % (Nota:  $CO_{2e}$  significa Dióxido de Carbono equivalente y es la unidad en que se miden los diferentes gases de efecto invernadero agregados). La emisión de  $CO_2$  en la atmósfera aceleran el cambio climático y el incremento de temperatura. Las grandes cantidades de emisiones de India y China puede explicarse en gran parte por el desarrollo ascendente de los dos países, pero, no obstante, todos los países trabajar hacia el objetivo de desarrollo sostenible (ODS) 13. El objetivo es "Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos" mediante la integración del objetivo de reducir el carbono del desarrollo en la política de todos los países del mundo. [29] [35]

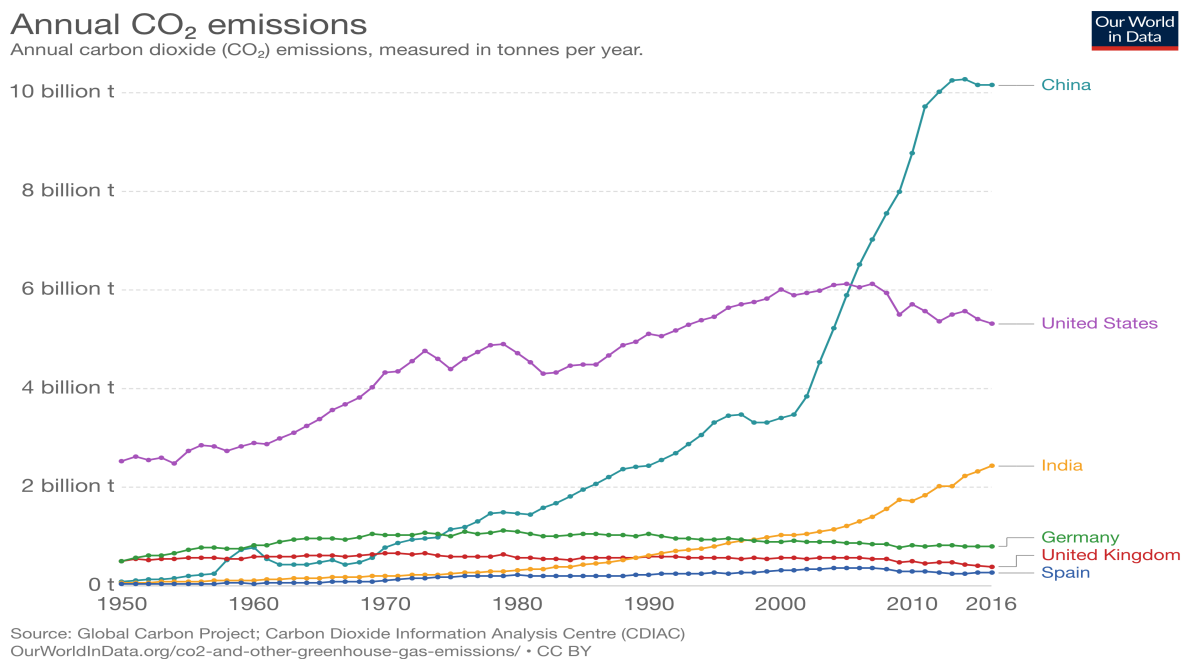


Figura 1.2: La contribución de emisión de dióxido de carbono de diferentes países.

Como se ve en la figura 1.2 [1.2], España al ser un país pequeño en comparación con las grandes potencias, no representa un porcentaje importante de las emisiones. Sin embargo, en España en concreto las emisiones aumentaron desde 1960 hasta alcanzar un pico en 2008, luego durante toda la crisis económica las emisiones disminuyeron y en 2015 volvieron a subir pero a un ritmo más lento. Este ejemplo muestra cómo la política y la economía de un país se refleja en

las emisiones de dióxido de carbono. [41]

Las maneras de cómo reducir las emisiones son muchas. Una mayor generación de energía renovable reduciría las emisiones de gases de efecto invernadero. La consciencia en el consumo de productos y la integración de eco-diseño en el desarrollo de productos son otras estrategias.

El objetivo de este trabajo es evaluar una potencial estrategia para combatir el cambio climático en la ciudad de Valencia, mejorando la eficiencia energética de los edificios, aprovechando su superficie para generar electricidad a partir del recurso solar, limpio y renovable, y mejorando la conciencia de la sociedad.

### 1.1.1. Estructura del trabajo

En el presente trabajo se analizará el efecto que tiene la implementación de un sistema fotovoltaico en una vivienda plurifamiliar en cuatro aspectos:

- a) En el primer análisis se evalúa térmicamente la vivienda y su interacción con el ambiente, y como cambia con la instalación del sistema fotovoltaico.
- b) El segundo aspecto es el eléctrico y trata de concretar la generación eléctrica del sistema, pero también identificar las pérdidas y sus causas.
- c) Los aspectos ecológicos se analizará en el estudio de los impactos ambientales durante el ciclo de vida del sistema fotovoltaico, incluye la Huella de Carbono, las emisiones de gases de efecto invernadero y una concertación de los impactos de los diferentes componentes.
- d) Por último, se estudia la rentabilidad de la inversión, su VAN y TIR.

## 1.2. Mix energético España

El consumo de energía en España depende fuertemente de la posición geográfica. Así, las zonas centrales (continentales) son las que tienen los consumos energéticos más elevados, en contraposición, las zonas con clima atlántico como Galicia y el País Vasco, o las zonas mediterráneas requieren un menor aporte de energía. El consumo total medio de energía en los hogares es de 0,852 tep, equivalente a 9.908,76 kWh, de los cuales 3.487 kWh corresponde a consumo de electricidad.

En el mes de marzo 2019, un 56,5 por ciento de la energía en España fue generada por fuentes energéticas no renovables, la mayoría de ella de la tecnología nuclear. La distribución de generación entre las diferentes fuentes se puede consultar en la figura 1.3 [39]

El sector de transporte consume el 40 % del total de la energía del país, siendo el mayor sector consumidor. En segundo lugar se encuentra el residencial, el cual consume el 37 % de la energía. El resto es consumido por el sector industrial. [19]

En el estudio de evaluación técnica, económica y ambiental de la integración de un sistema fotovoltaico en fachadas que se va a desarrollar en el presente trabajo, se centra en el sector

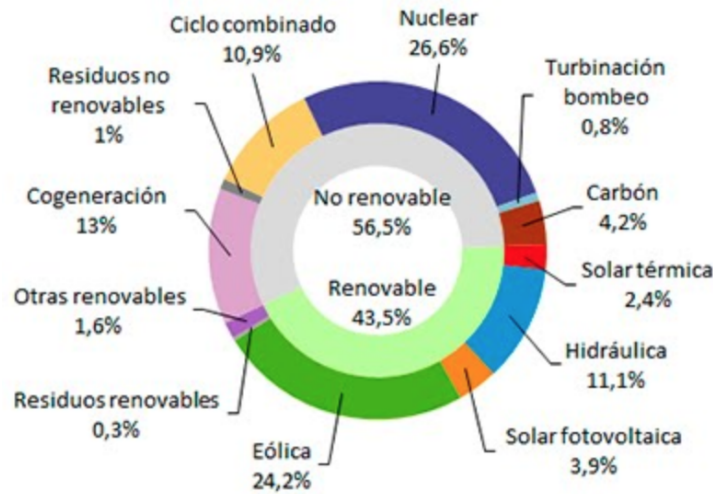


Figura 1.3: Estructura de las fuentes de generación de electricidad en España.

residencial. A continuación, se comentará el consumo de energía en ese sector y la proporción que va dedicada a calefacción. Se explicará también la tecnología fotovoltaica y su uso.

### 1.3. El pacto de los alcaldes

El calentamiento global es posiblemente el mayor problema al que se ha tenido que enfrentar la humanidad, poniendo en peligro la vida en la tierra. Este efecto provoca (entre otros) el aumento de la temperatura media del planeta. El cambio climático es ocasionado principalmente por los gases de efecto invernadero. Por su gravedad, en las primeras décadas de este siglo XXI la Comisión europea ha enfocado sus proyectos a cuestiones energéticas y ecológicas. Efectivamente, la UE ha desarrollado objetivos comunes para los países miembros, con el motivo de desarrollar una sociedad sostenible con menores emisiones y más energía limpia tanto para los residentes como para el sector público.

Entendemos como gases de efecto invernadero a aquellos gases atmosféricos que bloquean la radiación en infrarrojo y evitan que el calor abandone la atmósfera. El gas más representativo es el dióxido de carbono, el resto de gases, como el metano y óxido nitroso se calculan como gases equivalente de dióxido de carbono  $CO_{2e}$ . [25]

El previsto incremento de la temperatura media de dos grados centígrados tendría un efecto devastador para la humanidad. Las consecuencias serían cambios profundos en los patrones del clima: sequía, fenómenos extremos, extinción de vegetación, menos posibilidades de cultivar y un nivel de mar ascendente [10]

Derivado de la situación global ambiental, la UE ha desarrollado objetivos comunes para los países miembros, con el motivo de desarrollar una sociedad sostenible con menores emisiones

y más energía limpia tanto para los residentes como para el sector público.

El departamento de Investigación e Innovación de la UE financia varios proyectos que buscan facilitar el logro de los objetivos y acelerar las acciones. La iniciativa se llama Horizon 2020 y uno de los proyectos financiados, el denominado GrowGreen (<http://growgreenproject.eu/>), tiene lugar en Benicalap en Valencia, lo cual se explica más adelante. [7]

Los líderes europeos han decidido que las emisiones de los gases de efecto invernadero tienen que bajar un 20 % hasta 2020, lo cual se logra a través de mejora de la eficiencia energética, ahorros de energía e inversiones en energía limpia. La eficiencia energética significa usar menos energía para el mismo servicio mientras los ahorros energéticos trata de cambiar los hábitos y así utilizar menos energía.

El pacto de los alcaldes es una colaboración entre países y autoridades locales de los miembros de la UE. El pacto está establecido por la comisión de la UE y sus objetivos son verificar el progreso y los avances para alcanzar las metas para el 2020 y el calentamiento global. El compromiso que los alcaldes se comprometen a cumplir al firmar el pacto, es conseguir el 20 % en la reducción de las emisiones mediante la implementación de planes de acción y mejorar la resiliencia climática. En mayo de 2019 el pacto tenía 7.755 firmantes en 53 países diferentes. [31]

La Comunidad Valenciana es miembro del pacto desde 2009 y el objetivo local es aumentar la calidad de vida de los residentes y turistas en Valencia, incrementar la eficiencia energética y reducir los costes económicos asociados con ella.

Para el 2020 Valencia debe disminuir sus emisiones de  $CO_{2e}$  en un 20 % y ya se ha conseguido la mitad de las 78 mil toneladas que equivale esa reducción. [32]

Una vez alcanzados los porcentajes de disminución, es el doble (40 %) para el 2030, junto con una mejora de la eficiencia energética y un incremento de la energía de fuentes renovables, ambos al menos un porcentaje del 27 por ciento.

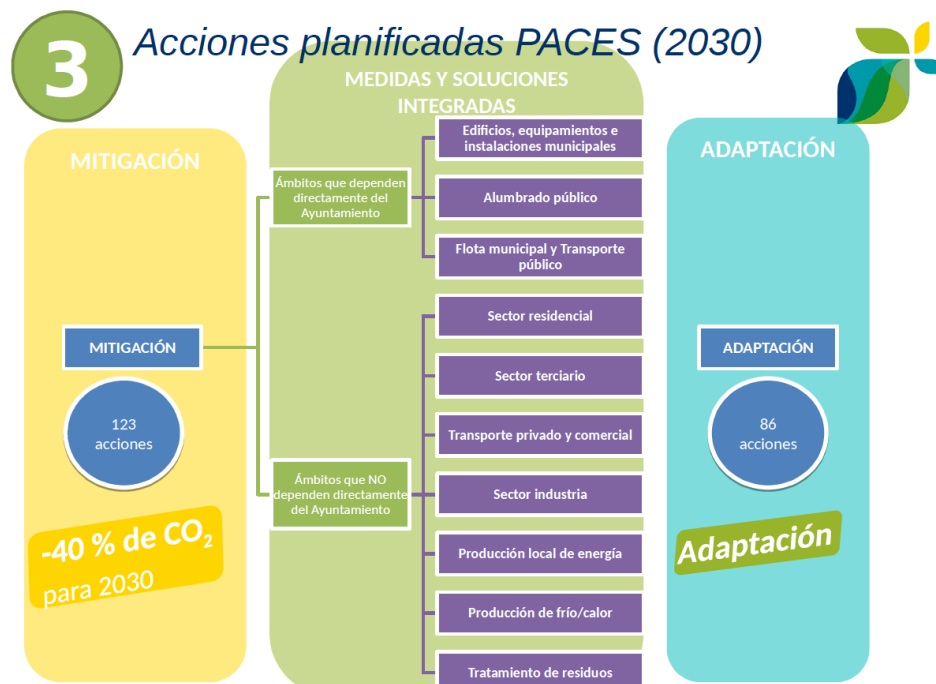


Figura 1.4: Los planes de acción acordados para realizar por el ayuntamiento de Valencia.

En la figura 1.4 [9] se presenta el plan que el ayuntamiento de Valencia propone realizar para el alcance de 2030. Para alcanzar el objetivo de la reducción de las emisiones se implementarán 123 acciones de mitigación y 86 acciones para adaptar la ciudad al cambio climático causado por el calentamiento global.

## 1.4. Contribución del sector residencial a las emisiones de gases de efecto invernadero de la ciudad

Un requisito del pacto de los alcaldes es proporcionar los datos de partida, la línea base de emisiones y consumos de energía de la ciudad. Las emisiones superaban las 2.500 toneladas  $CO_2$  anuales en el año de evaluación. La figura 1.5 [1.5] [32] muestra la distribución de las emisiones por año entre los sectores, siendo el sector del transporte el de mayor impacto. En resumen, la contribución del sector residencial se redujo en 2 % en los años de evaluación. [32]

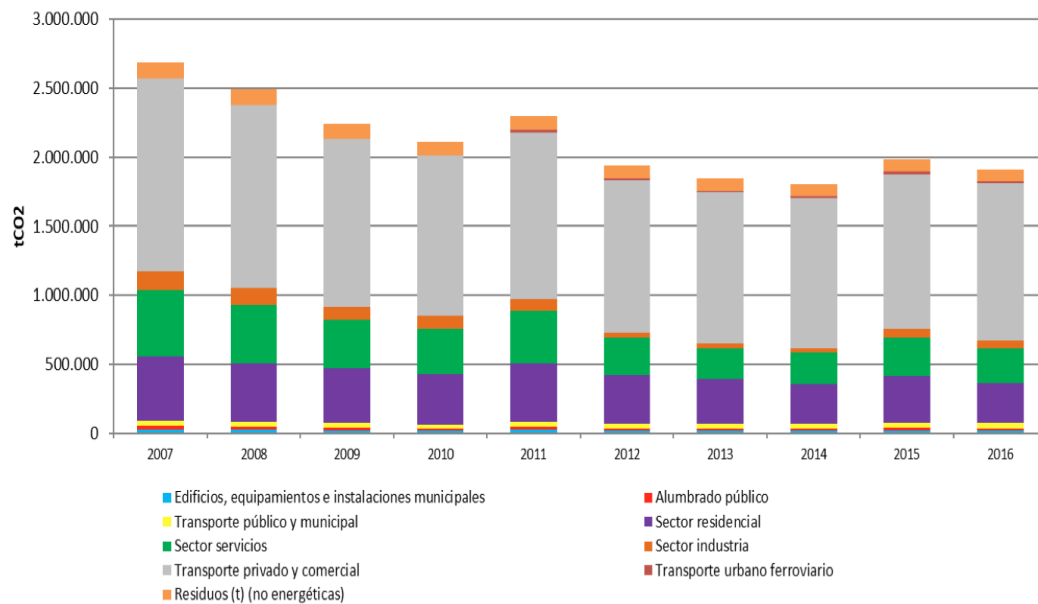


Figura 1.5: Progreso de la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero.

El consumo de electricidad del sector residencial está alrededor de 2.000.000 MWh por año entre los años 2007 y 2016. En resumen, la contribución del sector residencial se redujo en 2 % en los años de evaluación. [8]

### 1.4.1. Tipos de consumo de energía en una vivienda

El consumo anual medio en la zona mediterránea, donde Valencia se encuentra, está en 8,636 kWh por hogar y año. En dicha zona geográfica el consumo de energía se proporciona entre los servicios como se ha representado en la gráfica de la figura 1.6 [18] Mayormente el consumo de energía va a calefacción.

Por otro lado, las fuentes de energía principales se dividen como en la gráfica de la figura 1.7 [18] La cuota de producción de energía de fuentes limpias, energías renovables, tiene que

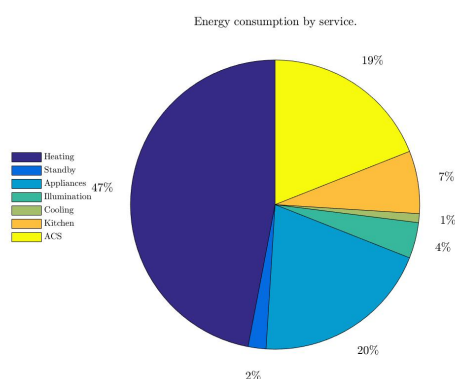


Figura 1.6: Distribución del consumo de energía según servicio, en el sector residencial.

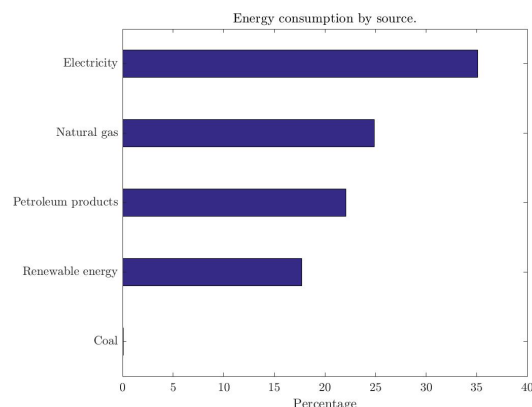


Figura 1.7: Distribución de las fuentes energéticas en el sector residencial.

aumentar según el pacto de los alcaldes para para que Valencia cumpla sus compromisos y la sociedad sea más sostenible.

## 1.4.2. Eficiencia energética de las viviendas

La certificación energética es un documento oficial que proporciona información sobre la eficiencia del edificio, teniendo en cuenta el aislamiento del edificio, instalaciones térmicas y de iluminación. Se evalúa con las letras de la A a la G, la primera siendo la mejor eficiencia y la última la menos eficiente, es decir, con las mayores pérdidas. En general la zona mediterránea de España la eficiencia energética de las viviendas es baja, y en Valencia en concreto tan solo un porcentaje de 0,3 % tiene una certificación energética de C o mejor según datos de Certicalia. [12] [6]

Los electrodomésticos tienen su propia letra de certificación energética, y el uso de electrodomésticos representan la segunda mayor parte del consumo de energía en el hogar. Mejorando la calidad de la certificación energética es significativo para el ahorro en gastos energéticos, sobre todo la calefacción, y en la reducción de la emisión de gases de efecto invernadero.

Para alcanzar los objetivos del pacto de los alcaldes, además, es esencial cambiar la estructura del consumo de energía y utilizar energías renovables en mayor medida que hoy en día.

Una mayor conciencia del problema podría cambiar los hábitos de las familias y hacerles invertir en rehabilitación energética de las viviendas, consumo responsable, mejores equipamientos e instalaciones, etc. Diversos estudios concluyen que el consumo de energía podría reducirse mucho con eficiencias mejores [11] [17]. En la siguiente sección se explica una estrategia para abordar el problema general, o cómo aliviar los efectos del mismo.

Finalmente, hay que destacar que en Valencia y otras partes de España hay un problema impor-



tante de pobreza energética asociado los bajos ingresos de algunas familias, el alto precio de la energía y la mala eficiencia de las viviendas y sus equipamientos. Estar en pobreza energética significa ser incapaz de mantener una temperatura adecuada en la casa, por debajo de la temperatura recomendada en invierno y/o por encima la recomendada en verano. Uno de cada diez valencianos se encuentran en situación de pobreza energética [7]. La rehabilitación energética de las viviendas puede en paralelo aliviar la pobreza energética y combatir la emisión de gases de efecto invernadero

### **1.4.3. Rehabilitación energética dentro de las viviendas**

Rehabilitar energéticamente las viviendas en Valencia es una manera de trabajar hacia los objetivos para el 2030 del pacto de los alcaldes. La rehabilitación conlleva un proceso de disminución de emisiones y mejora de eficiencia energética y es una manera de afrontar los problemas de la pobreza energética en Valencia.

La mala condición de la eficiencia energética de las viviendas se puede reducir con la rehabilitación energética. De las posibles soluciones la mejora de la eficiencia de equipos de climatización es una opción, pero no se aborda en este trabajo de fin de grado.

Por otro lado, es posible rehabilitar la envolvente de las viviendas y desarrollar soluciones de mejores aislamiento de las fachadas, ventanas y techo.

El gobierno municipal y regional, a través del Instituto Valenciano para la Competitividad Económica (IVACE), que integra la antigua, proporciona dos tipos de ayudas económicas para facilitar la rehabilitación de las viviendas y promover que los dueños asuman la responsabilidad del cambio climático y parte del impacto que sus casas tienen. La primera es un kit de aislamiento que reduce las pérdidas de calor en invierno (o ganancias de calor en verano); y la segunda es un préstamo para aislar mejor la vivienda. Los tipos de aislamiento de la envolvente está detallado más adelante.

La generación de energía renovable es otra forma de rehabilitar, por ejemplo, mediante una instalación de paneles fotovoltaicos o una instalación de energía eólica.

### **1.4.4. Aislamiento de las fachadas**

Hay diferentes métodos de aislar las fachadas que se pueden clasificar en dos fundamentales:

- a) Mediante instalación de un material aislante térmico en los muros, exterior o interiormente, o bien
- b) Inyectar el material dentro del muro.

La rehabilitación energética a través de aislamiento de las fachadas depende de la posición geográfica y las condiciones ambientales del edificio. En climas fríos se aíslan las fachadas norte para disminuir las pérdidas de calor, mientras en climas cálidos el aislamiento se hace

en las fachadas sur, este y oeste dónde hay más sol con el objetivo opuesto de reducir la carga térmica solar y ahorrar en refrigeración.

Algunas de las diferentes técnicas de aislamiento térmico por el exterior de la fachada son:

- fachadas ventiladas,
- sistemas de aislamiento térmico exterior (SATE) con espuma de poliuretano proyectado dentro o materiales similares.

En cuanto al aislamiento térmico por el interior hay opciones de:

- Una plancha de material aislante,
- placas de yeso y poliestireno expandido. [40]

En el caso de inyectar el material aislante térmico en el muro, lo más habitual es usar la espuma de poliuretano proyectado para rellenar las cámaras.

De las técnicas mencionadas, en este TFG se propone evaluar si situar paneles fotovoltaicos verticales exteriormente en la fachada de un edificio tienen un efecto aislante como fachada ventilada. También se analiza el aporte eléctrico de los paneles, sumando la generación con renovables a la potencial mejora de la eficiencia térmica de la vivienda. El estudio debe permitir elaborar recomendaciones para las actuaciones para el Pacto de los Alcaldes en Valencia. Se va a analizar la integración de una instalación tipo en un bloque de viviendas real de Valencia. Según los resultados, se podría ampliar el rango del trabajo añadiendo otras consideraciones como las distintas orientaciones, estructuras y alturas de las construcciones. [30]

## 1.5. Tecnologías renovables

### 1.5.1. Implantación y uso

El mercado energético de España tiene implantado, entre otras fuentes de energía renovable, energía de residuos renovables, energía eólica onshore y offshore (aunque mucha menos), energía solar fotovoltaica y térmica, energía hidráulica y energía geotérmica (anecdótica). Un total del 23,5 % de la producción de electricidad en el país viene de fuentes renovables, y la contribución de cada tipo de energía se muestra anteriormente en la figura [1.3]. La mayoría de energía renovable es eólica, luego la hidráulica y en tercer lugar esta la energía solar fotovoltaica.

La generación hidroeléctrica en España está más implementada en las partes oeste y en el interiores del país. Es una fuente de energía que igual a la eólica implica retos en la conexión a la red eléctrica, pero por otro lado tiene una gran ventaja en la posibilidad de almacenamiento de energía a través de acumuladores de agua [17]. Pero, como con la eólica, la hidráulica solo tiene sentido si se puede cerca de las ciudades, nunca dentro de ellas.

Actualmente el 3,9 % de la generación eléctrica española viene de fuentes solares fotovoltaicas. España tiene mucha potencia de implementación de la técnica de energía renovable por la estabilidad de las horas y porcentajes de sol a lo largo del país. En España se pueden encontrar desde instalaciones fotovoltaicas pequeñas, en cubiertas y fachadas de edificios dentro de la

ciudad (pero hay muy poca potencia instalada), hasta a escala grande en plantas fotovoltaicas que ocupan mucho espacio.

### 1.5.2. Generación de electricidad fotovoltaica

La tecnología fotovoltaica convierte la potencia de la luz solar (irradiación) en electricidad. Por lo tanto, la orientación e inclinación del captador frente a la radiación, y las sombras tiene un gran impacto en la cantidad final generada.

La célula fotovoltaica consiste en un material semiconductor, cuyas propiedades conductivas son entre un metal y un aislante. Los semiconductores están unificados con los enlaces covalentes, tiene una banda de valencia lleno de electrones y una banda de conducción vacío. Cuando están en contacto a la temperatura ambiente los enlaces covalentes se rompen y los electrones se van a la banda de conducción, dejando un hueco en la banda de valencia, cuyo acto crea conducción eléctrica.

En los semiconductores, para aumentar la electricidad conductiva, se añade átomos dopantes. Los átomos dopantes incrementan el porcentaje de electrones o huecos de electrones, lo cual aumenta la conducción en el material. Dependiendo de si son los electrones o los huecos de electrones los que incrementan, son tipo N o tipo P respectivamente.

En los paneles fotovoltaicos se conecta las células y se crea un circuito eléctrico cerrando el círculo, lo cual crea una diferencia de voltaje y una corriente eléctrica que depende de la radiación solar. Hay paneles con 36, 60, 72... células, dependiendo del voltaje deseado del panel. La figura 1.8 [20] muestra cómo las células fotovoltaicas están integradas en el panel y el resto de sus componentes.

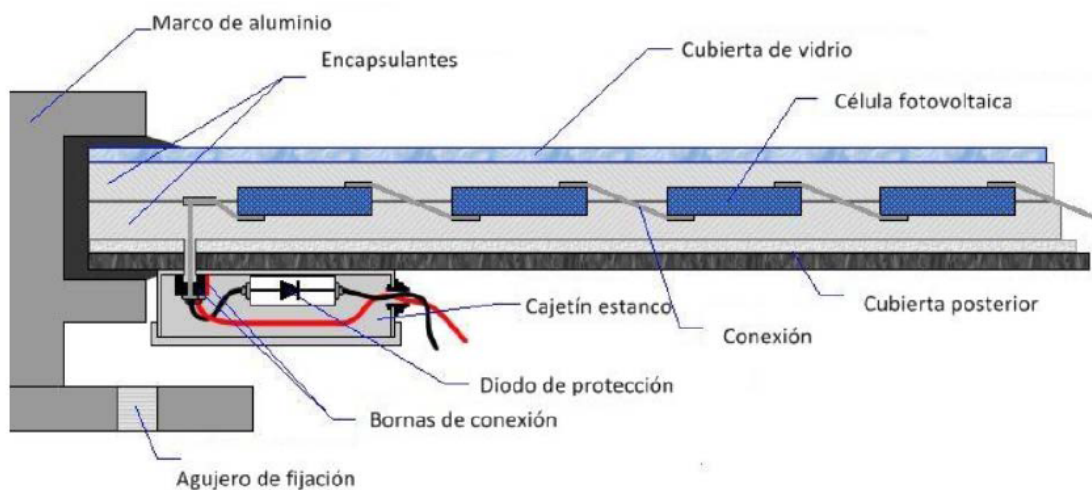


Figura 1.8: : Estructura y componentes de un panel fotovoltaico.

La potencia máxima del panel corresponde al producto máximo de la corriente  $I_{mpp}$  y la tensión

$U_{mpp}$  en el punto de máxima potencia (mpp), esto es, en las condiciones estándares que se miden en los paneles (STC). La eficiencia energética se calcula dividiendo la potencia generada por la potencia de la radiación incidente,

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_L} = \frac{I_{mpp} \times U_{mpp}}{P_L}. \quad (1.1)$$

El factor de llenado es la proporción entre la salida a máxima potencia de una célula o módulo (bajo condiciones normalizados de ensayo) y el producto de la corriente de corte circuito y el voltaje de circuito abierto en las mismas condiciones.

La temperatura del panel afecta la eficiencia de conversión de los paneles y por lo tanto también la potencia generada. Los paneles siempre están constantemente buscando el punto de máxima potencia y ese punto se puede encontrar en la curva voltio - corriente, y su relación con la temperatura del módulo depende del tipo de panel y la temperatura ambiente (ver figura 1.9)

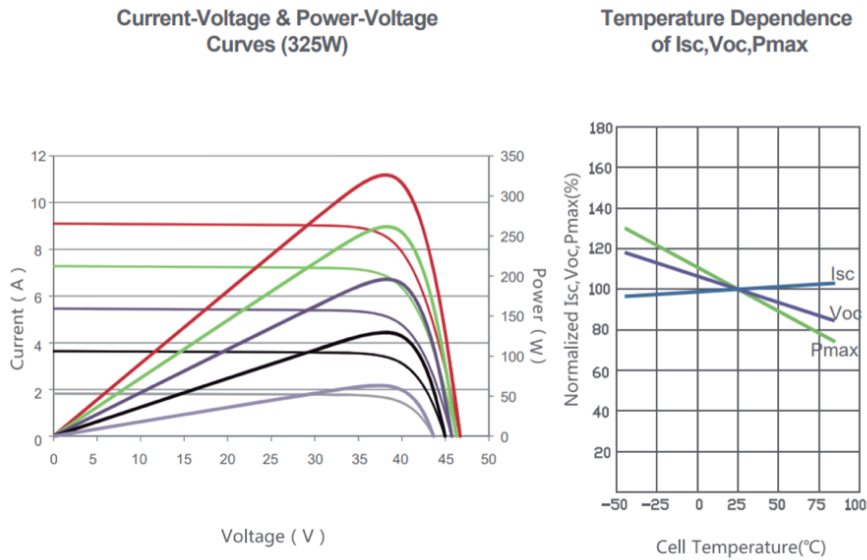


Figura 1.9: Relación entre Intensidad y Voltaje de un panel fotovoltaico tipo, e influencia de la temperatura de las celdas en la tensión, intensidad y potencia del panel.

La relación entre temperatura del panel y la corriente

$$I_{sc} = I_{sc,ambiente} + \alpha(T - T_{ambiente}). \quad (1.2)$$

Los mismo aplica para el voltaje

$$U_{oc} = U_{oc,ambiente} + \beta(T - T_{ambiente}). \quad (1.3)$$

Los constantes  $\alpha$  y  $\beta$  dependen del tipo de panel, y  $I_{sc,ambiente}$  tanto como  $U_{oc,ambiente}$  son los

valores de la corriente y el voltaje a la temperatura del ambiente. [21]

En el punto de potencia máxima, el panel fotovoltaico puede proveer la máxima electricidad para el nivel de radiación dado, y es ese punto que se quiere conseguir. [20] Los fabricantes de paneles y placas fotovoltaicas proveen las características del tipo de panel en los catálogos de sus productos.

El sistema fotovoltaico en los edificios tiene que ser complementado con una o varias inversores para la corriente. El circuito de los paneles genera electricidad en corriente continua mientras que la electricidad que consumen las viviendas es de corriente alterna. Dependiendo del voltaje del sistema de generación fotovoltaico, se necesita más o menos inversores. En una sección posterior se dan más detalles sobre el diseño de la instalación fotovoltaica y la selección de equipos.

En España se utiliza la tecnología fotovoltaica integrado en edificios (cubiertas y fachadas) y en plantas solares. Las plantas solares tienen gran tamaño, su ventaja es que reciben una gran cantidad de radiación solar y hay poca sombra. Su dificultad de distribuir la energía eléctrica a la red y el impacto ambiental que tiene son los inconvenientes de esas plantas. El uso de la tecnología fotovoltaica en edificios tiene la ventaja de que los residentes o propietarios del edificio puede aprovechar de la electricidad que los paneles generan, reduciendo las pérdidas de distribución de la energía. Además, en horas de poca demanda, la electricidad puede ir directamente a la red eléctrica, y se reducen así los costes y problemas con el almacenamiento de la electricidad excedente. Con el nuevo “Real Decreto 244/2019, de 5 de abril, por el que se regulan las condiciones administrativas, técnicas y económicas del autoconsumo de energía eléctrica”, las instalaciones de autoconsumo de electricidad se fomentan y la electricidad excedente puede verse a la red y compensar parte del consumo de electricidad para un cierto periodo, en lo que se llama “balance neto” de electricidad.

## **1.6. Estado del arte de los paneles fotovoltaicos en la fachada de edificios**

Diversos investigadores tratan de encontrar soluciones o alternativas para los problemas que algunas de las tecnologías verdes tienen. Se tratan de, entre otras cosas, la dificultad de almacenar la energía generada, una curva de demanda irregular, la necesidad de baterías que exigen recursos naturales y materias en los productos tecnológicos que emiten gases de efecto invernadero durante la fabricación. Se estudia como las tecnologías renovables pueden ser implementadas de mejor manera, qué tan efectiva es y cómo la eficiencia puede ser mejorada. Por otro lado, la inversión en tecnologías de energía renovable tiene que ser económicamente justificable.

La integración de paneles fotovoltaicos en fachada, por una parte se hace en edificios existentes, y por otra parte se hace en edificios de nueva construcción. La empresa sueca Soltech Energy ha inventado una placa de fachada construida de células solares, que se instala en los edificios durante la fase de construcción. El nuevo panel de fachada reemplaza la capa exterior de la

fachada (yeso u otro revestimiento) y genera electricidad a los residentes del edificio. Soltech Energy afirma que la capa de fachada genera entre 100-123 Wh por metro cuadrado cada hora, dependiendo del color de la capa. [28]

La misma empresa también fabrica tejas que generan energía eléctrica. Según la innovadora Anna Svensson el objetivo del producto es contribuir con una solución de generación de energía solar para las viviendas, y a la vez es estéticamente bonita y que evita poner material encima otro material. La figura 1.10 [27] muestra un ejemplo.



Figura 1.10: Una cubierta integrada con placas fotovoltaicas.

Investigadores tratan de encontrar soluciones o alternativas para los problemas que algunas de las tecnologías verdes tienen. Se tratan de, entre otras cosas, la dificultad de almacenar la energía generada, una curva de demanda irregular, la necesidad de baterías que exigen recursos naturales y materias en los productos tecnológicos que emiten gases de efecto invernadero durante la fabricación. Se estudia como las tecnologías renovables pueden ser implementadas de mejor manera, qué tan efectiva es y como la eficiencia puede ser mejorada. Por otro lado, la inversión en tecnologías de energía renovable tiene que ser económicamente justificable.

El ayuntamiento de Barcelona trabaja para conseguir que la ciudad sea sostenible, y una de sus iniciativas es la creación de un edificio energéticamente eficiente, como experiencia piloto que sirva de ejemplo a otros proyectos. Es un edificio con las puertas abiertas a quién quiera visitarlo y aprender de sostenibilidad y tener inspiración sobre cómo ahorrar energía. Además, el edificio, nombrado La Fábrica Del Sol, en la figura 1.11 [33], tiene paneles solares fotovoltaicos instalados en la fachada.

Como fondo e inspiración para este TFG se ha estudiado varios artículos de interés para el desarrollo el proyecto. Así, se ha llegado al a conclusión de que la evaluación de la instalación de paneles fotovoltaicos verticales en las fachadas es técnica, económica y ambiental. Por lo tanto, es necesario estudiar todas esas áreas.

En un estudio económico de la integración de fachadas fotovoltaicas en edificios comerciales, se ha calculado el tiempo de recuperación de la inversión y el impacto de la orientación y



Figura 1.11: El edificio más sostenible en Barcelona, La Fábrica Del Sol.

zona climática de las fachadas. También analiza la distancia óptima de la cámara de aire y la reducción de calentamiento del panel fotovoltaico que implica esa distancia.

El autor Hassan Radhi del departamento de arquitectura en la universidad UAE en los Emiratos Árabes Unidos, define los paneles fotovoltaicos instalados en el edificio por unidad métrica de sistema fotovoltaico y basa en esa unidad en su estudio. [37]

Radhi analiza la producción de energía en distintos lugares de los Emiratos Árabes Unidos, en su posición geográfica con respecto al ecuador y altitud. Para estimar el tiempo de recuperación de la inversión primero estudia la cantidad de energía necesaria y luego la producción que los paneles aportan, y así puede medir el balance de energía de ellos. Su resultado en esas condiciones es que la energía total requerida para producir un metro cuadrado de sistema fotovoltaico en una fachada es 1450 kWh. La producción anual de un metro cuadrado de sistema fotovoltaico fue entre 110 y 112 kWh y el tiempo de recuperación de la inversión en energía se estimó a alrededor 12.5 años en la orientación oeste.

Los factores más interesantes que afectan a la cantidad de generación de energía eléctrica de los paneles durante el año, son la temperatura y la humedad relativa, según el autor. Radhi estudia la variación de los parámetros en los tres lugares de estudio que ha elegido y compara el resultado con la potencia generada para obtener sus conclusiones. En todos los sitios la temperatura aumenta hasta un pico en julio/agosto, para después disminuir. La diferencia más alta de temperatura se da entre las ubicaciones de Al-ain y Abu Dhabi, y varía algo menos de 5 grados de media.

La humedad relativa tiene diferencias más altas entre las posiciones, en particular en los meses de primavera cuando Abu Dhabi tiene un 10 % más de humedad relativa que Al-ain. Sus valores en general, en la localización geográfica, son altos durante los meses de invierno, noviembre a marzo, y bajos en mayo cuando llegan alrededor de 30-35 %. Sigue la misma pauta en las tres ciudades. En conclusión, hay variaciones en la temperatura y la humedad relativa en los diferentes sitios, pero son pequeños. La irradiación solar media tiene el valor más alto en Al-

ain, donde las temperaturas son las más altas y la humedad relativa la más baja, entre las tres ciudades en estudio. En Dubai, que tiene un clima entre el de Abu Dhabi y Al-ain, el valor medio de la irradiación solar es 45 kWh/año más bajo por cada metro cuadrado de sistema fotovoltaico. Esta conclusión corresponde a paneles en forma horizontal.

La integración vertical (inclinación de 90 grados), genera más electricidad en la orientación oeste que directamente hacía sur debido a que el sistema sufre una reducción en la eficiencia en irradiación solar muy intensiva. Esto se tiene en cuenta en la selección de fachadas potenciales. Para reducir el calentamiento excesivo del panel se introduce una cámara de aire de 12-15 cm. [37], pero no se estudia el efecto del panel como elemento de una fachada ventilada en los edificios donde se instala. Este TFG cubre en parte esa carencia.

En un estudio técnico, realizado por investigadores en el área de energía renovable en la universidad politécnica en Hong Kong, se analiza la diferencia en la cantidad de transmisión de calor en una fachada sin y con paneles fotovoltaicos. Para un mejor efecto aislante, se llega a la conclusión de que los paneles deben ser introducidos con una cámara de aire entre la fachada y los paneles. La eficiencia de conversión a energía eléctrica aumenta en un 8 por ciento con la cámara al mismo tiempo que la temperatura de los paneles disminuye en 15 grados centígrados y la de la superficie externa de la fachada en 20 grados.

En el mismo estudio se determina que fachadas orientadas al sur tienen potencial de reducir las ganancias de calor por la fachada y así ahorrar 52,1 kWh de refrigeración durante el verano. [22], por tanto, parece una estrategia potencialmente positiva aprovechar el efecto combinado de generador eléctrico y aislante térmico de los paneles fotovoltaicos verticales en las fachadas de los edificios.

El tiempo de recuperación de inversión, que es lo más interesante en cuanto al análisis económico, ha sido estimado a 6,5 años en Sharjah para un sistema fotovoltaicos integrado en paneles inclinados en orientación sur pero 138 años en Abu Dhabi en forma horizontal. Parámetros importantes son coste de la electricidad, eficiencia de los paneles y potencia. [38]

El tiempo de recuperación de inversión, que es lo más interesante en cuanto al análisis económico, es muy variable. Por ejemplo, ha sido estimado en 6,5 años en el estudio de Sharjah para un sistema fotovoltaico integrado en paneles inclinados en orientación sur, pero 138 años en Abu Dhabi en forma horizontal. Parámetros importantes son coste de la electricidad, eficiencia de los paneles y potencia total de la instalación [38].

Otra conclusión del estado del arte es que la cantidad de años necesarios para recuperar la inversión es diferente según la posición geográfica, zona climática y las propiedades técnicas de los paneles.



# Capítulo 2

## Presentación de datos iniciales

### 2.1. Caso de estudio, Benicalap

Benicalap es un distrito de Valencia con dos barrios, Benicalap y la Ciudad Fallera. En el barrio de Benicalap, ver el mapa de la figura 2.1 [15], la mayoría de los edificios fueron construidos en la segunda mitad del siglo pasado, mientras la Ciudad Fallera es un área más moderna. Una gran parte de sus edificios fueron construidos desde 2008 hasta 2010 y es una zona menos urbanizada con más distancia entre los edificios.

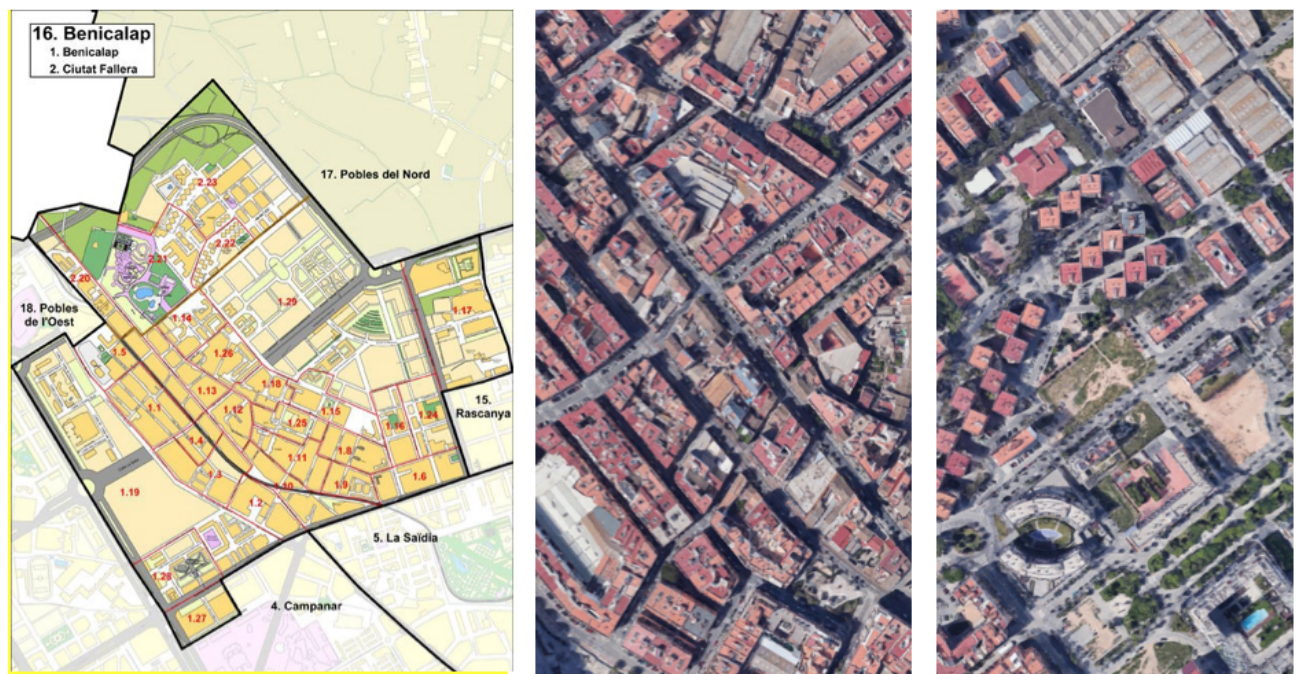


Figura 2.1: El distrito valenciano, Benicalap y ejemplos de la diferente densidad de viviendas en el barrio de Benicalap y en el de Ciudad Fallera.

La pobreza energética está presente en el distrito, una de cada seis personas de los 45.000 habitantes, gasta más de un 10 % de sus ingresos en facturas energéticas, y un quinto de ellos se encuentran en una situación de LIHC "low income high cost", bajos ingresos y coste elevado.

[11]

Como anteriormente se ha contado, Benicalap forma parte de los proyectos europeos, con el trabajo nombrado "Grow Green", liderado por la entidad pública del Ayuntamiento de Valencia, Las Naves. El propósito de Grow Green es encontrar e implementar soluciones verdes en el barrios, como respuesta al calentamiento global. [26] En el contexto de este proyecto se realiza este TFG. Es interesante estudiar el distrito de Benicalap por su mezcla de viviendas, la extensión de la pobreza energética en los barrios y su potencial para rehabilitar energéticamente sus viviendas.

## 2.2. Selección de las fachadas

Las fachadas en Benicalap han sido elegidas por una evaluación de factores como son:

- su orientación,
- el porcentaje de horas de sol, relacionado con la existencia de sombras, u otras barreras.
- El diseño del exterior, es decir, posición de las ventanas, balcones y otros elementos constructivos, y
- resistencia y adecuación de la fachada para sujetar paneles.

En cuanto a los factores geográficos, la orientación se considera sur, sur-oeste o incluso oeste como opciones de buen potencial (ver los estudios ya referidos de Rahdi [37] [38]). Además, el porcentaje de sol deberá ser elevado y la media de horas de sol por día también.

El diseño de la fachada y la superficie disponible de mayor potencial es el que no tiene ventanas ni balcones, o muy pocos. Esto juega un papel fundamental para la posibilidad de instalar paneles verticales en ellas.

En general los edificios se encuentran cerca, lo cual en muchos casos no hace posible la llegada de la luz directa. En otros casos, los árboles y la vegetación también impiden el acceso a la luz solar directa, y por eso los paneles muchas veces deben colocarse a una altura mayor, por ejemplo a partir del segundo piso.

Asimismo, se ha de tener en cuenta los materiales del envolvente por la transmisión de calor y su resistencia. La instalación de los paneles fotovoltaicos en la fachada implica un incremento de peso, que depende del tamaño y tipo de panel, pero está alrededor 25 kilos por panel. A continuación, se presenta la fachada elegida para este TFG y realizar un análisis económico, técnico y ambiental con los paneles instalados.

### 2.2.1. Presentación de la vivienda escogida

La fachada seleccionada está en el edificio plurifamiliar de la Calle Andreu Alfaro 14. Es un edificio construido en 1970, de seis plantas en el barrio de Ciudad Fallera. Su orientación en la dirección sur-oeste tiene mucha irradiación solar y un alto número de horas de sol por día.

Su posición geográfica cerca de un parque acuático en Benicalap como muestra la figura 2.2 [3] y 2.5 hace que la radiación solar sea más alta, no hay edificios que cubre la fachada con sombras.

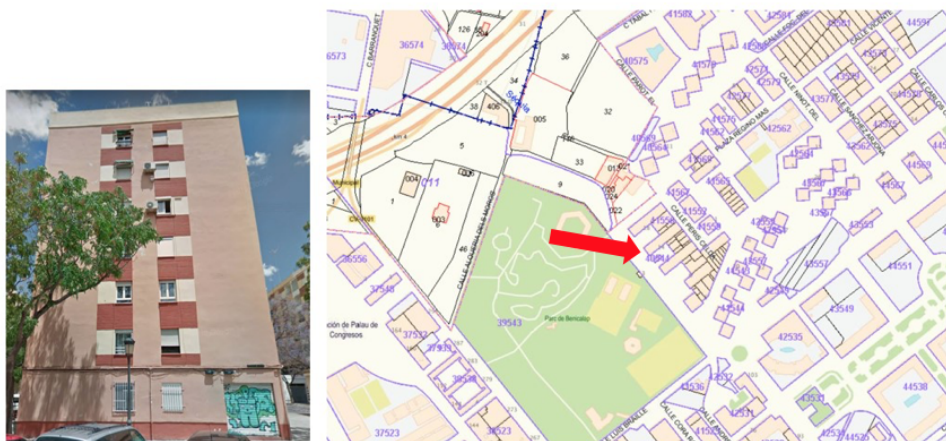


Figura 2.2: La fachada sur-oeste de la vivienda y su posición geográfica enfrente del parque.

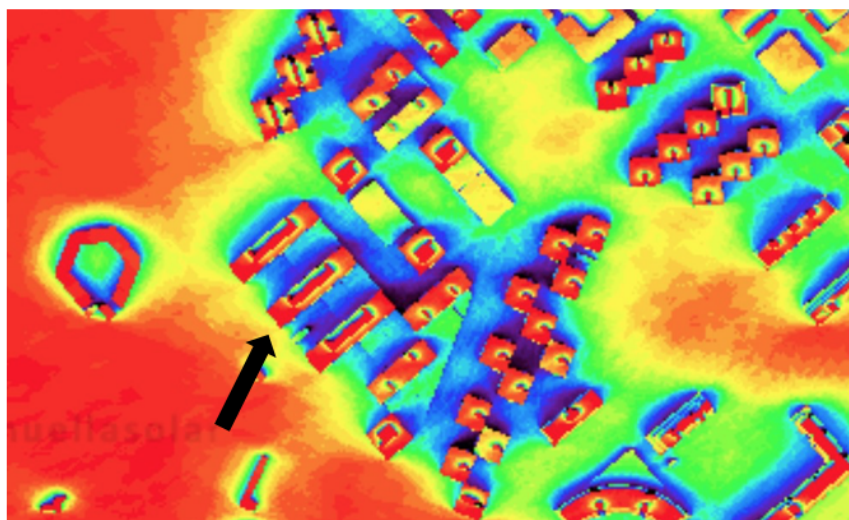


Figura 2.3: El mapa de radiación solar sobre la horizontal en la zona del edificio (extraído de los datos de radiación de la estación del aeropuerto de Valencia, según PVGIS).

Los meses con más horas de sol en la fachada son febrero y marzo en invierno y octubre y noviembre en otoño. Esto indica que los paneles van a generar distintas cantidades de electricidad

dependiendo del período del año. En la gráfica de figura 2.4 [36] se ve la distribución de la cantidad de irradiación solar durante un año.

En la fachada se instalará dos columnas de paneles fotovoltaicos simétricamente, una en cada lado de las ventanas. Los paneles se instalan a partir de la primera planta y ocupan 16 metros en altura y tres metros en anchura. En total son 48 paneles, 24 en cada lado. Tal y como se ve en la foto, hay un árbol enfrente la fachada, cuya sombra bloquea una parte de la radiación. Sin embargo, conscientemente se ha elegido descartar el árbol. Esto se debe a que, interesa saber el potencial que tiene la fachada de generar electricidad mediante los paneles fotovoltaicos en las mejores condiciones, no en las peores. Si el resultado es que hay mucha potencia de generación, se procederá a tener en cuenta la influencia del árbol; pero en el caso contrario de que no haya potencial de generación, no interesará la instalación de generación de electricidad independientemente del árbol.

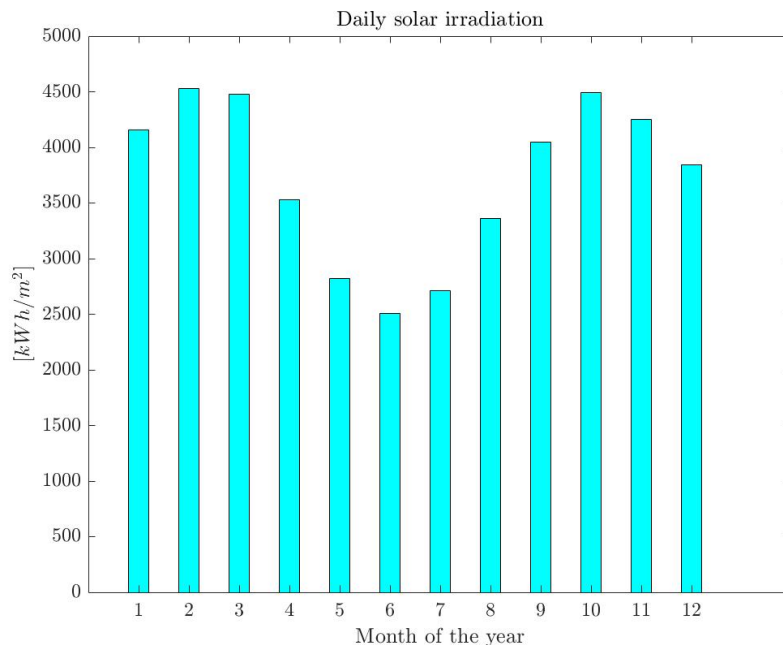


Figura 2.4: La cantidad de irradiación solar en la fachada (inclinación 90°) en Calle Andreu Alfaro 14 (extraído de los datos de radiación de la estación del aeropuerto de Valencia, según PVGIS).

La tabla 2.1 [13] proporciona datos de los materiales del edificio extraídas de los catálogos del Instituto Valenciano de la Edificación (IVE). Las ventanas tienen una transmitancia de 5,70 ( $W/m^2K$ ). [13] El edificio tiene un área de base de  $15 \times 60$  metros y una altura de 21,7 metros. La emisión de dióxido de carbono del edificio es  $34,20 \text{ kg}/m^2$  año.

| Material constructivo   | U ( $W/m^2K$ ) |
|---|----------------|
| <b>Fachada principal</b><br>1. Enfoscado de mortero de cemento<br>2. Ladrillo macizo de 115 mm<br>3. Cámara de aire sin ventilar 40 mm<br>4. Ladrillo hueco de 40 mm<br>5. Enlucido de yeso | 1,64           |
| <b>Fachada medianera</b><br>1. Enfoscado de mortero de cemento<br>2. Ladrillo macizo de 115 mm<br>3. Cámara de aire sin ventilar 40 mm<br>4. Ladrillo hueco de 40 mm<br>5. Enlucido de yeso | 1,64           |

Tabla 2.1: Datos de material constructivo. U siendo el coeficiente global transmisión de calor.

### 2.2.2. Fachadas tipo A

Además, durante el estudio de las fachadas, las fachadas seleccionadas han sido clasificadas según la serie de parámetros mencionados previamente y evaluadas por sus características. En el TFG se considera una sola fachada pero no obstante se ha realizado una clasificación para futuros trabajos. Las fachadas más modernas con potencial de implementación de paneles fotovoltaicos están ubicados por la zona de la Ciudad Fallera. Los edificios están construidos entre los años 2008 y 2010. Tienen una capacidad de instalar largas columnas en su fachada por tener mucha superficie disponible.

La fachada elegida del edificio plurifamiliar en Calle Salvador Cervero 24 fue construida en el 2008. Se encuentra en un espacio abierto y pertenece a un complejo de edificios rectángulo con un patio en medio.

El tipo de fachada presentado está construido de las capas de material de la tabla 2.2 [12]. Los edificios de esta categoría no fueron construidos en el mismo año, sino en un rango de años, pero aun así no hay diferencias significativas en los materiales o tipología de la construcción de la fachada.

El tipo de fachada presentado está construido de las capas de material de la tabla 2.2 [13]. Los edificios de la categoría no fueron construidos en el mismo año, sino en un rango de año pero aun así no hay diferencias significativas en la construcción.



Figura 2.5: Fachada sur de los edificios representativos de esta categoría.

| Material constructivo       | Espesor  | U ( $W/m^2K$ ) |
|-----------------------------|----------|----------------|
| <b>Fachada principal</b>    |          | 0,52           |
| 1. Enfoscado de mortero     | Estándar |                |
| 2. Ladrillo hueco           | 140 mm   |                |
| 3. Aislante térmico         | 50 mm    |                |
| 4. Placa de yeso laminado   | Estándar |                |
| <b>Fachada medianera</b>    |          | 0,57           |
| 1. Tabique pluvial de chapa | Estándar |                |
| 2. Ladrillo hueco de 90 mm  | Estándar |                |
| 3. Aislante térmico         | 50 mm    |                |
| 4. Placa de yeso laminado   | Estándar |                |

Tabla 2.2: Datos de material constructivo de la fachada, U siendo el coeficiente global transmisión de calor.

El edificio en Calle Carlos Climent Gonzalez 14 tienen las mismas características, construido el año siguiente en la misma zona. La zona se encuentra en un espacio con bastante distancia entre los edificios.

### 2.2.3. Fachadas tipo B

Las fachadas más antiguas están construidas de materiales diferentes y tienen por esa misma razón, propiedades distintas. De las elegidas, la mayoría se ubican en el barrio de Benicalap o bien en una zona de manzana cerrada y por eso están definidos como un tipo de fachada único.

Los materiales constructivos de estas fachadas son iguales a los de la vivienda escogida para el

análisis de este TFG. La lista completa de las fachadas se ha presentado en el apéndice. [I.1](#)

#### **2.2.4. Presentación del sistema fotovoltaico a implementar**

Se presenta el diseño preliminar de la instalación fotovoltaica con el programa informático PVSYST. La orientación se ha medido 140 grados con respecto al norte y la inclinación 90º respecto a la horizontal. La instalación pertenecerá a la comunidad de propietarios del edificio.

Se propone la instalación de 16 kWp de energía solar fotovoltaica en dos campos de paneles de 8 kWp, con 24 módulos de 330 Wp cada uno. Los módulos utilizados son del tipo Eagle 72P 330 W, de la empresa China Jinko Solar. Se han elegido estos porque son muy habituales y es uno de los peores casos desde el punto de vista ambiental al fabricarse en China. Como se explica después, los medios de producción chinos son bastante más contaminantes que los de otros países fabricantes de paneles solares, y los paneles recorren una larga distancia para llegar a Valencia.



Figura 2.6: Panel fotovoltaico usado en el trabajo. Modelo Jink Solar.

Los paneles están formados por 72 células fotovoltaicas policristalinas. Además, su marco está compuesto por una aleación de aluminio anodizado y su cubierta con un cristal templado de alta transmisión y bajo nivel de hierro. Ofrece un buen rendimiento y una potencia nominal adecuada a la instalación. La siguiente figura [2.7](#) muestra cómo se agrupan los paneles.

MÓDULOS SOLARES FOTOVOLTAICOS  
Agrupación 1

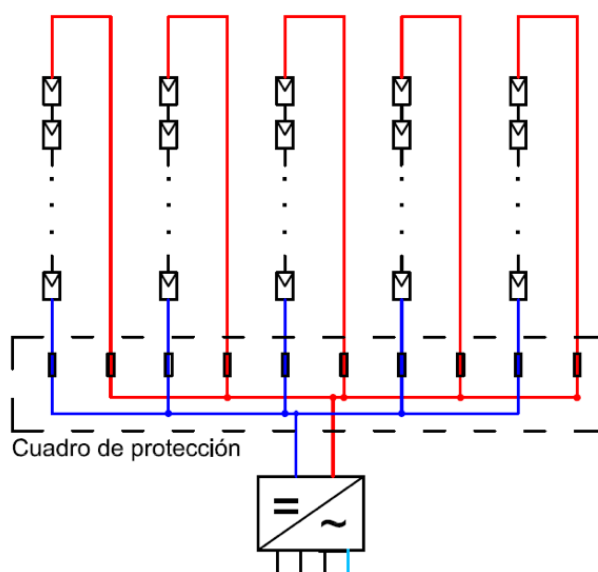


Figura 2.7: Conexión en serie y paralelo de la agrupación: 24 paneles, 2 líneas de 16 paneles en paralelo.

Para la selección del inversor hay que basarse en la potencia necesaria que es de 16 kWp. Por tanto, sería necesario un inversor en corriente monofásica con una potencia algo inferior debido a las pérdidas y al escaso tiempo que toda la instalación trabajará a potencia máxima. Además, se desean varios inversores para garantizar la modularidad de la instalación y que el fallo de un inversor no afecte a toda la generación. Por tanto, se seleccionarán tres inversores de 3-5 kWp de potencia nominal como el mostrado en la figura 2.9. Los equipos se eligen de la empresa SMA.

La ubicación de los paneles será en la fachada, verticales, separados 2 cm para permitir la ventilación. La estructura debe soportar el peso de la instalación con los módulos y las posibles sobrecargas por viento. Se ha escogido la estructura de la marca Technosun. Posee una estructura con carriles de aluminio con patas frontales ajustables y traseras regulables. Además, está dotado con sujeciones entre paneles y para finales de paneles. Al estar fabricado con aluminio y acero inoxidable, se evita la posible oxidación que pueden sufrir a lo largo de su vida útil.

La red eléctrica de distribución se va a realizar con cable aislado de 230V monofásico. No se ha diseñado el reparto a la comunidad de vecinos, por tanto sólo se tiene en cuenta las protecciones para la instalación generadora.

Toda instalación eléctrica deber equiparse con protecciones adicionales para evitar sobrecargas o cortocircuitos en la instalación, además de garantizar la seguridad de las personas responsables de su operación y mantenimiento. Se recomienda la instalación de fusibles por mayor seguridad, aunque se plantea la posibilidad de los magnetotérmicos debido a que no deben de





Figura 2.8: Soportes, herrajes y conexiones a tierra para sujetar los paneles a la pared. Cada Kit soporta tres paneles de las dimensiones de los seleccionados.



Figura 2.9: El tipo de inversor, SMA Sunny Boy de 3-5 kWp.

ser cambiados tras cada salto. Los interruptores magnetotérmicos son los encargados de proteger la instalación frente a sobrecargas y cortocircuitos. Funcionan cortando la corriente cuando ésta es superior a un valor determinado.

Los fusibles, igual que los interruptores magnetotérmicos, se encargan de proteger la instalación frente a sobrecargas y cortocircuitos. Su funcionamiento se basa en la fusión de uno o varios de sus elementos cuando la corriente que transcurre es elevada, lo que provoca que el circuito se abra.

Los interruptores diferenciales son los encargados de garantizar la seguridad de las personas ante un contacto indirecto. Además, se va a utilizar un diferencial de alta sensibilidad, pues protegen al usuario en caso de que, por imprudencia o deterioro de la instalación, se produzca un contacto directo. Se han previsto interruptores diferenciales de una sensibilidad de 30mA para garantizar el correcto funcionamiento frente a contactos indirectos y directos de las personas. Además, se han escogido de clase tipo A, donde la desconexión se asegura para corrientes de defecto continuas pulsantes, además de corrientes de defecto alternas senoidales.

La puesta a tierra de una instalación asegura que no se produzca una tensión en la estructura de los equipos que pueda ser mortal para el ser humano por descarga tras contacto accidental. La elección de los materiales de puesta a tierra debe asegurar:

- El valor de la resistencia cumpla con los requisitos de las normas de protección y funcionamiento de la instalación y que se mantenga a lo largo del tiempo.
- Las corrientes tanto de defecto a tierra como de fuga deben circular sin peligro.
- La protección mecánica debe quedar asegurada con independencia de las condiciones externas.
- Contemplar los posibles riesgos debidos a electrólisis.

Por lo que para la puesta a tierra se emplearán dos piquetas de acero con un diámetro de 8mm y

una longitud de 1,5 m. Ésta se colocará a una distancia alejada de la pica de puesta a tierra del cuadro de mando para evitar que se genere una corriente de defecto entre ambos. Debido a la alta humedad del terreno en algunos momentos del año, se realizarán pruebas de puesta a tierra en el momento de la instalación para asegurar los criterios.

# Capítulo 3

## Herramientas y consideraciones en los cálculos

### 3.1. Cálculos térmicos

La implementación de los paneles fotovoltaicos afectará el intercambio de calor entre el ambiente y el interior de la vivienda. Térmicamente habrá diferencias en la cantidad de potencia calorífica que puede pasar entre la fachada, con y sin paneles, y es importante conocer la magnitud de esta diferencia. El resultado deseado del estudio térmico es que los paneles suponen una mejora del aislamiento de la fachada y que menos calor puede escapar en invierno porque una capa más lo evita; o menos calor entra en el edificio en verano, gracias a que la capa externa de la fachada recibe menos radiación solar directa. A continuación se explicará el cambio teórico de la transmisión de calor que suponen los paneles fotovoltaicos.

#### 3.1.1. Intercambio de calor por fachada existente

El sentido de la transmisión de calor es en la dirección decreciente del gradiente de temperatura, siendo hacía fuera del edificio en invierno y hacía dentro en verano. Los electrodomésticos y otros aparatos eléctricos que consumen energía eléctrica generan calor junto con las personas que viven en las casas, pero el cálculo de las generaciones internas es complejo y no se va a tener en cuenta en este trabajo.

Dentro de la vivienda hay intercambio de calor por convección y radiación con la superficie interna de la fachada. El aire dentro del edificio es un flujo natural que mantiene una temperatura constante. El valor del coeficiente de convección del aire está entre  $2-25 W/m^2K$  y aunque el valor real puede fluctuar se supone que este valor no varía. El coeficiente depende de una serie de propiedades del fluido,

- la viscosidad,
- la velocidad,

- el calor específico y
- la temperatura.

Teniendo en cuenta las propiedades y dado que el flujo es laminar, y el fluido aire, se puede calcular el coeficiente

$$h = 1,42\left(\frac{T_{sup} - T_{fluido}}{L} \cos\theta\right)^{1/4} \quad (3.1)$$

Theta es el grado de inclinación de la pared vertical y por tanto igual a 0.

El calor pasa mediante conducción por las seis capas de material que tiene la fachada. A fin de calcular la transferencia de calor es necesario conocer varias propiedades de los materiales y el espesor de cada capa, "i" de 1 a 6. El área de la superficie es constante en todas capas y se utiliza la siguiente ecuación para realizar el cálculo

$$\frac{\partial T_i}{\partial \tau} = \frac{k_i}{\rho_i C_{pi}} \frac{\partial^2 T_i}{\partial^2 x_i} \quad (3.2)$$

El coeficiente de conducción térmica k (W/m K), la densidad  $\rho$  (kg/m<sup>3</sup>), el calor específico  $C_i$  (J/kgK) y el espesor siendo x (m). El resultado deseado de la ecuación (3.2) en el estudio térmico es que el calor transmitido disminuye, gracias a las nuevas capas de material.

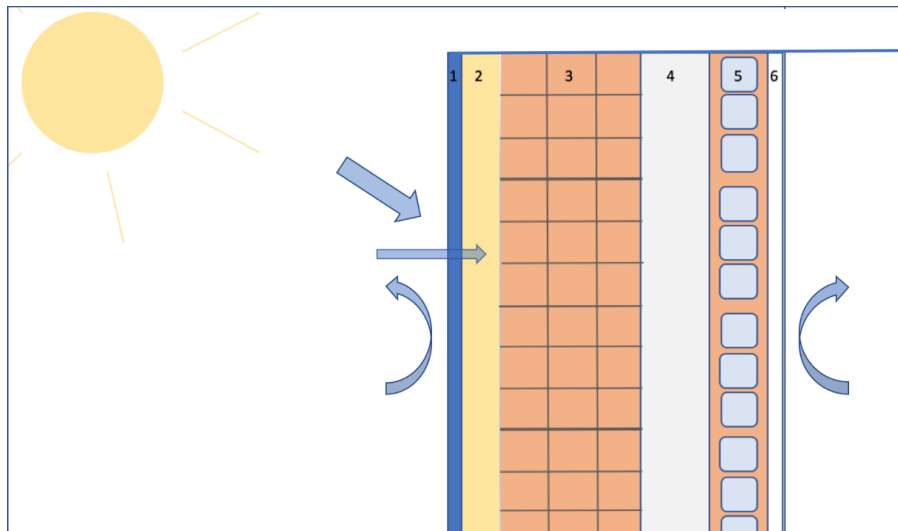


Figura 3.1: Fachada de doble hoja en edificio plurifamiliar en Benicalap.

Se indica el intercambio de calor por convección con una flecha doblada, la irradiación con una flecha inclinada hacia abajo y la conducción con una flecha horizontal.

La fachada en la figura 3.1 se ha presentado como tipo B en la selección de las fachadas y tiene,

como mostrado en la ilustración, seis capas de material.

1. Pintura
2. Revoco
3. Ladrillo hueco triple
4. Cámara de aire
5. Tabicón y mortero de cemento
6. Enlucido de yeso

La superficie externa de la fachada está expuesta a irradiación solar. Esa irradiación incidente tiene las siguientes condiciones límite, partiendo de la ecuación (3.2)

$$1 : -\lambda_1 \left( \frac{\partial T_1}{\partial x_1} \right)_{x=0} = h_r (T_{sup,ext} - T_{amb}) + \epsilon h_r (T_{sup,ext} - T_{amb}) + G_{sol} \alpha_1. \quad (3.3)$$

La primera condición con respecto a la superficie exterior de la fachada.

$$2 : -\lambda_1 \left( \frac{\partial T_6}{\partial x_6} \right)_{x=L} = \overline{h_{int}} (T_{sup,int} - T_{int}) \quad (3.4)$$

La segunda parte de las relaciones en la última capa de la fachada. Las temperaturas  $T_{sup,ext}$ ,  $T_{sup,int}$ ,  $T_{amb}$  y  $T_{int}$  son temperaturas en la superficie externa e interna de la fachada, del ambiente y del interior de la residencia. El coeficiente de convección  $h_{sup,ext}$  es la resolución conjunta de convección y radiación en contacto con el aire del ambiente (ecuación 3.5),  $G_{sol}$  es la irradiación solar incidente y  $\alpha$  la absorbida de la pintura.

$$h_{sup,ext} = \sigma (T_1^2 + T_2^2) (T_1 + T_2) \quad (3.5)$$

La potencia que aplica la radiación junto con la convección externa tiene cierta complejidad en el cálculo, por lo cual se aplica un caso particular, simplificando el entorno como un recinto cerrado que rodea a la superficie de la fachada. La fachada tiene una superficie muy pequeña en comparación y no puede verse a sí mismo.  $\sigma$  es el constante de Stefan Boltzmann. [34]

### 3.1.2. Intercambio de calor por fachada existente con paneles verticales fotovoltaicos

Los paneles se instalan con una cámara de aire entre ellos y la superficie externa de la fachada. Basad en diversos estudios consultados durante el estado del arte, su distancia óptima es alrededor de 12-15 cm [22] del hueco entre los paneles y la fachada.

Los siguientes cálculos no tienen en cuenta la generación eléctrica que provee los paneles. Esta generación eléctrica influye en la temperatura de los paneles, pero en general es despreciable frente al efecto de la temperatura ambiente. La aportación de la cámara de aire contribuirá a ganancias o pérdidas de calor, dependiendo de la temperatura del ambiente. Además la cámara

de aire aportará intercambio de calor por convección con la superficie externa de la fachada y convección con la superficie trasera del panel.

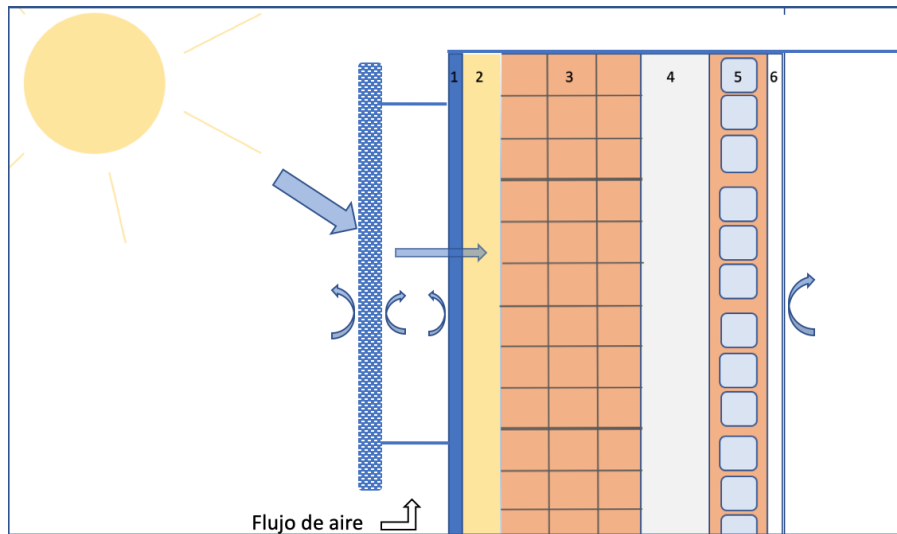


Figura 3.2: Fachada de doble hoja del año 1970 con paneles verticales fotovoltaicos instalados. Las capas de material de la fachada es la misma que en la figura 3.1.

En la misma distancia hay transmisión de calor por radiación entre la placa fotovoltaica y la superficie de la fachada.

Una serie de características de los paneles fotovoltaicos y su interacción con el ambiente son necesarios para realizar el cálculo. La potencia  $E$  ( $W/m^2$ ), la eficiencia de conversión de energía  $\eta$ , el factor de emisividad  $\epsilon$ , el factor de absorción  $\alpha$  y el coeficiente de convección  $h$  ( $W/m^2$ ).

Los paneles fotovoltaicos son del tipo "Panel Solar Jinko 330W" del proveedor Jinko. El tamaño de un panel es 1,956 m de altura y 0,992 m de anchura. [24]

La irradiación absorbida de los paneles es

$$G\alpha_{fv} = E_{output} + h_{conv,front}(T_{fv} - T_{aire}) + \epsilon_{front}h_{rad,front}(T_{fv} - T_{aire}) + h_{conv,back}(T_{fv} - T_{aire}) + \epsilon_{back}h_{rad,back}(T_{fv} - T_{aire}) \quad (3.6)$$

El término cuenta con la convección y la radiación en ambos lados de los paneles y la potencia de los mismos. Los coeficientes convectivos  $h_{conv,front}$  en contacto directo con el sol y  $h_{conv,back}$  en la parte trasera.  $h_{rad,front}$  y  $h_{rad,back}$  son los coeficientes radiantes en los dos lados respectivamente. La temperatura en los paneles es  $T_{fv}$  y la de la cámara de aire es  $T_{aire}$ . Para que la implementación de los paneles fotovoltaicos salga positiva la irradiación absorbida en verano debe tener un valor alto.

### 3.1.3. Herramienta para la realización de los cálculos - Hulec

Para determinar la diferencia calor transmitida con y sin los paneles, es necesario obtener resultados reales y así evaluar el sistema fotovoltaico y su potencial de funcionar como aislamiento, bajo las circunstancias dadas. Para esto se utilizará un programa informático llamado Hulec, también conocida como Herramienta unificada Lider - Calener.

Hulec es un software gratuito, desarrollado por la Universidad de Sevilla a petición del ministerio de fomento del gobierno español. Se ha desarrollado para la eficiencia energética de los edificios y proveer certificaciones energéticas.

Al ser una herramienta para calcular el intercambio de calor entre el edificio y el ambiente, tiene que seguir la normativa de eficiencia energética que deben cumplir los edificios. Esa normativa técnica está establecida en El Código Técnico de la Edificación (CTE). [42]

En el programa se introduce los datos de posición geográfica del edificio, la zona climática y la altitud sobre el mar para en el siguiente paso crear la geometría del edificio. La geometría se puede definir en dos maneras, bien desde cero definiendo cada uno de los elementos, o bien importando dibujos técnicos del edificio y de allí crear los elementos. En este caso se ha definido los elementos desde cero, y se ha permitido hacer algunas simplificaciones ya que el objetivo de los cálculos no es evaluar el gasto energético exacto del edificio, sino obtener una respuesta a la pregunta de si es la implementación de los paneles fotovoltaicos, paralelos a la fachada y distanciados 15 cm para que actúe de cámara de aire y espacio de ventilación, implica una mejora del aislamiento de la fachada.

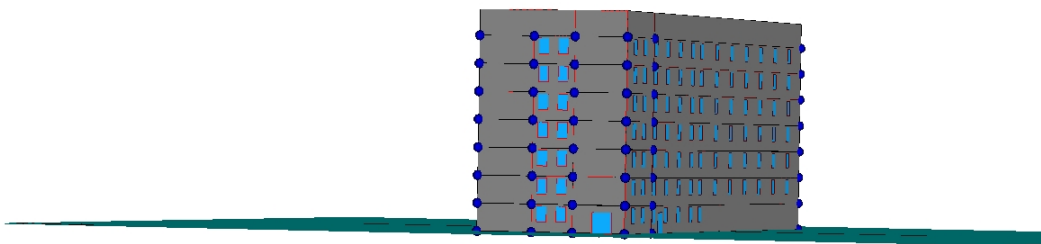


Figura 3.3: El edificio en Calle Andreu Alfaro 14 en HULC.

Se han realizado los siguientes simplificaciones en la geometría para hacer posible la estimación.

- Simetría del edificio,

- solera adiabática dentro de la vivienda,
- despreciable el intercambio de calor entre las paredes en el interior de la vivienda.

La instalación de los paneles fotovoltaicos se hace a través de la función fachada ventilada. Una fachada ventilada en Hulc es un elemento adicional que se introduce al edificio, una vez que estén definidos todos los elementos del edificio. Se ha elegido introducir los paneles como una fachada ventilada porque permite incluir las características de los paneles, su función térmica en cuanto a radiaciones absorbidas y también crea una cámara de aire entre la fachada y el elemento externo donde el aire puede correr como anteriormente se ha explicado en la teoría.

Las características que se introduce son:

- el coeficiente global de transmisión de calor de los paneles se ha aproximado a  $3,78 (W/m^2 K)$  y
- el material absorbe 96 % de toda la irradiación solar.
- La distancia de la cámara de aire es 15 cm.

En el apéndice [2.1](#) se encuentra los detalles de los cálculos realizados en Hulc.

## 3.2. Cálculos eléctricos - PVsyst

PVsyst es un software utilizado para simular sistemas fotovoltaicos. El software tiene una base de datos con más de 12.500 dispositivos de diferentes fabricantes, con las características técnicas y valores de funcionamiento de cada modelo. Al elegir el modelo del panel fotovoltaico, el programa automáticamente carga los datos necesarios.

Además se introduce características del sistema, la inclinación del plano, la orientación geográfica y el área que ocupa el sistema para que el programa importe los datos de radiación en la posición geográfica. En este caso, el sistema fotovoltaico definido tiene 24 paneles, ocupan una columna de la fachada en Calle Andreu Alfaro, y corresponde a 47 metros cuadrados. Los paneles instalados son del tipo "Panel Solar Jinko 330 W". Sus características se presentan en la tabla de abajo. [\[24\]](#)

| Característica técnica         | Nomenclatura | Valor  |
|--------------------------------|--------------|--------|
| <b>Panel Solar Jinko 330 W</b> |              |        |
| Número de células              | -            | 72     |
| Potencia máxima                | $P_{max}$    | 330 W  |
| Eficiencia de módulo           | $\eta$       | 17,01  |
| Tensión a potencia máxima      | $U_{mpp}$    | 37,8 V |
| Corriente a potencia máxima    | $I_{mpp}$    | 8,74 A |
| Tensión en circuito abierto    | $U_{oc}$     | 46,9 V |
| Corriente en circuito abierto  | $I_{sc}$     | 9,14 A |

Tabla 3.1: Detalles técnicos del panel fotovoltaico.



La cantidad de radiación solar fluctúa entre los diferentes meses del año y asimismo la potencia eléctrica de las placas y por tanto, la generación de electricidad fotovoltaica. La simulación calcula la distribución de las energías durante el año. En este programa se conocerá el efecto que tiene cada uno de los factores del sistema, y a partir de estos resultados se evalúa la generación eléctrica de la instalación.

El índice de rendimiento del sistema evalúa la eficiencia de los paneles durante todo el año. Cuanto más radiación incide, más rendimiento tendrá el sistema fotovoltaico.

La irradiación incidente en el plano es toda la radiación solar que llega a la superficie de los paneles, mientras la irradiación efectiva es la cantidad de radiación que asume en la transición a la electricidad. La diferencia entre la radiación total y efectiva es debida a pérdidas relacionadas con el ángulo de la superficie, en este caso 90 grados, y la absorción del vidrio que la recibe. Además el vidrio refleja alrededor del 5 % de la irradiación que recibe.

Durante la conversión de energía solar a energía eléctrica, el sistema pierde energía por las circunstancias del sistema y del comportamiento del inversor. PVsyst proporciona resultados de la frecuencia de cada magnitud de generación, para evaluar que tan frecuente el sistema genera pequeñas y grandes cantidades de electricidad.

Los cálculos de PVsyst parten de datos meteorológicos que el programa tiene en su base de data interna, y además puede acceder a fuentes publicas disponibles online o importar la información con una herramienta de importación.

En el apéndice [2.2](#) se encuentra la lista completa de los datos del modelo y del sistema. Esto permite conocer las pérdidas o bien ganancias que cada característica aporta.

Durante la conversión de energía solar a energía eléctrica, el sistema pierde energía por las circunstancias del sistema y del comportamiento del inversor. PVsyst proporciona resultados de la frecuencia de cada magnitud de generación, para evaluar que tan frecuente el sistema genera pequeñas y grandes cantidades de electricidad.

Los cálculos de PVsyst parten de datos meteorológicos que el programa tiene en su base de data interna, y además puede acceder a fuentes publicas disponibles online o importar la información con una herramienta de importación.

En el apéndice [2.2](#) se encuentra la lista completa de los datos del modelo y del sistema. Esto permite conocer las pérdidas o bien ganancias que cada característica aporta.

### 3.3. Programa análisis de ciclo de vida - SimaPro

Los paneles fotovoltaicos no contribuyen a las emisiones contaminantes ni tienen ningún tipo de transmisión de productos peligrosos durante la producción de generación eléctrica, pero durante su fabricación sí. La obtención de los componentes, los materiales necesarios en los diferentes procesos durante la fabricación y el transporte al punto de venta/uso, sí que tienen un impacto nocivo en el medio ambiente. Al final de su vida contribuye al cambio climático tanto además de otros impactos ambientales.

Para identificar los impactos ambientales del producto se necesita conocer a qué aspectos ambientales afecta. Los aspectos ambientales son aquellos que son parte de una actividad, servicio o flujo que interactúa con el ambiente, mientras los que impactos ambientales son cambios en el medio ambiente debido a un aspecto ambiental. Los cambios pueden ser positivos o negativos, pero está claro que provocan algo no natural en el medio ambiente que siempre tiene una repercusión.

Los impactos ambientales juegan un papel importante en la cuestión de la implementación de paneles fotovoltaicos en las fachadas. Se tiene que estudiar si vale la pena, económicamente y ambientalmente, llevar a cabo la instalación. La imagen de la figura 3.4 muestra las etapas del ciclo de vida que hay que tener en cuenta en cuanto al identificación de los impactos ambientales.

Además de realizar un análisis de ciclo de vida se incluirá un análisis de la Huella de Carbono, que es un caso particular de la evaluación de impacto ambiental. Ambos análisis coinciden en incluir todo el ciclo de vida de los paneles y el resto de la instalación fotovoltaica pero se centra solo en los gases de efecto invernadero y en el impacto ambiental por calentamiento de la atmósfera.

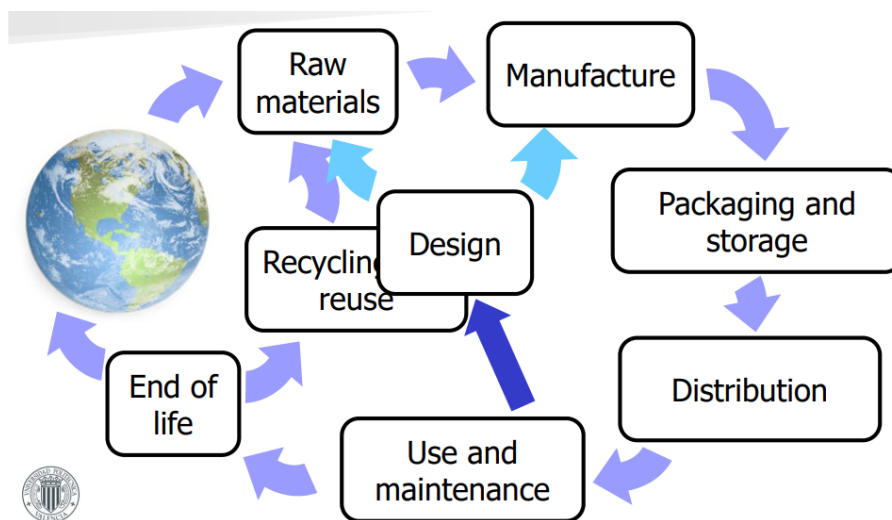


Figura 3.4: Las fases durante el ciclo de vida del producto.

Cuando se trata de impactos ambientales de energía de fuente fotovoltaica, la mayoría de los

impactos están relacionados con grandes plantas solares y no a la integración de paneles fotovoltaicos en los edificios. La creación de aquellas plantas tiene un gran impacto en los recursos ecológicos en los lugares donde se sitúan. La aparición de las grandes plantas solares puede directamente eliminar especies de la fauna, y por lo tanto podría resultar como una amenaza las especies en peligro de extinción. Pero por otro lado también puede amenazar indirectamente la fauna por una reducción de la diversidad de animales. Afecta tanto la fauna, como la flora.

El impacto depende del tipo de animales y vegetación del área, la magnitud de la perturbación, y el aislamiento genético (la capacidad de intercambiar genes del ecosistema con sus alrededores) entre otros aspectos. Los impactos en el suelo son compactación del suelo y cambios en la humedad de del suelo.

La implementación de paneles fotovoltaicos en fachadas no tiene grandes potencias de impactos en la fauna y la flora, ya que no afecta en gran escala a la naturaleza. No ocupa espacio al aire libre, donde animales viven y plantas crecen. Durante la producción de los semiconductores para los paneles fotovoltaicos los fabricantes trabajan con materiales peligrosos que se utilizan para limpiar la superficie del semiconductor. Estos procesos implican un peligro para los operarios de las fábricas de los componentes y también un peligro si los residuos se gestionan de manera incorrecta.

Durante la fabricación de los productos semiconductores, se utiliza materiales químicos para los diferentes procesos necesario para la obtención del producto final. Algunos materiales tóxicos se usan en la fabricación y otros quedan como subproductos. Por ejemplo, tetracloruro de silicio es un subproducto que aparece en la fabricación de células fotovoltaicos, que puede causar problemas al inhalarlo. Junto con el incremento de la demanda de paneles fotovoltaicos se ha descubierto efectos negativos del material en China donde se fabrican los paneles. Por ejemplo el cloruro de Cadmio en la galvanotecnia durante el proceso de revestimiento de corrosión para el semiconductor, que en el cuerpo humano puede producir infertilidad y daño al sistema nervioso central.

Otros impactos ambientales se deben a fugas de estos materiales, accidentes que normalmente puede causar incendios y contaminación del entorno, y vertidos que pueden afectar hasta el agua subterránea. El riesgo de impacto ambiental incluye también rotura de un panel fotovoltaico y así la liberación de un material contaminante al ambiente, lo cual puede dañar a la vegetación tanto como a los animales y seres humanos, según donde esté ubicado. [23] [14]

Uno de los principales fabricantes de paneles fotovoltaicos es Jinko Solar. Tiene centros de producción en dos ciudades de China, donde fabrican sus paneles. En general los estándares ambientales en China son bajos y el mix energético del país incluye mucha energía de plantas termoeléctricas de carbón, lo cual no conlleva enormes emisiones de  $CO_2e$ . La huella de carbono de la electricidad en China es el doble de la de Europa.

Al llegar al fin de la vida de los paneles, los componentes se reciclan en la medida posible. Si este fin de vida no es bien gestionado, muchas de las sustancias tóxicas de los paneles y el resto de componentes de la instalación se liberarán a la naturaleza.

Teniendo lo arriba mencionado en cuenta se realiza e interpreta el resultado en el siguiente

capítulo. Aplicando la metodología ISO 14040 de análisis de ciclo de vida (ACV) se permite conocer los impactos ambientales. Los pasos del ACV son los de la ilustración de figura 3.5 [2]



Figura 3.5: El estándar ISO 14040.

Para realizar la evaluación se utiliza un programa y una base de datos para recopilar la información necesaria, para luego analizar e interpretar los resultados. SimaPro es un software desarrollado para aplicar la metodología ACV en una manera eficaz, facilitar la toma de decisiones y proveer un análisis que proporciona datos para mejorar el ciclo de vida del producto. [1] En el programa se puede elegir diferentes métodos de evaluación de impacto ambiental. También se pueden elegir diferentes bases de datos con los inventarios de aspectos del ciclo de vida de los productos y servicios. La elección del método o de la base de datos afectará al resultado del ACV. En este caso se ha elegido Ecoinvent para el inventario de datos e Impact 2000+ como método. El programa conecta el inventario de datos y el método para evaluar el impacto.

La empresa suiza Ecoinvent (<https://www.ecoinvent.org/database/database.html>) proporciona conjuntos de datos ambientales. Los datos se actualizan cada año y los conjuntos de información nueva pasan por un control de calidad para asegurar su fiabilidad. El proceso de control de calidad implica que por lo menos tres de los más de 50 expertos que trabajan en el equipo de control revisan el conjunto de datos y evalúan su calidad. Además, la base está abierta para quien quiera pueda añadir información. El inventario de Ecoinvent es reconocido en el mundo y tiene una alta calidad. No obstante, son datos promedios basados en casos y estudios concretos y, por lo tanto, no perfectamente precisos para los paneles que se eligen para las fachadas.

Impact 2002+ es una metodología que clasifica los impactos en 17 categorías de punto medio y 4 categorías de daño (salud humana, calidad de ecosistema, cambio climático y recursos). El método relaciona el tipo de daño con la categoría de punto medio. [4]

Las unidades de la medición de los impactos ambientales son puntos. Un punto es la medida de los impactos ambientales de un europeo medio en un año medio. Por tanto, la evaluación de impacto ambiental que el método realiza da resultados relativos, por comparación con los impactos anuales medios de los europeos. Si los resultados son negativos, eso significa que el método da como resultado impactos positivos para el ambiente, cambios a mejor en el ambiente.

# Capítulo 4

## Resultados y análisis

### 4.1. Resultados térmicos

El cambio de demanda de potencia calorífica durante el año es mínima con las fachada ventilada integrada en el edificio, según el resultado. En la figura 4.1, la gráfica muestra las demandas de calefacción y refrigeración durante un año. La barra azul de las gráficas representa la demanda del edificio base y la naranja la demanda con la fachada ventilada incluida.

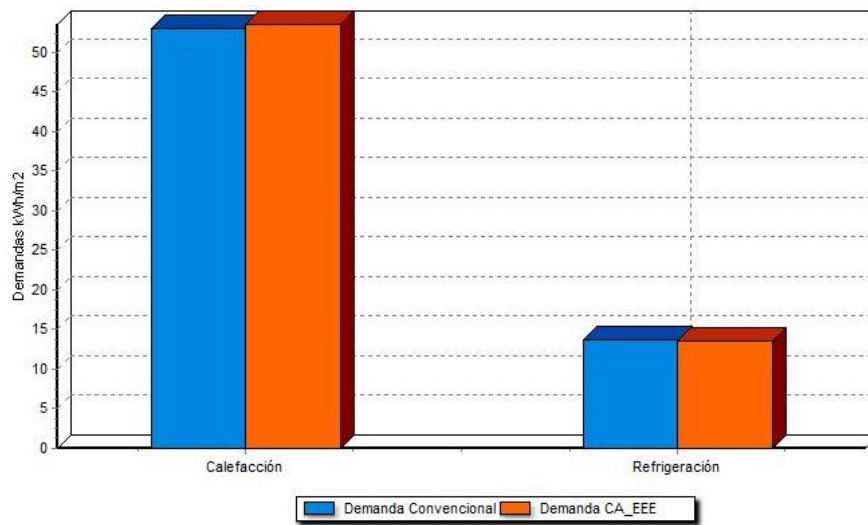


Figura 4.1: La demanda de calefacción y refrigeración durante un año.

En la gráfica de la figura 4.1 sugiere que la demanda de calefacción aumenta con la implementación del sistema fotovoltaico y la refrigeración disminuye. Esto se debe a que en invierno los paneles hacen sombra e impiden que se caliente la fachada, disminuyendo la ganancia de calor cuando sí es conveniente. Este efecto parece compensar y superar el aumento de la capacidad aislante de la fachada al añadir una capa más, la de paneles.

Sin embargo, en verano el mismo efecto sí es beneficioso, la fachada ventilada funciona como se espera y la ganancia neta de calor del edificio disminuye, reduciéndose las necesidades de refrigeración.

Por último, cabe destacar que estos pobres resultados hacen innecesario valorar la influencia del árbol. Este árbol es de la especie “Falso plátano” (*Hacer pseudoplatanus*) y tiene hoja caduca, en invierno deja pasar la luz del sol y en verano hace sombra. Por tanto, desde el punto de vista térmico es irrelevante en invierno y mejoraría algo la situación en verano. Pero, por su altura y ubicación, se ha observado que hace sombra a un porcentaje inferior al 20 % de la superficie de uno de los dos campos de paneles, menor al 10 % total del área de trabajo. Su influencia por tanto se desprecia en el análisis térmico.

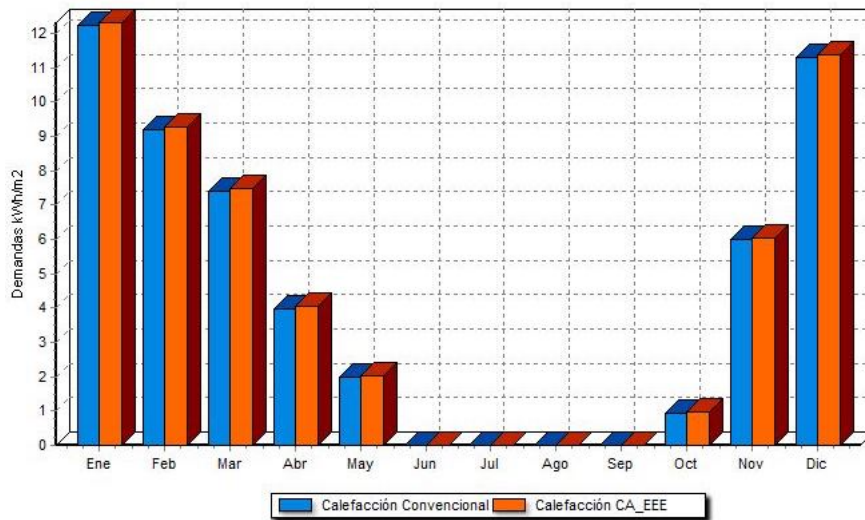


Figura 4.2: La distribución mensual de la demanda de calefacción.

El gráfico de la figura 4.1 sugiere que la demanda de calefacción aumenta con la implementación del sistema fotovoltaico. Según muestra la figura 4.2, la demanda calorífica aumenta durante los meses de invierno y tiene un valor nulo durante verano. Es consistente con el patrón normal de necesidades energéticas, pero el resultado esperado ha sido que las demandas disminuyeran.

#### 4.1.1. Discusión de los resultados térmicos

El resultado no es bueno desde el punto de vista térmico y poner paneles fotovoltaicos en fachada no parece que tenga un gran potencial como estrategia para mejorar la eficiencia térmica de los edificios.

Sin embargo, se debe reconocer que la precisión del resultado no es buena por varias razones. Por un lado, el edificio tiene una planta de casi 900 metros cuadrados y el área de la envolvente es de más de 3.000 metros cuadrados. De los cuáles, la fachada ventilada ocupa tan solo alrededor de 200 metros cuadrados. Las demandas energéticas que el software calcula incluyen todo

el edificio, y se ha cambiado una superficie pequeña del 3 % de la superficie total. A pesar de que la irradiación solar y las horas de sol es mayor en la fachada elegida, el área ocupada por los paneles es el 50 % de la fachada (1,5 % de la envolvente), y por tanto la influencia en el edificio es pequeña. Con estos tamaños, Hulec no es muy preciso. Efectivamente, Hulec es un programa desarrollado para realizar cálculos de eficiencia energética de edificios, no para simular el aislamiento térmico de paneles fotovoltaicos. Hulec no permite averiguar cómo calcula la interacción de la fachada ventilada con su ambiente y qué comportamiento tiene el aire en la cámara de aire según el programa. Teniendo en cuenta estas incertidumbres, el resultado se puede considerar suficiente preciso para sacar conclusiones generales, pero no lo suficiente para basar un análisis técnico.

## 4.2. Resultados eléctricos

En el programa PVSyst se ha simulado una de las columnas de paneles, ya que cada columna forma un campo de paneles fotovoltaicos y uno de ellos se vería afectado por las sombras del árbol. Luego, para el primer estudio eliminando el árbol se han multiplicado por dos los resultados. Es decir, se ha considerado que ambos campos fotovoltaicos está en las mismas condiciones.

En el sistema fotovoltaico en la fachada elegida tiene una irradiación total de  $543,04 \text{ (kWh/m}^2\text{)}$  durante un año de acuerdo con los cálculos de PVSyst. Ese valor se reduce a  $513 \text{ (kWh/m}^2\text{)}$  en irradiación efectiva. La distribución de la irradiación incidente, total y efectiva, en el plano del sistema se muestra en la figura 4.3. La disminución es debida a las reflexiones en la superficie de los paneles y la absorción del cristal.

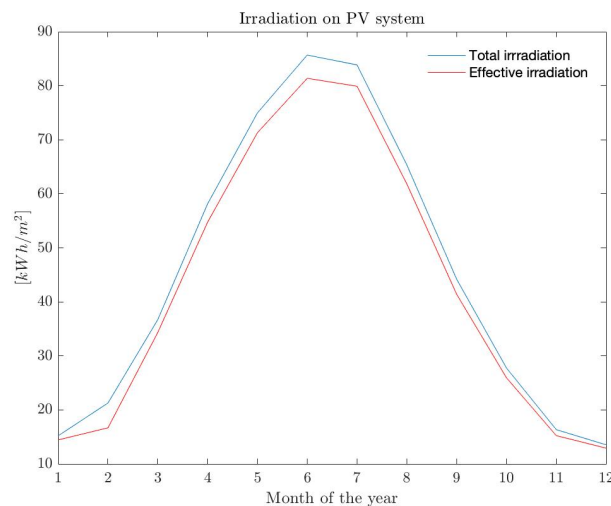


Figura 4.3: La distribución de la irradiación solar en los paneles fotovoltaicos, durante un año.

De los 513 kWh los paneles elegidos solo transforman en electricidad el 17,34 % (ver figura 4.5). A eso se suman pérdidas por, entre otras:

- del inversor durante el funcionamiento (-9,60 %),
- consumo nocturno (-5,41 %)
- nivel de irradiancia (-4,31 %) y
- temperatura de los paneles (-3,08 %).

Por lo tanto, los paneles generan finalmente 3.261 kWh/año.

En un sistema de 48 paneles, la electricidad generada será

$$3,261kWh \times 2 = 6,522kWh \quad (4.1)$$



durante un año. Casualmente, la cantidad generada es igual al consumo anual medio de energía eléctrica de una familia, y corresponde a 136 kWh por metro cuadrado, de los 513 kWh que se podían llegar a generar.

La figura 4.4 muestra la frecuencia de la cantidad de electricidad inyectada durante un año. Se ve que cuando los paneles normalmente están generando electricidad con una potencia entre 1 y 1,5 kW. Pocas veces genera con una potencia por encima de 1,5 kW. Y nunca se alcanzan potencias por encima de 5 kWp, cuando en cada campo hay instalados 8 kWp.

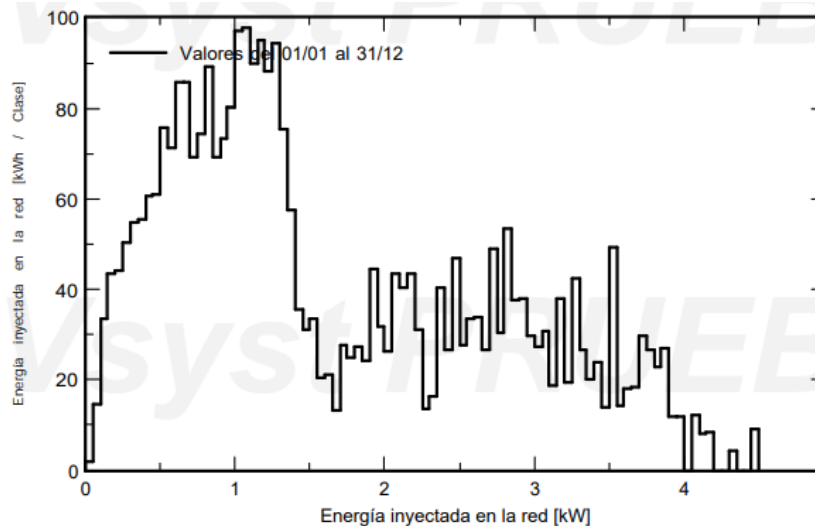


Figura 4.4: La distribución de la irradiación solar en los paneles fotovoltaicos, durante un año.

Finalmente, la figura 4.5 muestra que hay una enorme variabilidad de generación a lo largo del año, con los meses de verano produciendo del orden de 6 veces más que los meses de invierno. De marzo a septiembre el sistema tiene un rendimiento mayor de 70 por ciento con un valor medio de 74,7 pero durante el invierno ratio baja. Así, la producción eléctrica en invierno es muy pequeña y los paneles obligan a un mayor consumo de calefacción, mientras que en verano, los paneles protegen del sol la fachada y además generan más electricidad. Si se pudiera, los resultados aconsejan retirar los paneles en invierno y volver a instalarlos en verano.

A partir de estos resultados se puede mejorar el sistema en varias maneras para disminuir las cuotas de pérdida. Si bien la mejora en términos relativos podría ser apreciable, en términos absolutos, dada la baja generación de electricidad, no merece la pena encarecer la instalación. Los términos económicos se discuten con más detalle más adelante. En el apéndice 2.2 se encuentra detalles del resultado de la simulación realizada en PVSyst.

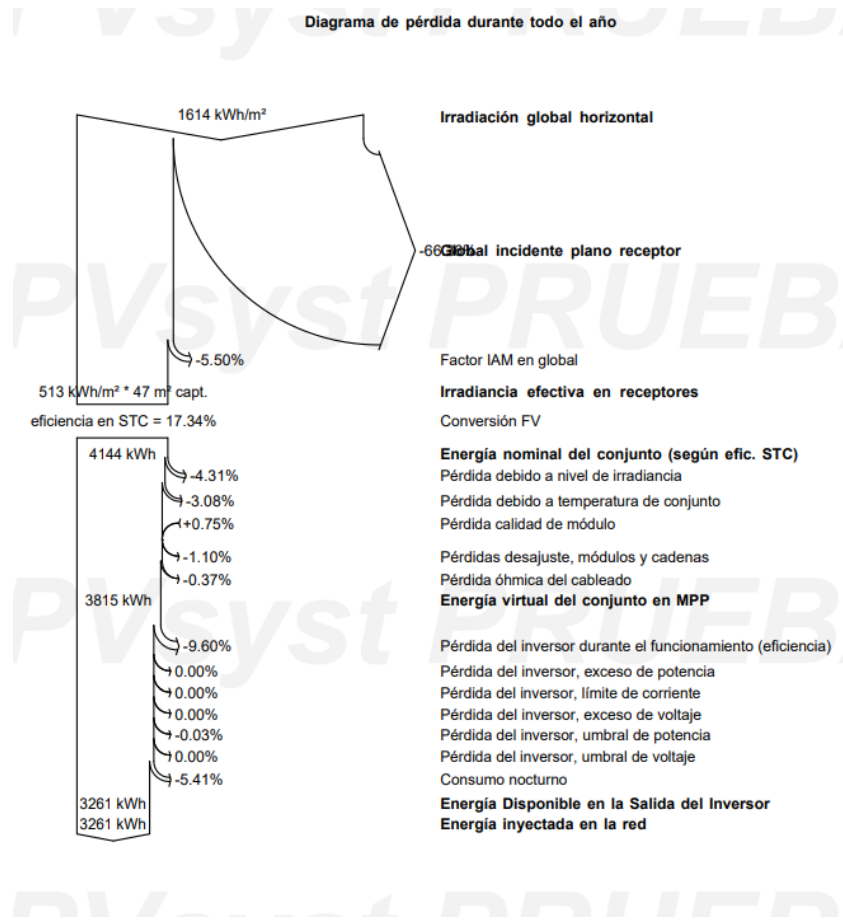


Figura 4.5: Pérdidas en la generación a partir de energía solar en los paneles fotovoltaicos, durante un año.

#### 4.2.1. Discusión de los resultados eléctricos

Las pérdidas generadas del consumo nocturno del sistema, son más grandes de lo normal y la razón para ello es desconocida.

Sistemas fotovoltaicos pueden ser optimizados con el conocimiento de su frecuencia de generación por clase, ya que sus componentes pueden ser seleccionados respecto la electricidad que genera el sistema. De esta manera, se evita invertir capital en equipos que raramente generan la cantidad de electricidad que corresponde a su potencial máxima.

### 4.3. Resultados ambientales

Para abordar el estudio se ha dividido la planta de generación solar en cuatro grupos o componentes. Cada uno de los componentes del sistema fotovoltaico (los paneles, los inversores, las instalaciones eléctricas y la estructura soporte) interacciona con el ambiente (aspectos ambientales) y esos aspectos causan impactos ambientales, de acuerdo con el método IMPACT 2002+. Empezando por los impactos, según muestra la figura 4.6, los paneles fotovoltaicos representan la mayor parte de los impactos ambientales del sistema, su impacto total es 8,08 puntos (se recuerda que 1 punto es el impacto ambiental de un europeo medio en un año), y los impactos principales son:

- efectos de problemas respiratorios,
- calentamiento global y
- el efecto derivado de no utilizar energía renovable.

Los impactos de las inversores (ver figura 4.7) son de las mismas categorías que los paneles pero en menor magnitud, llegan a ser una décima parte de los anteriores.

Los impactos contribuidos por las instalaciones de cables y protecciones, mostrada en la figura 4.8, son distintas categorías de los demás. El impacto principal, el efecto que los químicos que se vierten el ecosistema (Terrestrial toxicity), tiene un valor de 0,047 puntos, es decir, del orden de la décima parte de los inversores, la centésima respecto a los paneles. En un sistema de 16 kWh dichos impactos casi no cambian el resultado, pero a gran escala tendrían más importancia. Los impactos que tienen las estructuras soportes, son aún menores y por esa razón no se muestran en el TFG, están por debajo del de los cables y protecciones, esto es menor del 1 % de los impactos totales de la instalación.

En resumen, los problemas respiratorios debidos a emisiones a la atmósfera es el impacto principal del sistema global, cuyo valor (casi 4 puntos) es el doble del siguiente problema: calentamiento global, y el tercero, efecto sobre las generaciones futuras de no utilizar energía

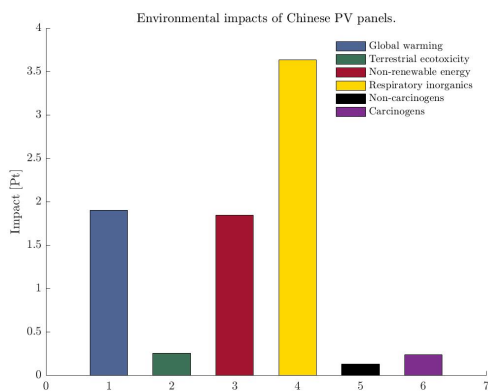


Figura 4.6: Los impactos ambientales derivados de los paneles fotovoltaicos chinos.

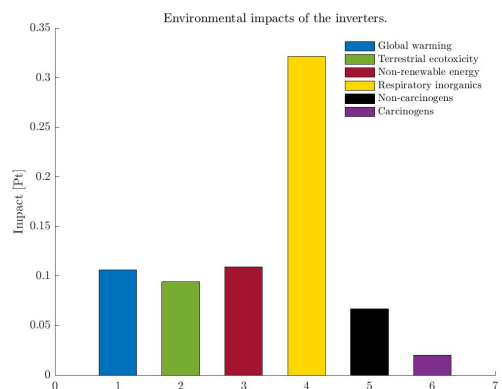


Figura 4.7: Los impactos ambientales derivados de las inversores.

renovable. En otro orden de magnitud, el mayor efecto de "Toxicidad del suelo" lo proporcionan los inversores, también el impacto en salud humana por cáncer.

En relación a las causas de estos impactos ambientales, basado en la literatura revisada y en los datos de la base de datos Ecoinvent. Lo que más contribuye al cambio climático es la energía de fuentes basadas en carbono, también llamadas combustibles fósiles. La fabricación de los paneles fotovoltaicos se realiza en China donde casi todas las fuentes de energía vienen de derivados de carbono. No obstante, Europa también aporta energía sucia de carbono pero en menor escala y es debido al transporte de los paneles. El producto tiene un marco de aluminio y su producción también contribuye al cambio climático.

Los principales impactos ambientales en el caso de los paneles fotovoltaicos son los efectos respiratorios por culpa de la emisión de sustancias inorgánicas: Óxidos de Nitrógeno, partículas sólidas, etc. El Calentamiento global es debido a las emisiones de gases de efecto invernadero al aire: Dióxido de Carbono, Metano,  $N_2O$ , etc. Finalmente, ya se ha mencionado que hay un importante impacto para las generaciones futuras por el consumo de energía de fuentes no renovables: Carbón, petróleo gas y Uranio. Tras realizar una comparación de los impactos ambientales de los paneles fotovoltaicos con los de consumo de energía eléctrica, se llega a la conclusión de que los impactos principales son muy parecidos para los diferentes productos, y también los son sus causas.

La electricidad que la generación del sistema fotovoltaico ahorra, 6.522 kWh por año y 163.050 kWh durante todo el ciclo de vida del sistema fotovoltaico, hace que los impactos ambientales de la generación fotovoltaica sustituya a los de la generación eléctrica en España con el mix energético del país (ver figura 1.3 del capítulo 1 y figura 4.9 a continuación). En la figura 4.9 se muestran los impactos ambientales de la misma cantidad de electricidad si fuera consumida de la red eléctrica actual. Puesto que los tres impactos principales (problemas respiratorios debidos a emisiones a la atmósfera, calentamiento global y consumo de energía de fuentes no renovables), son iguales para los paneles, los inversores y para la electricidad española, son

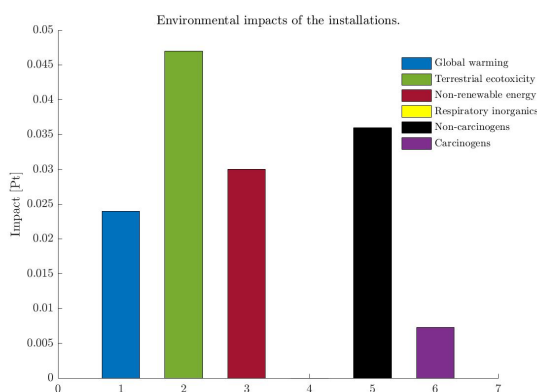


Figura 4.8: Los impactos ambientales derivados de las instalaciones eléctricas.

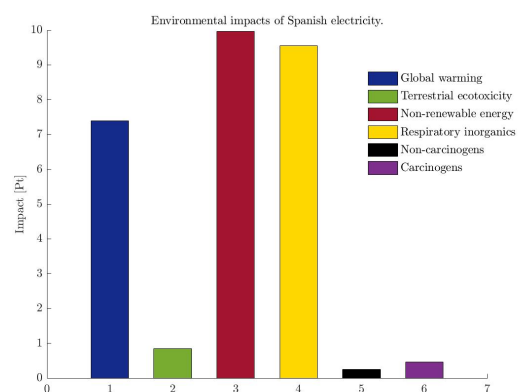


Figura 4.9: Los impactos ambientales derivados de la generación de electricidad española, durante 25 años.

directamente comparables.

En la figura 4.10 se ve que el tiempo de recuperación del impacto ambiental es ocho años. El ahorro de los impactos se ha calculado en base de la sustitución de electricidad que el auto consumo supone. En el octavo año el balance de los impactos ambientales está por debajo cero, es decir, positivo para el ambiente.

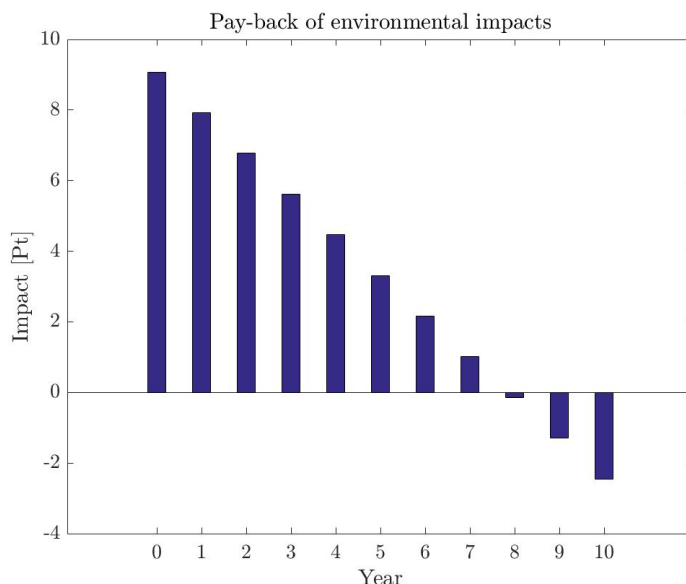


Figura 4.10: Las mayores emisiones de gases durante el ciclo de vida del sistema fotovoltaico.

Es importante destacar que, los impactos incluidos en la gráfica de la figura 4.10 son los principales, respiratorios inorgánicos, calentamiento global y el impacto por el consumo de energía no renovable. Durante la sustitución de energía renovable por electricidad, los impactos debidos al calentamiento global y la energía no renovable disminuye en un ritmo más rápido que en el caso el efecto que el impacto por respiratorios inorgánicos tiene. Para llegar a una un impacto acumulado cero sólo en esa categoría se tardaría 10 años.

Para comparar las causas de impacto ambiental se ha calculado la gráfica de la figura 4.11. En esta gráfica, para toda la instalación fotovoltaica, se muestra las principales causas de impacto ambiental durante su ciclo de vida. Se han descartado las que aportan menos del 1 % del impacto total. Los aportes más grandes son los de las emisiones gaseosas, por orden de importancia: micro-partículas sólidas y dióxido de carbono, y a continuación el consumo de carbón para generar calor y electricidad.

The emission of gases by the photovoltaic system, expressed in Pt

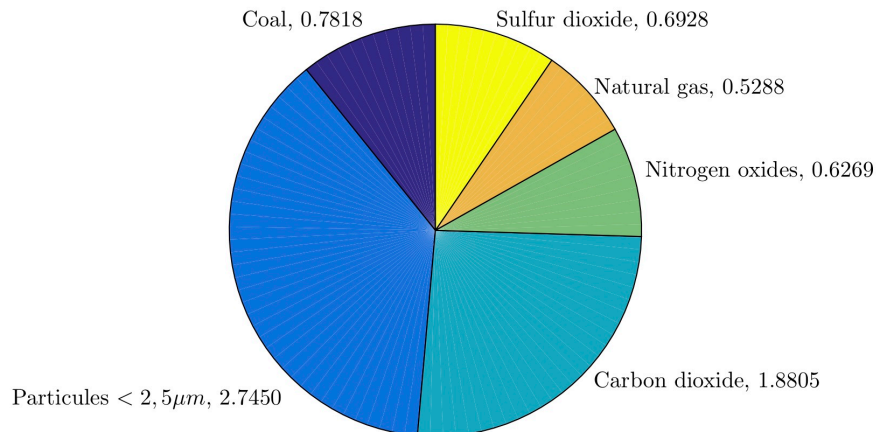


Figura 4.11: Las mayores causas de impacto ambiental agregado durante el ciclo de vida del sistema fotovoltaico.

### 4.3.1. Huella de Carbono de las soluciones

La Huella de Carbono es un método utilizado para determinar el total de las emisiones de gases equivalentes a los de dióxido de carbono,  $CO_{2eq}$ , que un producto, individuo, organización o evento tiene durante todo su ciclo de vida. El resultado de la evaluación ACV en SimaPro muestra que la mayoría de las emisiones en masa, que no en importancia para el impacto, son del tipo dióxido de carbono, en total 20.155 kg de  $CO_{2eq}$ . Eso debido a que la producción de las células solares, incluyendo todas etapas de la producción de las materias primas y el transporte de ellas se basa en China donde casi toda la energía viene de carbón.

Cada kWh generado del panel contribuye a la compensación de la Huella de Carbono. Asimismo el funcionamiento y éxito de la generación de electricidad es vital para la reducción de los impactos ambientales del producto.

Como se ha contado, el sistema fotovoltaico emite a lo largo de su ciclo de vida 20.155 kg de  $CO_{2eq}$ . Para calcular la cantidad de gases de efecto invernadero que se sustituyen, se calculan dos factores de emisión para la electricidad española en el punto de consumo. Por un lado, las emisiones específicas de  $CO_2$ , de la generación y distribución según la Red Eléctrica Española, cuyos emisiones se representan por las barras amarillas de la gráfica en la figura 4.12. Por otro lado se calcula las emisiones de  $CO_{2eq}$  (equivalente de dióxido de carbono) por kWh de electricidad española según la base de datos de Ecoinvent, cuya representación en la gráfica son las barras azules.

Las emisiones de  $CO_{2eq}$  iniciales son 20.155 kg. A partir del año 1, las emisiones invertidas en el año 0 se sustituyen por 2.931 kg de  $CO_{2eq}$  que se ahorra con el auto-consumo de electricidad.

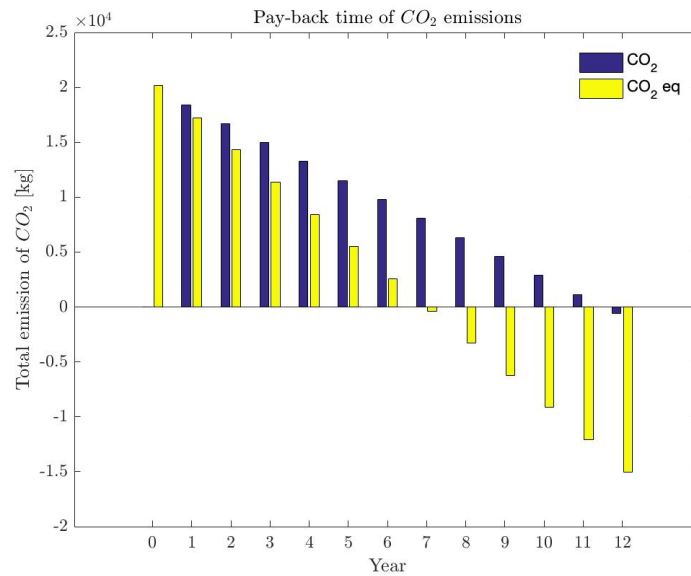


Figura 4.12: Las emisiones de  $CO_2$  y  $CO_{2eq}$  que el sistema fotovoltaico supone durante los primeros 12 años.

Suponiendo un consumo constante en el tiempo y factores de emisión constantes, las emisiones de  $CO_{2eq}$  iniciales serán substituidas en 6,7 años. Respecto a las emisiones específicas de  $CO_2$ , se ahorra 1.728 kg cada año y la inversión se recupera en 11,6 años. La gráfica 4.12 muestra como las emisiones llegan a ser negativos, es decir ahorros, a partir de año 7 en el caso de  $CO_{2eq}$ , y a partir de año 12 para  $CO_2$ . En los 25 años de vida útil de los paneles, el ahorro de estos gases es 3.447 kg de  $CO_2$  y 5.3109 kg de  $CO_{2eq}$ .

### 4.3.2. Discusión de los resultados de los resultados ambientales

Para evitar doble moral se debería elegir paneles fabricados en Europa. Puesto que los cambios climáticos están pasando y afectando todas partes del mundo, no es razonable ensuciar una parte del mundo (China) para ahorrar de los cambios climáticos en Europa.

Es importante tener en cuenta que al mismo ritmo que se fabrica los productos, se tiene que gestionar el fin de vida de los productos. Reutilizar los materiales y diseñar los productos desde un punto de vista de eco-diseño tiene cada vez más importancia y por lo tanto implementar planes de como reutilizar lo materiales ya durante la primera fase de diseño.

La implementación de un sistema fotovoltaico en una vivienda residencial es estratégicamente una buena opción, ya que hace que al usuario medio normal mas consciente de los problemas climáticos que el mundo está afrontando y también de su potencia de depender menos de la red eléctrica. Si cambia la manera en como piensan las personas, podría llegar a reflejarse en la política.

El tiempo de recuperación de los impactos suponen un impacto de la electricidad española constante con el tiempo, pero no es del todo cierto. En unos años la energía de la que deriva la electricidad será más verde y en ese caso el impacto disminuirá y el tiempo de recuperación de los impactos cambiará. El tiempo está estimado a la situación de hoy.

## 4.4. Estudio tecno-económico del proyecto

### 4.4.1. Presupuesto y viabilidad del sistema fotovoltaico

Los costes de la instalación del sistema de generación eléctrica son están presentados en las tablas 4.4.1 y 4.2. Se ha basado los precios de los paneles, los inversores y las estructuras soporte en los precios publicados en la página web del proveedor, Monsolar. Los gastos de mano de obra y montaje están extraídos de un presupuesto de un proyecto de diseño de una instalación fotovoltaica. [5]

| Material (*)                 | Unidades | Precio unitario [€] | Coste total [€] |
|------------------------------|----------|---------------------|-----------------|
| Panel Jinko Solar            | 48       | 160                 | 7680            |
| Estructura soporte           | 16       | 210                 | 3360            |
| Inversor autoconsumo         | 3        | 1.390,35            | 4.121,05        |
| Cableado (**)                | 27       | 1,6                 | 43,2            |
| Protecciones (**)            |          |                     | 232             |
| - Interruptor magnetotérmico |          |                     |                 |
| - Interruptor diferencial    |          |                     |                 |
| - Fusible                    |          |                     |                 |
| Puesta a tierra (*)          |          |                     | 125             |
|                              |          |                     | 15.561,25       |

Tabla 4.1: El presupuesto de los materiales necesarios en el sistema fotovoltaico. Costes sin IVA y tasa de beneficio industrial incluido.

(\*) Todos los valores incluyen un margen de costes indirectos.

(\*\*) Aproximado, basado en información de los instaladores: [www.monsolar.com](http://www.monsolar.com).



| Mano de obra y montaje        | Tiempo [h] o Unidades | Precio unitario [€] | Coste total [€] |
|-------------------------------|-----------------------|---------------------|-----------------|
| Módulo, estructura y cableado | 48                    | 17                  | 816             |
| Inversores                    | 3                     | 17                  | 51              |
| Puesta a tierra               | 2                     | 17                  | 34              |
| Protecciones                  | 4                     | 17                  | 68              |
| Andamios                      | 56                    | 5                   | 280             |
|                               |                       |                     | 1.249           |

Tabla 4.2: El presupuesto para los costes de mano de obra y montaje del sistema fotovoltaico. Costes sin IVA y tasa de beneficio industrial incluido.

El presupuesto total de ejecución material se basa en los costes de material, y de mano de obra y montaje de los componentes. La tabla 4.3 muestran los costes con IVA y tasa de beneficio industrial incluido.

| Presupuesto                       | Coste [€] |
|-----------------------------------|-----------|
| Material                          | 19.826    |
| Mano de obra y montaje            | 1586      |
| Presupuesto de ejecución material | 21.412,5  |

Tabla 4.3: El presupuesto total de ejecución material, para el sistema fotovoltaico. Incluye una tasa de de beneficio industrial de 6 % y 21 % de IVA.

El cálculo de VAN, Valor Actual Neto, y TIR, Tasa Interna de Retorno, se ha hecho en base de los flujos de caja durante los primeros 20 años.

$$VAN = -I_0 + \sum_{j=1}^{20} \frac{FN_j}{(1+k)^j} \quad (4.2)$$

$I_0$  es la inversión hecha a base del presupuesto total,  $k$  es la tasa de interés y  $FN$  el flujo neto. Con una tasa de interés de 5 % el VAN sale -14.284 € en 20 años.

$$TIR = \sum_{n=0}^{20} \frac{FN_n}{(1+k)^n} \quad (4.3)$$

El proyecto es rentable cuando el valor del TIR está por encima de la tasa de interés. En este caso el TIR tiene un valor de -3 %.

| Años | VAN [€]    | TIR [%] |
|------|------------|---------|
| 1    | -20.867,74 | -97     |
| 2    | -20.348,92 | -82     |
| 3    | -19.854,80 | -65     |
| 4    | -19.384,22 | -52     |
| 5    | -18.936,04 | -43     |
| 6    | -18.509,20 | -35     |
| 7    | -18.102,69 | -29     |
| 8    | -17.715,54 | -25     |
| 9    | -17.346,83 | -21     |
| 10   | -16.995,67 | -18     |
| 11   | -16.661,23 | -16     |
| 12   | -16.342,72 | -14     |
| 13   | -16.039,38 | -12     |
| 14   | -15.750,48 | -10     |
| 15   | -15.475,34 | -9      |
| 16   | -15.213,30 | -8      |
| 17   | -14.963,73 | -7      |
| 18   | -14.726,06 | -6      |
| 19   | -14.499,70 | -6      |
| 20   | -14.284,12 | -5      |

Tabla 4.4: El desarrollo de los valores VAN y TIR a lo largo de los años.

Según muestra la tabla [4.4](#) los valores de VAN y TIR disminuyen con el paso del tiempo. Los flujos de caja neto son iguales a partir del primer año con generación eléctrica. Ver apéndice [2.25](#).

#### 4.4.2. Tiempo de recuperación de la inversión

Con respecto al resultado del informe eléctrico de PVsyst, el mismo número de paneles generan 6.522 kWh anualmente, así que el sistema ahorra esa cantidad de energía. El ahorro anual medido en euros es

$$6,522kWh \times 0,2 \frac{\text{€}}{kWh} = 1304,4. \quad (4.4)$$

Dado que el precio medio por un kWh de electricidad es 0,2 € . El tiempo de recuperación de inversión se calcula en años como,

$$\frac{16810,25}{717,42} = 23,4 \quad (4.5)$$

años.

#### 4.4.3. Balance de beneficios e impactos ambientales

El edificio de Calle Andreu Alfaro 14 tiene 53 viviendas, más almacenes, sitio de ocio y una parte de hostelería. La fachada con paneles implementados en el muro es una y asimismo afecta a un total de 12 viviendas en las seis plantas. Las 12 familias compartirán los beneficios de la implementación y los aprovechamientos de los ahorros energéticos.

Anteriormente se ha llegado a la conclusión de que los paneles implican un ahorro de energía de casi 11 porcentajes, así que el consumo energético disminuirá con esos porcentajes. Una familia típica española en la zona mediterránea consume 8.636 kWh por año, pero dado que el barrio valenciano, donde el edificio se encuentra, está por debajo de los ingresos de una familia media, se aproxima que las familias del edificio tiene un consumo de energía de 5.000 kWh por año.

En total las 12 familias consumen 60.000 kWh y con los paneles instalados consiguen ahorrar en total 6.522 kWh anuales. El consumo de energía para calefacción y refrigeración corresponde a 48 porcentajes del total (ver la figura 1.6). La electricidad ahorrada, en kWh, sería

$$0,48 * \frac{6,522}{60,000} * 5,000 * t_{vidatil} \quad (4.6)$$

[3]

Con 25 años de vida útil  $t$ , el resultado es 6.522 kWh ahorradas. 48 % de la energía eléctrica.

#### 4.4.4. Discusión del estudio económico

Parte del presupuesto se basa en estudios previos de implementaciones de sistemas fotovoltaicos similares, de pequeña escala. Los números reales puede ser diferentes. La inversión en los paneles, las inversores y las estructuras sería con mucha probabilidad menor una vez que se negocia directamente con el fabricante de los productos. Los precios están extraídos de la página web de Monsolar. De la misma manera, los gastos del sistema fotovoltaico, de mantenimiento, son difíciles determinar previamente y es un parámetro importante para el funcionamiento del sistema ya que paneles sucios generan menos electricidad.

La selección de la tasa de interés se hizo después en colaboración con un profesional y el rango de valores razonables para el caso está entre 6,5 y 8 %. La amortización de los productos se suponen lineal durante los 25 años de vida útil.

# Capítulo 5

## Conclusiones

La primera idea que motivó este estudio era conocer la viabilidad de colocar paneles fotovoltaicos en las fachadas. Esta idea nació de considerar que algunos edificios no podrían usar sus cubiertas o que algunos ya tendrían paneles en las cubiertas. De base se conocía que esta opción daría unos resultados considerablemente peores que colocar los paneles en la cubierta con una inclinación óptima, pero no se decidió realizar el estudio más en profundidad. De la bibliografía realizada se vio que los resultados podían ser medianamente aceptables, aunque no haya sido el caso de este trabajo.

Viendo los estudios por separado, empezando por el análisis térmico, no se ha obtenido un resultado de que los paneles supongan una mejora en el aislamiento de la fachada. Para evaluar la capacidad de aislar la envolvente es necesario dirigirse a un programa informático especializado en dicho área. Que permita calcular el comportamiento del aire dentro de la cavidad que genera el panel con la fachada. Se propone como futuro estudio, o como mínimo ampliar debidamente el estado del arte en este aspecto.

Respecto a la evaluación eléctrica, se confirma que la elevación de la temperatura de los paneles causa una pérdida de energía en el sistema. La generación de electricidad del sistema fotovoltaico disminuye con la posición vertical significativamente, ya que la superficie recibe menos irradiación solar. Para llegar a una conclusión global habría que hacer los mismos estudios en diferentes fachadas con diferentes condiciones. También se propone probar distintas inclinaciones de los paneles, variando ligeramente la posición del panel con respecto a la fachada. Si que es cierto que puede aumentar el coste de la estructura, pero viendo que tanto económicamente como ecológicamente es el elemento que menos afecta, puede existir una solución con las estructura y mejores valores de generación. Se puede optimizar hasta encontrar una solución de compromiso entre coste y generación.

Desde un punto de vista ecológico, la implementación sale rentable ya que suponen una disminución de las emisiones de  $CO_2$  y en su vida útil los impactos ambientales con respecto a la red eléctrica se reducen. Hasta en casos como este donde la generación es muy baja y el impacto de los equipos no es despreciable (como el caso del inversor), la energía renovable compensa con creces el uso de la red eléctrica. Una vez más los resultados dicen que el uso de energías

renovables debe ser el camino a seguir para conseguir los objetivos de la UE para garantizar la sostenibilidad de la tierra.

Por último, el análisis económico de la instalación concluye de forma igual que su predecesor, el análisis de generación eléctrica. El tiempo que se tarda en recuperar la inversión es más largo de lo deseado y mediante los valores de VAN y TIR se puede llegar a la conclusión que la inversión en el sistema fotovoltaico no es rentable.

Aquí se puede llegar a un debate sobre cual es la rentabilidad más importante. Se ha visto que económicamente no merece la pena elegir esta instalación, pero para el medio ambiente se consigue mitigar de forma considerable el efecto humano con esta propuesta en contraposición a seguir usando al red. Podríamos preguntarnos si en un futuro no muy lejano se debería plantear el sobre-coste ecológico como un sobre-coste económico bastante importante, en pro de beneficiar el uso de sistemas más limpios y ayudar al medio ambiente en su lucha por la supervivencia.

# REFERENCIAS

- [1] . About simapro. <https://simapro.com/about/>, 2019.
- [2] . Análisis del ciclo de vida iso 14040. <https://www.conservacionycarbono.com/analisis-del-ciclo-de-vida-iso-14040>, 2019.
- [3] . Cartografía. <https://www1.sedecatastro.gob.es/Cartografia/mapa.aspx?buscar=S>, 2019.
- [4] . Impact 2002+ user guide. <https://www.quantis-intl.com/pdf/IMPACT2002UserGuideforvQ2,21.pdf>, 2019.
- [5] ANDRÉS, I. G. In [5], ch. Presupuesto - DISEÑO DE UNA INSTALACIÓN FOTOVOLTAICA DE 5.3 KW AISLADA CON APOYO DE BATERÍAS Y GRUPO ELECTRÓGENO PARA UNA INSTALACIÓN DE ALUMBRADO PÚBLICO.
- [6] CERTICALIA. Precio del certificación energético en valencia. <https://www.certicalia.com/blog/precio-del-certificado-energetico-en-valencia>, 2019.
- [7] COMMISSION., E. What is horizon 2020? - horizon 2020 - european commission. <https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/what-horizon-2020>, 2019.
- [8] DE RUTA., H. In [8], ch. .
- [9] DE VALENCIA., A. In [9], ch. Plan de Acción para el Clima y la Energía Sostenible de la ciudad de València.
- [10] EKOENERGY. Background information climate change. <https://www.ekoenergy.org/es/extras/background-information/climate-change/>, 2019.
- [11] ENERGÉTICA., I. I. In [11], ch. ADD.
- [12] ENERGÍA., I. Guía breve certificación energética de edificios en la comunitat valenciana. [http://www.ivace.es/images/energia/triptico%20cee\\_2.pdf](http://www.ivace.es/images/energia/triptico%20cee_2.pdf), 2019.
- [13] EPISCOPE. In [13], ch. ECatálogo de tipología edificatoria residencial. Edificio plurifamiliar 1960-79.

- [14] EVS. Solar environmental impact summary. [http://www.evs.anl.gov/downloads/Solar\\_Environmental\\_Impact\\_Summary.pdf](http://www.evs.anl.gov/downloads/Solar_Environmental_Impact_Summary.pdf), 2019.
- [15] GIFEX. Distrito de benicalap. [https://www.gifex.com/detail/2011-03-18-13198/Distrito\\_de\\_Benicalap\\_Valencia.html](https://www.gifex.com/detail/2011-03-18-13198/Distrito_de_Benicalap_Valencia.html), 2011.
- [16] GLOBAL CLIMATE CHANGE, N. Graphic: the relentless rise of carbon dioxide. [https://climate.nasa.gov/climate\\_resources/24/graphic-the-relentless-rise-of-carbon-dioxide/](https://climate.nasa.gov/climate_resources/24/graphic-the-relentless-rise-of-carbon-dioxide/), 2019.
- [17] HISPAGUA. Energía hidroeléctrica en españa. <http://hispagua.cedex.es/datos/energia>, 2019.
- [18] IDAE, E. ch. Consumos del Sector Residencial en España Resumen de Información Básica.
- [19] IEA. Share of total final consumption (tfc) by sector. <https://www.iea.org/statistics/?country=SPAIN&year=2016&category=Energy%20consumption&indicator=TFCShareBySector&mode=chart&dataTable=BALANCES>, 2016.
- [20] IIE, U. In [20], ch. Unit 2: Solar Power.
- [21] IRWANTO., M. Investigation of the effect temperature on photovoltaic (pv) panel output performance. [https://www.researchgate.net/publication/309600416\\_Investigation\\_of\\_the\\_Effect\\_Temperature\\_on\\_Photovoltaic\\_PV\\_Panel\\_Output\\_Performance](https://www.researchgate.net/publication/309600416_Investigation_of_the_Effect_Temperature_on_Photovoltaic_PV_Panel_Output_Performance), 2016.
- [22] JINQING PENG, LIN LU, H. Y. J. H. Investigation on the annual thermal performance of a photovoltaic wall mounted on a multi-layer façade, 2013.
- [23] LABRI. Chapter 15. [http://www.labri.fr/perso/billaud/Helios2/resources/es15/Chapter\\_15\\_ES.pdf](http://www.labri.fr/perso/billaud/Helios2/resources/es15/Chapter_15_ES.pdf), 2019.
- [24] MONSOLAR. Ficha técnica panel solar jinko eagle 72 cels. <https://www.monsolar.com/pdf/ficha-tecnica-panel-solar-jinko-eagle-72cels.pdf>, 2019.
- [25] NATURVÅRDSVERKET. Andra växthusgaser. <https://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Klimat-och-luft/Klimat/Darfor-blir-det-varmare/Andra-vaxthusgaser/>, 2019.
- [26] NAVES., L. Grow green - las naves. <https://www.lasnaves.com/proyectos/grow-green/?lang=es>, 2011.
- [27] NYTEKNIK, L. N. Svenska takpannorna genererar sin egen el. <https://www.nyteknik.se/energi/svenska-takpannorna-genererar-sin-egen-el-6859088>, 2017.
- [28] NYTEKNIK, L. N. Svenska bolaget lanserar fasadskivorna som ger el. <https://www.nyteknik.se/energi/>

- 
- svenska-bolaget-lanserar-fasadskiva-som-ger-el-6908456, 2019.
- [29] NYTEKNIK, T. Världens koldioxidutsläpp högre än någonsin. <https://www.nyteknik.se/miljo/varldens-koldioxidutslapp-hogre-an-nagonsin-6941548>, 2019.
- [30] PACHECO ASESORAMIENTO Y MANTENIMIENTO, S. Aislamiento fachadas con inyección en cÁmaras. <http://www.pachecoam.com/site1/aislamiento-fachadas-con-inyeccion-camaras/>, 2019.
- [31] PACTODELOSALCALDES.EU. Preguntas frecuentes. <https://www.pactodelosalcaldes.eu/apoyo/preguntas-frecuentes.html>, 2019.
- [32] PACTODELOSALCALDES.EU. Valencia. [https://www.pactodelosalcaldes.eu/sobre-nosotros/la-comunidad-del-pacto/firmantes/avances.html?scity\\_id=1937](https://www.pactodelosalcaldes.eu/sobre-nosotros/la-comunidad-del-pacto/firmantes/avances.html?scity_id=1937), 2019.
- [33] PERIODICO., E. Agenda actividad es barcelona gratis hoy 28 enero 2018. <https://www.elperiodico.com/es/distritos/20180128/agenda-actividades-barcelona-gratis-hoy-28-enero-2018-6580111>, 2018.
- [34] PROFESORES TRANSMISIÓN DE CALOR, U. In [34], ch. Radiación.
- [35] PROJECT, G. C. |, 2019.
- [36] PVGIS. Monthly global irradiation data. <http://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis/apps4/pvest.php#>, 2019.
- [37] RADHI, H. Energy analysis of facade-integrated photovoltaic systems applied to uae commercial buildings, 2010.
- [38] RADHI, H. Trade-off between enironmental and aconomic implications of pv systems integrated into uae residential sector, 2012.
- [39] RENOVABLES., D. Generación eléctrica en españa marzo de 2019. <https://www.diariorenovables.com/2019/04/generacion-electrica-en-espana-marzo-de-2019.html>, 2019.
- [40] REPEX. In [40], ch. Soluciones de Rehab Energetica.
- [41] STATISTA. co<sub>2</sub> emissions spain. <https://www.statista.com/statistics/449821/co2-emissions-spain/>, 2019.
- [42] TÉCNICO., C. Herramienta unificada líder-calener. <https://www.codigotecnico.org/index.php/menu-recursos/menu-aplicaciones/282-herramienta-unificada-lider-calener.html>, 2019.



# Anexos A

## Información de las fachadas estudiadas

### 1.1. Clasificación fachadas



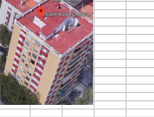







|  |  |  |   |  |
|--|--|--|---|--|
|    |    |    |    |    |
| <b>Dirección</b>   Centro del Doctor Nicasí Benicarló St.<br><b>Número de plantas</b>   4<br><b>Altura [m]</b>   15<br><b>Longitud [m]</b>   23,5-14-12<br><b>Superficie total</b>  <br><b>Volumen [m³]</b>  <br><b>Superficie disponible</b>  <br><b>Porcentaje sol</b>   75<br><b>Orientación</b>  <br><b>Materia</b>  <br><b>Año de construcción</b>  <br><b>Resistencia</b>  <br><b>Nombre</b> | <b>Dirección</b>   Centro del Doctor Nicasí Benicarló St.<br><b>Número de plantas</b>   5<br><b>Altura [m]</b>   12,5<br><b>Longitud [m]</b>   19-20<br><b>Superficie total</b>  <br><b>Volumen [m³]</b>  <br><b>Superficie disponible</b>  <br><b>Porcentaje sol</b>   80,6<br><b>Orientación</b>  <br><b>Materia</b>  <br><b>Año de construcción</b>  <br><b>Resistencia</b>  <br><b>Nombre</b>        | <b>Dirección</b>   Calle Andrés Alfaro 2<br><b>Número de plantas</b>   11<br><b>Altura [m]</b>   29,5<br><b>Longitud [m]</b>   19,5<br><b>Superficie total</b>   497,5<br><b>Volumen [m³]</b>  <br><b>Superficie disponible</b>   142,3   28%<br><b>Porcentaje sol</b>   81<br><b>Orientación</b>  <br><b>Materia</b>  <br><b>Año de construcción</b>  <br><b>Resistencia</b>  <br><b>Nombre</b> | <b>Dirección</b>   Kinross Mahonera<br><b>Número de plantas</b>  <br><b>Altura [m]</b>  <br><b>Longitud [m]</b>   18,5<br><b>Volumen [m³]</b>  <br><b>Superficie disponible</b>  <br><b>Porcentaje sol</b>   99<br><b>Orientación</b>  <br><b>Materia</b>  <br><b>Año de construcción</b>  <br><b>Resistencia</b>  <br><b>Nombre</b>  | <b>Dirección</b>   39°23'14"N 0°23'00,4"W<br><b>Número de plantas</b>   5<br><b>Altura [m]</b>   2,5<br><b>Longitud [m]</b>   7,5<br><b>Volumen [m³]</b>  <br><b>Superficie disponible</b>   75   100%<br><b>Porcentaje sol</b>  <br><b>Orientación</b>  <br><b>Materia</b>  <br><b>Año de construcción</b>  <br><b>Resistencia</b>  <br><b>Nombre</b>                   |
|   |   |   |   |   |
| <b>Dirección</b>   Centro el papa 2<br><b>Número de plantas</b>   2<br><b>Altura [m]</b>   17,5<br><b>Longitud [m]</b>   12<br><b>Superficie total</b>  <br><b>Volumen [m³]</b>  <br><b>Superficie disponible</b>  <br><b>Porcentaje sol</b>  <br><b>Orientación</b>  <br><b>Materia</b>  <br><b>Año de construcción</b>  <br><b>Resistencia</b>  <br><b>Nombre</b>                                | <b>Dirección</b>   39°23'54,4"N 0°22'18,8"W<br><b>Número de plantas</b>   6<br><b>Altura [m]</b>   18<br><b>Longitud [m]</b>   13,5<br><b>Superficie total</b>   19113,2<br><b>Volumen [m³]</b>  <br><b>Superficie disponible</b>   400   2,1%<br><b>Porcentaje sol</b>   40%   40%<br><b>Orientación</b>  <br><b>Materia</b>  <br><b>Año de construcción</b>  <br><b>Resistencia</b>  <br><b>Nombre</b> | <b>Dirección</b>  <br><b>Número de plantas</b>  <br><b>Altura [m]</b>  <br><b>Longitud [m]</b>  <br><b>Superficie total</b>  <br><b>Volumen [m³]</b>  <br><b>Superficie disponible</b>  <br><b>Porcentaje sol</b>   74,8<br><b>Orientación</b>  <br><b>Materia</b>  <br><b>Año de construcción</b>  <br><b>Resistencia</b>  <br><b>Nombre</b>  | <b>Dirección</b>   39°23'03,8"N 0°23'06,5"W<br><b>Número de plantas</b>   6<br><b>Altura [m]</b>   15<br><b>Longitud [m]</b>  <br><b>Superficie total</b>  <br><b>Volumen [m³]</b>  <br><b>Superficie disponible</b>  <br><b>Porcentaje sol</b>   79,5<br><b>Orientación</b>  <br><b>Materia</b>  <br><b>Año de construcción</b>  <br><b>Resistencia</b>  <br><b>Nombre</b> | <b>Dirección</b>   39°23'1,6"N 0°23'21,4"W<br><b>Número de plantas</b>   4<br><b>Altura [m]</b>   10<br><b>Longitud [m]</b>  <br><b>Superficie total</b>  <br><b>Volumen [m³]</b>  <br><b>Superficie disponible</b>  <br><b>Porcentaje sol</b>   99<br><b>Orientación</b>  <br><b>Materia</b>  <br><b>Año de construcción</b>  <br><b>Resistencia</b>  <br><b>Nombre</b> |

Figura 1.1: Descripción geográfica y geométrica de las fachadas en Benicarló, para la evaluación de su potencial de integrar un sistema fotovoltaico.








|   |   |   |  |   |
|---|---|---|--|---|
|    |    |    |   |    |
| <p>Dirección: Calle de Calles Cortas</p> <p>Número de plantas: 6</p> <p>Altura [m]: 15</p> <p>Longitud [m]: 18</p> <p>Superficie total: 12,918</p> <p>Superficie disponible: 10,334</p> <p>Porcentaje: 79%</p> <p>Orientación: Sur</p> <p>Material: Hormigón</p> <p>Alto de construcción: 15m</p> <p>Resistencia: 1</p> <p>Sustituir: 1</p>         | <p>Dirección: 39°20'55.87"N 0°22'24.17"W</p> <p>Número de plantas: 2</p> <p>Altura [m]: 11</p> <p>Longitud [m]: 18</p> <p>Superficie total: 12,918</p> <p>Superficie disponible: 10,334</p> <p>Porcentaje: 79%</p> <p>Orientación: Sur</p> <p>Material: Hormigón</p> <p>Alto de construcción: 15m</p> <p>Resistencia: 1</p> <p>Sustituir: 1</p>                   | <p>Dirección: 39°20'48.17"N 0°22'21.27"W</p> <p>Número de plantas: 2</p> <p>Altura [m]: 11</p> <p>Longitud [m]: 18</p> <p>Superficie total: 12,918</p> <p>Superficie disponible: 10,334</p> <p>Porcentaje: 79%</p> <p>Orientación: Sur</p> <p>Material: Hormigón</p> <p>Alto de construcción: 15m</p> <p>Resistencia: 1</p> <p>Sustituir: 1</p> | <p>Dirección: Calle Escudero Brea 1 Barrio 18</p> <p>Número de plantas: 2</p> <p>Altura [m]: 12</p> <p>Longitud [m]: 18</p> <p>Superficie total: 12,918</p> <p>Superficie disponible: 10,334</p> <p>Porcentaje: 79%</p> <p>Orientación: Sur</p> <p>Material: Hormigón</p> <p>Alto de construcción: 15m</p> <p>Resistencia: 1</p> <p>Sustituir: 1</p> | <p>Dirección: 39°22'42.27"N 0°22'28.37"W</p> <p>Número de plantas: 2</p> <p>Altura [m]: 12</p> <p>Longitud [m]: 18</p> <p>Superficie total: 12,918</p> <p>Superficie disponible: 10,334</p> <p>Porcentaje: 79%</p> <p>Orientación: Sur</p> <p>Material: Hormigón</p> <p>Alto de construcción: 15m</p> <p>Resistencia: 1</p> <p>Sustituir: 1</p> |
|    |    |   |  |   |
| <p>Dirección: 39°20'54.77"N 0°22'28.17"W</p> <p>Número de plantas: 2</p> <p>Altura [m]: 16,5</p> <p>Longitud [m]: 18</p> <p>Superficie total: 12,918</p> <p>Superficie disponible: 10,334</p> <p>Porcentaje: 79%</p> <p>Orientación: Sur</p> <p>Material: Hormigón</p> <p>Alto de construcción: 16,5m</p> <p>Resistencia: 1</p> <p>Sustituir: 1</p> | <p>Dirección: Calle Andra 39°20'55.57"N 0°22'43.37"W</p> <p>Número de plantas: 2</p> <p>Altura [m]: 18,6</p> <p>Longitud [m]: 18,6</p> <p>Superficie total: 12,918</p> <p>Superficie disponible: 10,334</p> <p>Porcentaje: 79%</p> <p>Orientación: Sur</p> <p>Material: Hormigón</p> <p>Alto de construcción: 18,6m</p> <p>Resistencia: 1</p> <p>Sustituir: 1</p> |   |  |   |

Figura 1.2: Descripción geográfica y geométrica de las fachadas en Benicalap, para la evaluación de su potencial de integrar un sistema fotovoltaico.

# Anexos B

## Información adicional de los programas de simulación

### 2.1. Características de los cerramientos introducidos en HULC

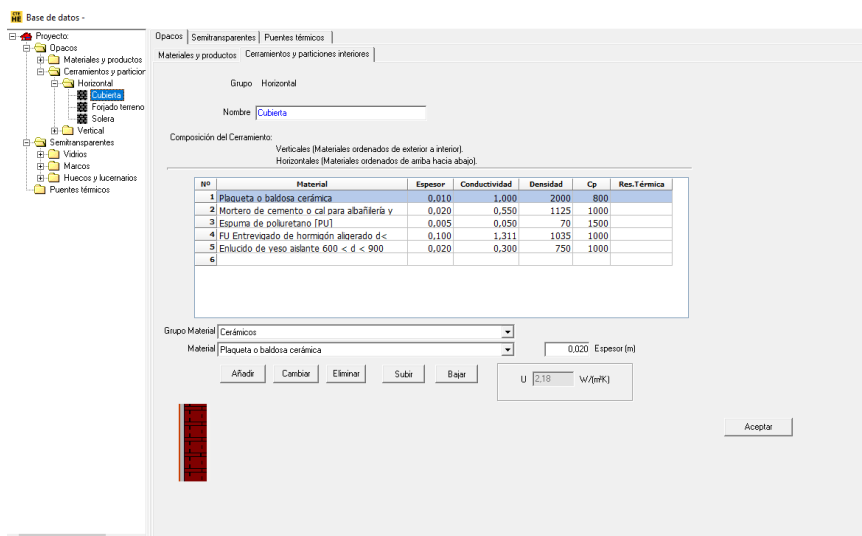


Figura 2.1: Características de las capas que conforman la cubierta.

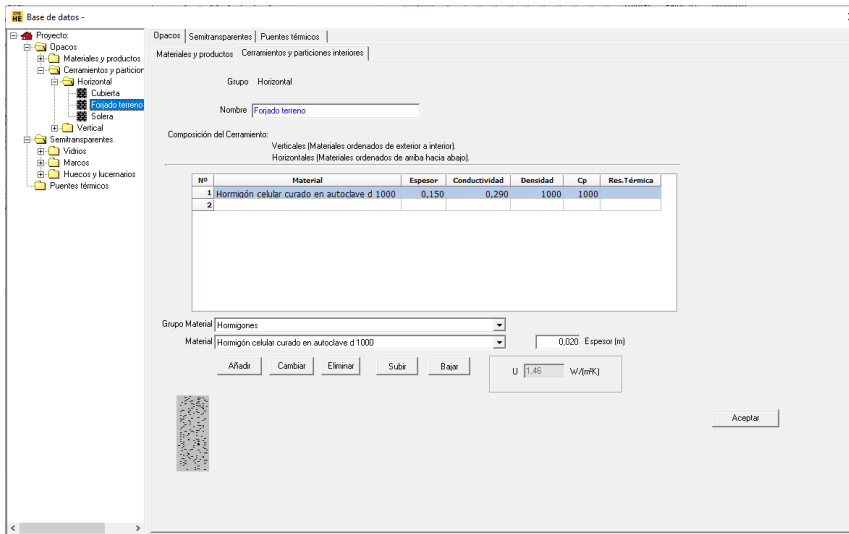


Figura 2.2: Características de las capas que conforman el forjado con el terreno.

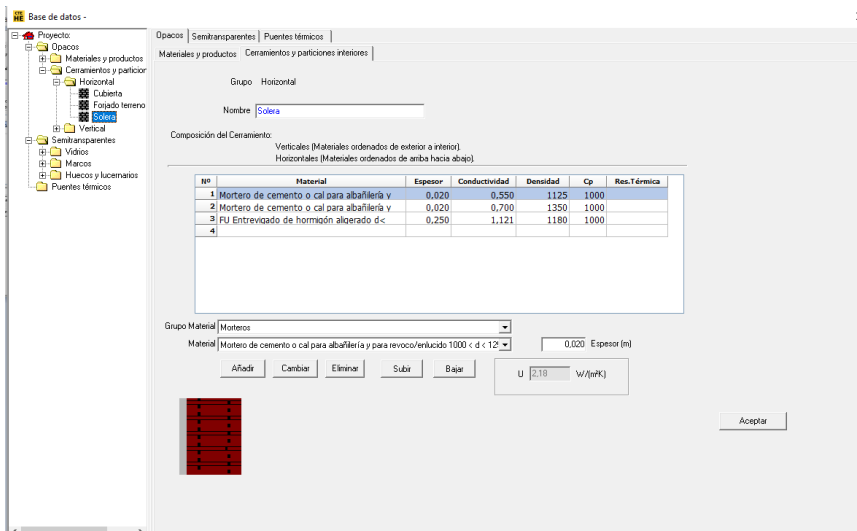


Figura 2.3: Características de las capas que conforman la solera.

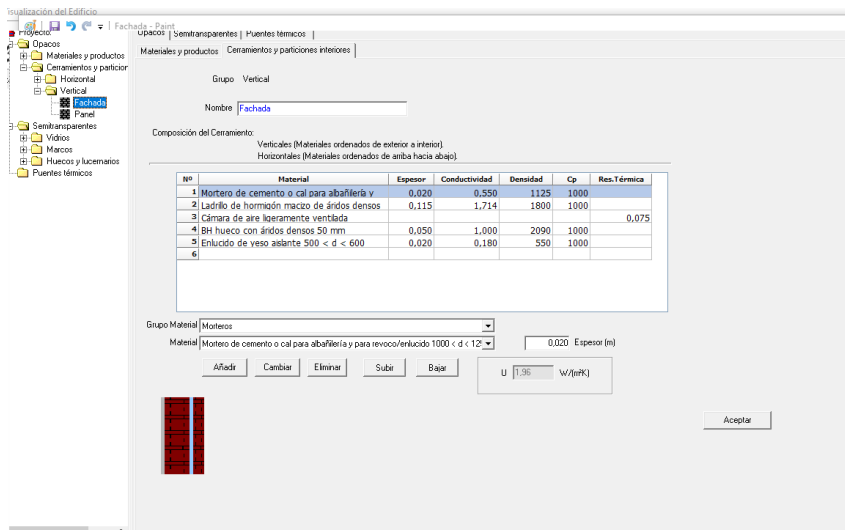


Figura 2.4: Características de las capas que conforman la fachada.

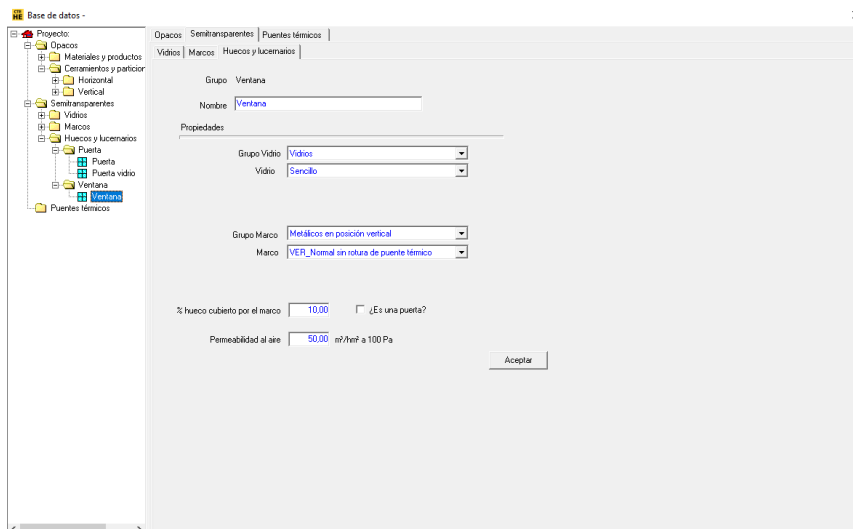


Figura 2.5: Características de los cerramientos de ventana.

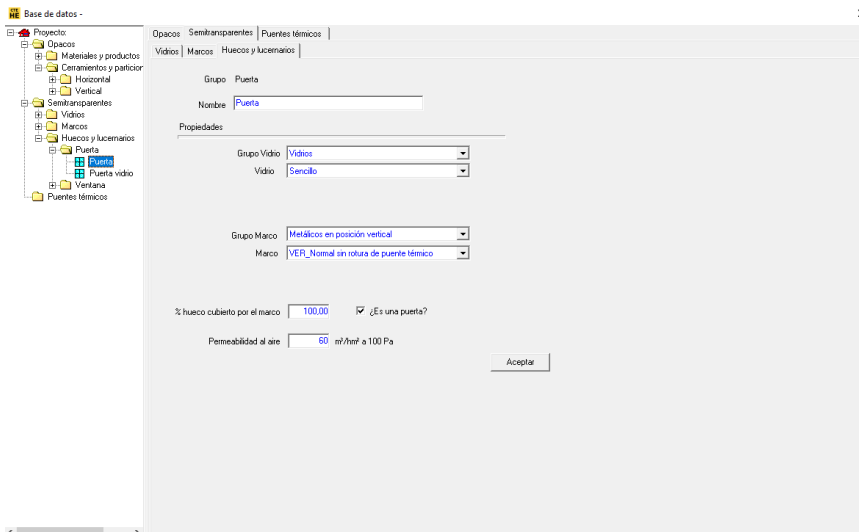


Figura 2.6: Características de los cerramientos de puerta.

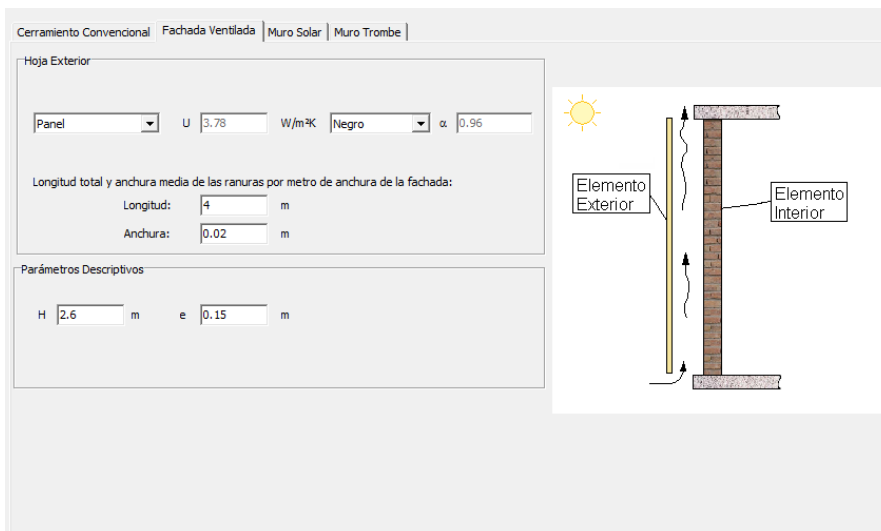


Figura 2.7: Características de la fachada ventilada.

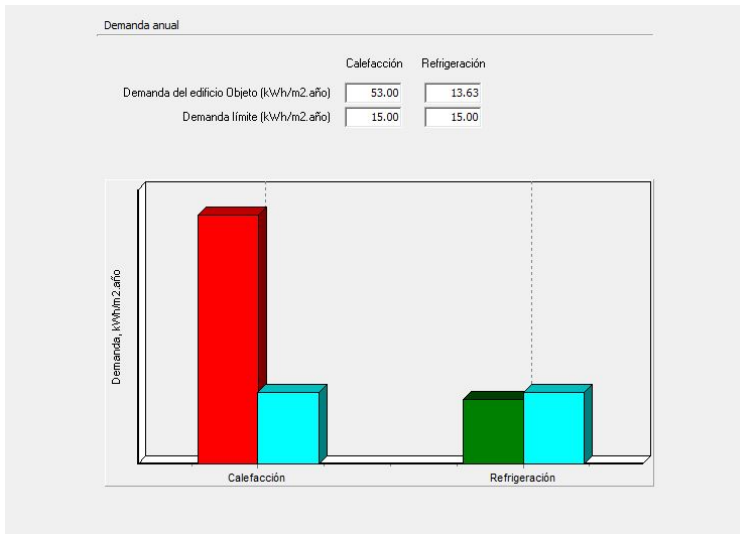


Figura 2.8: Demandas energéticas para climatización y refrigeración obtenidas de HULC. Comparación entre simulación y edificio base por ley.

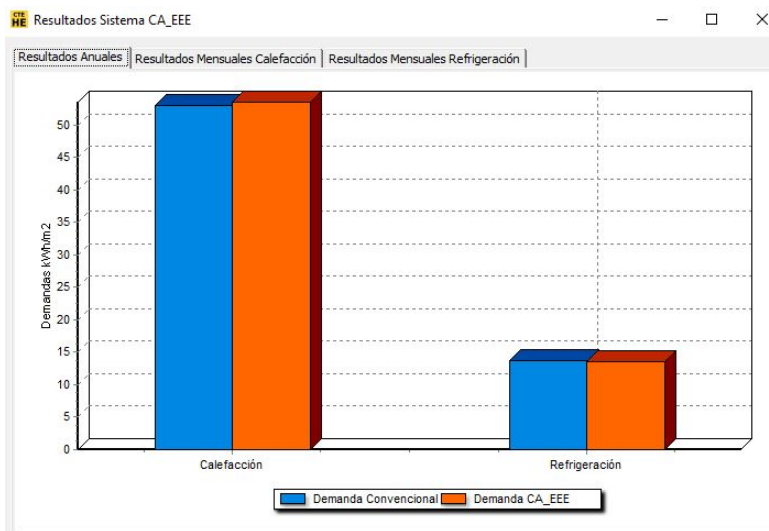


Figura 2.9: Demandas energéticas para climatización y refrigeración obtenidas de HULC comparando con y sin fachada ventilada.

## 2.2. Resultado detallado de la simulación eléctrica - PVsyst

|  |                       |   |                                       |
|--|-----------------------|---|---------------------------------------|
| PVSYST V6.80   |                       | 28/05/19                                      | Página 1/4                            |
| <b>Sistema Conectado a la Red: Parámetros de la simulación</b> |                       |   |                                       |
| <b>Proyecto : Nuevo Proyecto</b>                               |                       |   |                                       |
| <b>Sitio geográfico</b>  | <b>Manises</b>        | <b>País</b>                                   | <b>España</b>                         |
| <b>Ubicación</b>   | Latitud               | 39.49° N                                      | Longitud -0.46° W                     |
| Tiempo definido como   | Hora Legal            | Huso horario UT+1                             | Altitud 53 m                          |
|  | Albedo                | 0.20  |                                       |
| <b>Datos meteorológicos:</b>                                   | <b>Manises</b>        | Meteonorm 7.2 (1997-2006) - Sintético         |                                       |
| <b>Variante de simulación : Nueva variante de simulación</b>   |                       |   |                                       |
|  | Fecha de simulación   | 28/05/19 08h03                                |                                       |
| <b>Parámetros de la simulación</b>                             | Tipo de sistema       | <b>No hay escenario 3D, no hay sombreados</b> |                                       |
| <b>Orientación plano captador</b>                              | Inclinación           | 90°   | Acimut 140°                           |
| <b>Modelos empleados</b>                                       | Transposición         | Perez   | Difuso Perez, Meteonorm               |
| <b>Horizonte</b>   | Sin horizonte         |   |                                       |
| <b>Sombreados cercanos</b>                                     | Sin sombreado         |   |                                       |
| <b>Necesidades del usuario :</b>                               | Carga ilimitada (red) |   |                                       |
| <b>Características del conjunto FV</b>                         |                       |   |                                       |
| <b>Módulo FV</b>   | Si-poly               | Modelo  | <b>JKM 335PP-72 (Plus)-V</b>          |
| Base de datos PVsyst original                                  | Fabricante            | Jinkosolar                                    |                                       |
| Número de módulos FV   | En serie              | 12 módulos                                    | En paralelo 2 cadenas                 |
| Núm. total de módulos FV                                       | Núm. módulos          | 24  | Pnom unitaria 335 Wp                  |
| Potencia global del conjunto                                   | Nominal (STC)         | <b>8.04 kWp</b>                               | En cond. de funciona. 7.28 kWp (50°C) |
| Caract. funcionamiento del conjunto (50°C)                     | U mpp                 | 418 V   | I mpp 17 A                            |
| Superficie total   | Superficie módulos    | <b>46.6 m²</b>                                | Superficie célula 42.1 m²             |
| <b>Inversor</b>  |                       |   |                                       |
| Base de datos PVsyst original                                  | Modelo                | <b>Imeon 9.12</b>                             |                                       |
| Características  | Fabricante            | Imeon Energy                                  |                                       |
|  | Voltaje de funcionam. | 380-750 V                                     | Pnom unitaria 9.00 kWac               |
| Paquete de inversores  | Núm. de inversores    | 2 * MPPT 50 %                                 | Potencia total 9.0 kWac               |
|  |                       |   | Relación Pnom 0.89                    |
| <b>Factores de pérdida del conjunto FV</b>                     |                       |   |                                       |
| Factor de pérdidas térmicas                                    | Uc (const)            | 20.0 W/m²K                                    | Uv (viento) 0.0 W/m²K / m/s           |
| Pérdida óhmica en el Cableado                                  | Res. global conjunto  | 401 mOhm                                      | Fracción de pérdidas 1.5 % en STC     |
| Pérdida Calidad Módulo   |                       |   | Fracción de pérdidas -0.8 %           |
| Pérdidas de "desajuste" Módulos                                |                       |   | Fracción de pérdidas 1.0 % en MPP     |
| Pérdidas de "desajuste" cadenas                                |                       |   | Fracción de pérdidas 0.10 %           |
| Efecto de incidencia, parametrización ASHRAE                   | IAM =                 | 1 - bo (1/cos i - 1)                          | Parám. bo 0.05                        |

PVsyst Evaluation mode

Traducción sin garantía. Sólo el texto inglés está garantizado.

Figura 2.10: Datos introducidos de la localidad y características de los paneles fotovoltaicos.

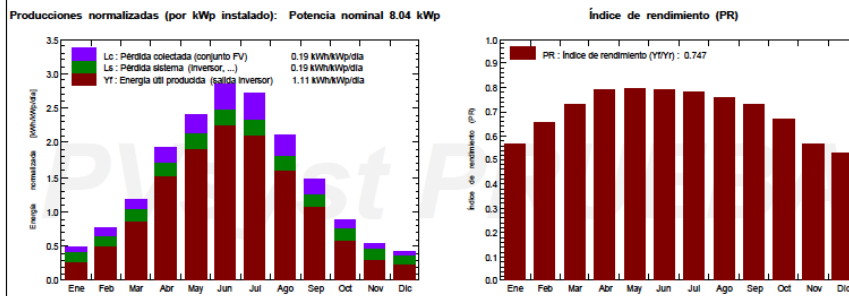


**Sistema Conectado a la Red: Resultados principales**

**Proyecto :** Nuevo Proyecto  
**Variante de simulación :** Nueva variante de simulación

|   |                       |   |                            |
|---|-----------------------|---|----------------------------|
| <b>Parámetros principales del sistema</b> | Tipo de sistema       | <b>No hay escenario 3D, no hay sombreados</b> |                            |
| Orientación Campos FV                     | inclinación           | 90°   | acimut 140°                |
| Módulos FV                                | Modelo                | JKM 335PP-72 (Plus)-V                         | Pnom 335 Wp                |
| Conjunto FV                               | Núm. de módulos       | 24  | Pnom total <b>8.04 kWp</b> |
| Inversor                                  | Modelo                | imeon 9.12                                    | Pnom 9.00 kW ac            |
| Necesidades del usuario                   | Carga ilimitada (red) |   |                            |

|  |                            |                     |                                    |
|--|----------------------------|---------------------|------------------------------------|
| <b>Resultados principales de la simulación</b> |                            |                     |                                    |
| Producción del sistema                         | <b>Energía producida</b>   | <b>3261 kWh/año</b> | Produc. específica 406 kWh/kWp/año |
|  | Índice de rendimiento (PR) | 74.69 %             |                                    |



**Nueva variante de simulación**  
**Balances y resultados principales**

|            | GlobHor<br>kWh/m <sup>2</sup> | DiffHor<br>kWh/m <sup>2</sup> | T_Amb<br>°C  | GlobInc<br>kWh/m <sup>2</sup> | GlobEff<br>kWh/m <sup>2</sup> | EArray<br>kWh | E_Grid<br>kWh | PR           |
|------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------|---------------|--------------|
| Enero      | 67.0                          | 29.60                         | 10.04        | 15.21                         | 14.45                         | 108.5         | 69.2          | 0.566        |
| Febrero    | 90.6                          | 34.10                         | 10.95        | 21.28                         | 19.69                         | 150.1         | 112.3         | 0.656        |
| Marzo      | 134.7                         | 48.10                         | 13.82        | 36.71                         | 34.33                         | 261.1         | 216.0         | 0.732        |
| Abril      | 166.3                         | 67.10                         | 15.52        | 58.14                         | 54.75                         | 417.4         | 368.5         | 0.788        |
| Mayo       | 188.1                         | 78.80                         | 19.12        | 74.97                         | 71.30                         | 533.8         | 479.3         | 0.795        |
| Junio      | 202.3                         | 88.30                         | 23.31        | 85.69                         | 81.38                         | 600.7         | 545.4         | 0.792        |
| Julio      | 209.0                         | 88.00                         | 26.03        | 83.86                         | 79.91                         | 583.6         | 527.6         | 0.783        |
| Agosto     | 178.5                         | 78.50                         | 26.11        | 65.34                         | 61.83                         | 452.0         | 400.7         | 0.763        |
| Septiembre | 136.8                         | 55.50                         | 22.55        | 44.19                         | 41.41                         | 305.5         | 260.2         | 0.732        |
| Octubre    | 110.1                         | 43.20                         | 19.11        | 27.76                         | 25.95                         | 192.4         | 149.4         | 0.669        |
| Noviembre  | 71.2                          | 30.80                         | 13.53        | 16.35                         | 15.24                         | 113.1         | 74.6          | 0.568        |
| Diciembre  | 59.5                          | 27.30                         | 10.76        | 13.54                         | 12.93                         | 96.5          | 57.7          | 0.530        |
| <b>Año</b> | <b>1614.1</b>                 | <b>669.30</b>                 | <b>17.61</b> | <b>543.04</b>                 | <b>513.17</b>                 | <b>3814.8</b> | <b>3260.8</b> | <b>0.747</b> |

Leyendas: GlobHor Irradiación global horizontal      GlobEff Global efectivo, corr. para IAM y sombreados  
 Diff-Hor Irradiación difusa horizontal      EArray Energía efectiva en la salida del conjunto  
 T\_Amb Temperatura Ambiente      E\_Grid Energía inyectada en la red  
 GlobInc Global incidente plano receptor      PR Índice de rendimiento

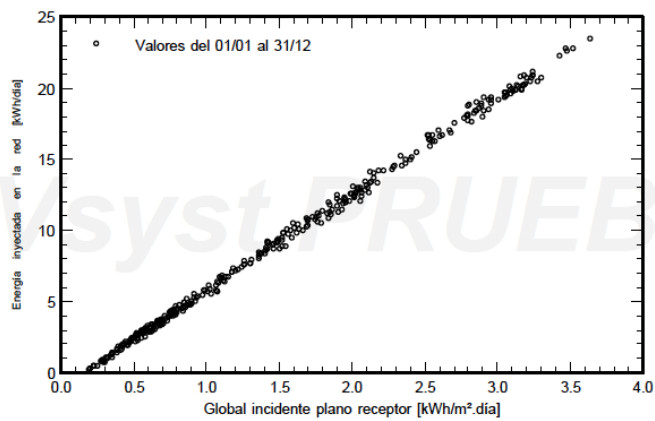
Figura 2.11: Rendimiento de los paneles fotovoltaicos en su localidad y características del sistema durante el año.

**Sistema Conectado a la Red: Gráficos especiales**

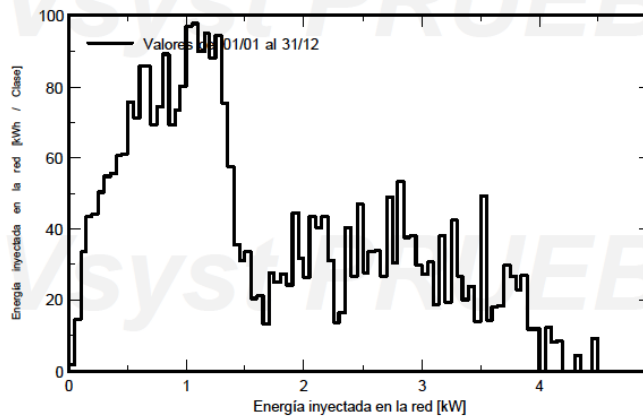
**Proyecto :** Nuevo Proyecto  
**Variante de simulación :** Nueva variante de simulación

|   |                       |   |                            |
|---|-----------------------|---|----------------------------|
| <b>Parámetros principales del sistema</b> | Tipo de sistema       | <b>No hay escenario 3D, no hay sombreados</b> |                            |
| Orientación Campos FV                     | inclinación           | 90°   | acimut 140°                |
| Módulos FV                                | Modelo                | JKM 335PP-72 (Plus)-V                         | Pnom 335 Wp                |
| Conjunto FV                               | Núm. de módulos       | 24  | Pnom total <b>8.04 kWp</b> |
| Inversor                                  | Modelo                | imeon 9.12                                    | Pnom 9.00 kW ac            |
| Necesidades del usuario                   | Carga ilimitada (red) |   |                            |

**Diagrama entrada/salida diaria**



**Distribución de la potencia de salida del sistema**



PV Syst Evaluation mode

Traducción sin garantía. Sólo el texto inglés está garantizado.

Figura 2.12: Representaciones de la generación eléctrica diaria según frecuencia y proporción de generación.

### Sistema Conectado a la Red: Diagrama de pérdidas

Proyecto : **Nuevo Proyecto**  
 Variante de simulación : **Nueva variante de simulación**

| Parámetros principales del sistema | Tipo de sistema       | No hay escenario 3D, no hay sombreados |                            |
|------------------------------------|-----------------------|--|----------------------------|
| Orientación Campos FV              | inclinación           | 90°                                    | acimut 140°                |
| Módulos FV                         | Modelo                | JKM 335PP-72 (Plus)-V Pnom 335 Wp      |                            |
| Conjunto FV                        | Núm. de módulos       | 24                                     | Pnom total <b>8.04 kWp</b> |
| Inversor                           | Modelo                | lmeon 9.12 Pnom 9.00 kW ac             |                            |
| Necesidades del usuario            | Carga ilimitada (red) |  |                            |

Diagrama de pérdida durante todo el año

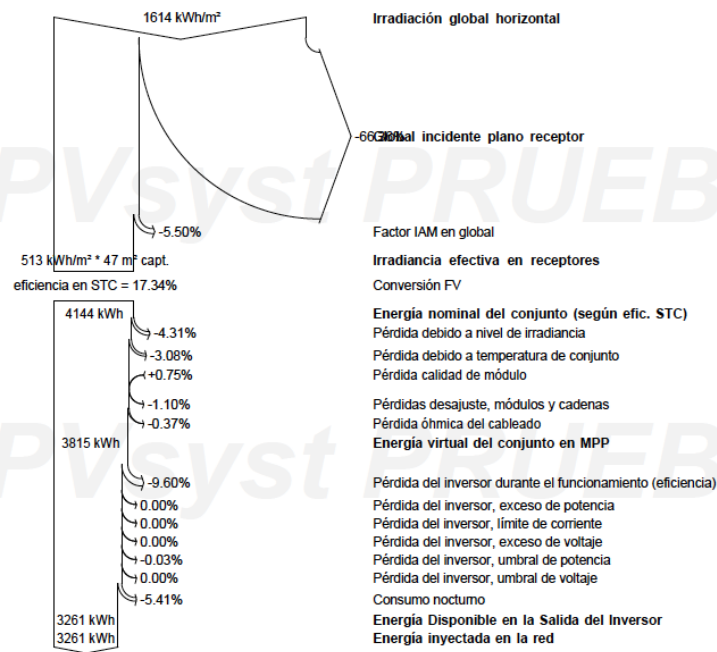


Figura 2.13: Visualización de las pérdidas del sistema fotovoltaico.



|                                   |   |  |            |       |
|-----------------------------------|---|--|------------|-------|
| SimaPro 8.3.0.0                   | Impact asses Date:  | 12-06-2019   | Time:      | 08:27 |
| Project                           | Introduction to SimaPro   |  |            |       |
| Calculation:                      | Analyse   |  |            |       |
| Results:                          | Impact assessment   |  |            |       |
| Product:                          | 1 m2 Photovoltaic panel, multi-Si wafer {RoW} production   Alloc Def, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, default - unit) |  |            |       |
| Method:                           | IMPACT 2002+ V2.13 / IMPACT 2002+   |  |            |       |
| Indicator:                        | Weighting   |  |            |       |
| Skip categories:                  | Never   |  |            |       |
| Default units:                    | No  |  |            |       |
| Exclude infrastructure processes: | No  |  |            |       |
| Exclude long-term emissions:      | No  |  |            |       |
| Per impact category:              | Yes   |  |            |       |
| Sorted on item:                   | Impact category   |  |            |       |
| Sort order:                       | Ascending   |  |            |       |
| Impact category                   | Unit  | Photovoltaic panel, multi-Si wafer {RoW} production   Alloc Def, U |            |       |
| Total                             | mPt   | 86,0148201   | 8,08539309 |       |
| Carcinogens                       | mPt   | 2,50372075   | 0,23534975 |       |
| Non-carcinogens                   | mPt   | 1,38664174   | 0,13034432 |       |
| Respiratory inorganics            | mPt   | 38,6701085   | 3,6349902  |       |
| Ionizing radiation                | mPt   | 0,07699212   | 0,00723726 |       |
| Ozone layer depletion             | mPt   | 0,00704948   | 0,00066265 |       |
| Respiratory organics              | mPt   | 0,05119912   | 0,00481272 |       |
| Aquatic ecotoxicity               | mPt   | 0,0693696  | 0,00652074 |       |
| Terrestrial ecotoxicity           | mPt   | 2,68530466   | 0,25241864 |       |
| Terrestrial acid/nutri            | mPt   | 0,26557535   | 0,02496408 |       |
| Land occupation                   | mPt   | 0,30037248   | 0,02823501 |       |
| Aquatic acidification             | mPt   | 0  | 0          |       |
| Aquatic eutrophication            | mPt   | 0  | 0          |       |
| Global warming                    | mPt   | 20,2141369   | 1,90012887 |       |
| Non-renewable energy              | mPt   | 19,5916469   | 1,84161481 |       |
| Mineral extraction                | mPt   | 0,19270245   | 0,01811403 |       |

Figura 2.16: Los impactos ambientales de los paneles fotovoltaicos de origen China.

|                           |   |   |            |            |
|---------------------------|---|---|------------|------------|
| SimaPro 8.3.0.0           | Impact assessment Date:   | 11-06-2019  | Time:      | 12:10      |
| Project                   | Introduction to SimaPro   |   |            |            |
| Calculation:              | Analyse   |   |            |            |
| Results:                  | Impact assessment   |   |            |            |
| Product:                  | 1 kWh Electricity, low voltage {ES} market for   Alloc Def, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, default - unit) |   |            |            |
| Method:                   | IMPACT 2002+ V2.13 / IMPACT 2002+   |   |            |            |
| Indicator:                | Weighting   |   |            |            |
| Skip categories:          | Never   |   |            |            |
| Default units:            | No  |   |            |            |
| Exclude infrastructure pr | No  |   |            |            |
| Exclude long-term emiss   | No  |   |            |            |
| Per impact category:      | Yes   |   |            |            |
| Sorted on item:           | Impact category   |   |            |            |
| Sort order:               | Ascending   |   |            |            |
| Impact category           | Unit  | Electricity, low voltage {ES} market for   Alloc Def, U |            |            |
| Total                     | µPt   | 176,752536  | 1,15278004 | 28,819501  |
| Carcinogens               | µPt   | 2,80869993  | 0,01831834 | 0,0181     |
| Non-carcinogens           | µPt   | 1,51725379  | 0,00989553 | 0,01       |
| Respiratory inorganics    | µPt   | 58,5816111  | 0,38206927 | 0,3821     |
| Ionizing radiation        | µPt   | 0,61572652  | 0,00401577 | 0,10039421 |
| Ozone layer depletion     | µPt   | 0,00967897  | 6,3126E-05 | 0,00157816 |
| Respiratory organics      | µPt   | 0,01740827  | 0,00011354 | 0,00283842 |
| Aquatic ecotoxicity       | µPt   | 0,11541852  | 0,00075276 | 0,01881899 |
| Terrestrial ecotoxicity   | µPt   | 5,21347335  | 0,03400227 | 0,034      |
| Terrestrial acid/nutri    | µPt   | 0,69614294  | 0,00454024 | 0,11350611 |
| Land occupation           | µPt   | 0,55904384  | 0,00364608 | 0,0911521  |
| Aquatic acidification     | µPt   | 0   | 0          | 0          |
| Aquatic eutrophication    | µPt   | 0   | 0          | 0          |
| Global warming            | µPt   | 45,3826868  | 0,29598588 | 0,296      |
| Non-renewable energy      | µPt   | 61,1327044  | 0,3987075  | 0,3987     |
| Mineral extraction        | µPt   | 0,10268726  | 0,00066973 | 0,01674316 |

Figura 2.17: Los impactos ambientales de la generación de electricidad española.

|                                 |   |               |               |               |                |  |  |  |  |
|---------------------------------|---|---------------|---------------|---------------|----------------|--|--|--|--|
| SimaPro 8.3.0.0                 | Impact assessment Date:   | 11-06-2019    | Time:         | 12:31         |                |  |  |  |  |
| Project                         | Introduction to SimaPro   |               |               |               |                |  |  |  |  |
| Calculation:                    | Compare   |               |               |               |                |  |  |  |  |
| Results:                        | Impact assessment   |               |               |               |                |  |  |  |  |
| Product 1:                      | 28 g Aluminium, production mix, at plant/RER S demo 7 (of project Introduction to SimaPro)  |               |               |               |                |  |  |  |  |
| Product 2:                      | 46 g Aluminium alloy, ALLi {GLO} market for   Alloc Def, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, default - unit)  |               |               |               |                |  |  |  |  |
| Product 3:                      | 950 g Aluminium, primary, cast alloy slab from continuous casting {GLO} market for   Alloc Def, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, default - unit) |               |               |               |                |  |  |  |  |
| Product 4:                      | 120 g Steel, chromium steel 18/8 {GLO} market for   Alloc Def, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, default - unit)                                  |               |               |               |                |  |  |  |  |
| Product 5:                      | 80 g Synthetic rubber {GLO} market for   Alloc Def, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, default - unit)   |               |               |               |                |  |  |  |  |
| Method:                         | IMPACT 2002+ V2.13 / IMPACT 2002+   |               |               |               |                |  |  |  |  |
| Indicator:                      | Characterisation  |               |               |               |                |  |  |  |  |
| Skip categories:                | Never   |               |               |               |                |  |  |  |  |
| Exclude infrastructure process: | No  |               |               |               |                |  |  |  |  |
| Exclude long-term emissions:    | No  |               |               |               |                |  |  |  |  |
| Sorted on item:                 | Impact category   |               |               |               |                |  |  |  |  |
| Sort order:                     | Ascending   |               |               |               |                |  |  |  |  |
| Impact category                 | Unit  | Aluminium, pr | Aluminium all | Aluminium, pr | Steel, chromiu | Synthetic rubber {GLO} market for   Alloc Def, U |  |  |  |
| Carcinogens                     | kg C2H3Cl eq  | 0,009138233   | 0,004626846   | 0,097395485   | 0,035336538    | 0,010873079                                      |  |  |  |
| Non-carcinogens                 | kg C2H3Cl eq  | 0,009306541   | 0,005055386   | 0,106396716   | 0,024036139    | 0,002195799                                      |  |  |  |
| Respiratory inorganics          | kg PM2.5 eq   | 0,000206664   | 0,00024768    | 0,005212178   | 0,001836008    | 0,000309648                                      |  |  |  |
| Ionizing radiation              | Bq C-14 eq  | 6,974711836   | 0,84466804    | 17,77050276   | 3,190239654    | 3,215115813                                      |  |  |  |
| Ozone layer depletion           | kg CFC-11 eq  | 1,38606E-08   | 1,10593E-08   | 2,32571E-07   | 2,79218E-08    | 5,18783E-08                                      |  |  |  |
| Respiratory organics            | kg C2H4 eq  | 3,81684E-05   | 0,000116678   | 0,002455671   | 0,000189898    | 0,000211349                                      |  |  |  |
| Aquatic ecotoxicity             | kg TEG water  | 19,10480752   | 30,82167365   | 648,7757377   | 72,04425017    | 16,84325356                                      |  |  |  |
| Terrestrial ecotoxicity         | kg TEG soil   | 3,592092652   | 9,555208744   | 201,0884031   | 68,74302726    | 4,556649362                                      |  |  |  |
| Terrestrial acid/nutri          | kg SO2 eq   | 0,003005019   | 0,003053573   | 0,06423409    | 0,010388848    | 0,003548336                                      |  |  |  |
| Land occupation                 | m2org.arable  | 0,001278774   | 0,003165479   | 0,066577804   | 0,012002964    | 0,003758789                                      |  |  |  |
| Aquatic acidification           | kg SO2 eq   | 0,001071008   | 0,001019069   | 0,02144473    | 0,003287284    | 0,001159024                                      |  |  |  |
| Aquatic eutrophication          | kg PO4 P-lim  | 7,09306E-06   | 0,000126426   | 0,002661516   | 9,45492E-05    | 5,50719E-05                                      |  |  |  |
| Global warming                  | kg CO2 eq   | 0,244951404   | 0,120322877   | 2,530881067   | 0,522335793    | 0,22878873                                       |  |  |  |
| Non-renewable energy            | MJ primary  | 3,174514501   | 1,560454198   | 32,82905783   | 6,089285679    | 7,219968219                                      |  |  |  |
| Mineral extraction              | MJ surplus  | 0,104028414   | 0,099346922   | 2,091592062   | 0,622729819    | 0,012987683                                      |  |  |  |

Figura 2.18: Los impactos ambientales de las estructuras soporte.

| Impact              | (Chinese) Panel | Instalación  | New inverter | Structure    | Total during life cycle | Electricity per year |
|---------------------|-----------------|--------------|--------------|--------------|-------------------------|----------------------|
| Respiratory in      | 3,63499         | 0,102        | 0,321        | 0            | 4,05799                 | 0,382                |
| Global warmir       | 1,9             | 0,024        | 0,106        | 0            | 2,03                    | 0,296                |
| Non-renewabl        | 1,84            | 0,03         | 0,109        | 0            | 1,979                   | 0,399                |
| <b>Total impact</b> | <b>8,085</b>    | <b>0,256</b> | <b>0,739</b> | <b>0,029</b> | <b>9,08</b>             | <b>1,153</b>         |

Figura 2.19: Los cálculos de impactos ambientales realizados los resultados de SimaPo como base.



|                                   |  |   |            |       |       |
|-----------------------------------|--|---|------------|-------|-------|
| SimaPro 8.3.0.0                   | Impact assessment  | Date:   | 12-06-2019 | Time: | 08:27 |
| Project                           | Introduction to SimaPro  |   |            |       |       |
| Calculation:                      | Analyse  |   |            |       |       |
| Results:                          | Impact assessment  |   |            |       |       |
| Product:                          | 1 m2 Photovoltaic panel, multi-Si wafer (RoW)  production   Alloc Def, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, default - unit) |   |            |       |       |
| Method:                           | IMPACT 2002+ V2.13 / IMPACT 2002+  |   |            |       |       |
| Indicator:                        | Weighting  |   |            |       |       |
| Skip categories:                  | Never  |   |            |       |       |
| Default units:                    | No   |   |            |       |       |
| Exclude infrastructure processes: | No   |   |            |       |       |
| Exclude long-term emissions:      | No   |   |            |       |       |
| Per impact category:              | Yes  |   |            |       |       |
| Sorted on item:                   | Impact category  |   |            |       |       |
| Sort order:                       | Ascending  |   |            |       |       |
| Impact category                   | Unit   | Photovoltaic panel, multi-Si wafer (RoW)  production   Alloc Def, U |            |       |       |
| Total                             | mPt  | 86,0148201  | 8,08539309 |       |       |
| Carcinogens                       | mPt  | 2,50372075  | 0,23534975 |       |       |
| Non-carcinogens                   | mPt  | 1,38664174  | 0,13034432 |       |       |
| Respiratory inorganics            | mPt  | 38,6701085  | 3,6349902  |       |       |
| Ionizing radiation                | mPt  | 0,07699212  | 0,00723726 |       |       |
| Ozone layer depletion             | mPt  | 0,00704948  | 0,00066265 |       |       |
| Respiratory organics              | mPt  | 0,05119912  | 0,00481272 |       |       |
| Aquatic ecotoxicity               | mPt  | 0,0693696   | 0,00652074 |       |       |
| Terrestrial ecotoxicity           | mPt  | 2,68530466  | 0,25241864 |       |       |
| Terrestrial acid/nutri            | mPt  | 0,26557535  | 0,02496408 |       |       |
| Land occupation                   | mPt  | 0,30037248  | 0,02823501 |       |       |
| Aquatic acidification             | mPt  | 0   | 0          |       |       |
| Aquatic eutrophication            | mPt  | 0   | 0          |       |       |
| Global warming                    | mPt  | 20,2141369  | 1,90012887 |       |       |
| Non-renewable energy              | mPt  | 19,5916469  | 1,84161481 |       |       |
| Mineral extraction                | mPt  | 0,19270245  | 0,01811403 |       |       |

Figura 2.22: El análisis de la causa de cada uno de los impactos ambientales. Datos detallados de los paneles fotovoltaicos con origen China.

|                           |  |  |            |        |            |
|---------------------------|--|--|------------|--------|------------|
| SimaPro 8.3.0.0           | Impact assessment  | Date:  | 11-06-2019 | Time:  | 12:10      |
| Project                   | Introduction to SimaPro  |  |            |        |            |
| Calculation:              | Analyse  |  |            |        |            |
| Results:                  | Impact assessment  |  |            |        |            |
| Product:                  | 1 kWh Electricity, low voltage (ES)  market for   Alloc Def, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, default - unit) |  |            |        |            |
| Method:                   | IMPACT 2002+ V2.13 / IMPACT 2002+  |  |            |        |            |
| Indicator:                | Weighting  |  |            |        |            |
| Skip categories:          | Never  |  |            |        |            |
| Default units:            | No   |  |            |        |            |
| Exclude infrastructure pr | No   |  |            |        |            |
| Exclude long-term emiss   | No   |  |            |        |            |
| Per impact category:      | Yes  |  |            |        |            |
| Sorted on item:           | Impact category  |  |            |        |            |
| Sort order:               | Ascending  |  |            |        |            |
| Impact category           | Unit   | Annual 25 años<br>Electricity, low voltage (ES)  market for   Alloc Def, U |            |        |            |
| Total                     | µPt  | 176,752536   | 1,15278004 |        | 28,819501  |
| Carcinogens               | µPt  | 2,80869993   | 0,01831834 | 0,0181 | 0,45795852 |
| Non-carcinogens           | µPt  | 1,51725379   | 0,00989553 | 0,01   | 0,24738823 |
| Respiratory inorganics    | µPt  | 58,5816111   | 0,38206927 | 0,3821 | 9,55173169 |
| Ionizing radiation        | µPt  | 0,61572652   | 0,00401577 |        | 0,10039421 |
| Ozone layer depletion     | µPt  | 0,00967897   | 6,3126E-05 |        | 0,00157816 |
| Respiratory organics      | µPt  | 0,01740827   | 0,00011354 |        | 0,00283842 |
| Aquatic ecotoxicity       | µPt  | 0,11541852   | 0,00075276 |        | 0,01881899 |
| Terrestrial ecotoxicity   | µPt  | 5,21347335   | 0,03400227 | 0,034  | 0,85005683 |
| Terrestrial acid/nutri    | µPt  | 0,69614294   | 0,00454024 |        | 0,11350611 |
| Land occupation           | µPt  | 0,55904384   | 0,00364608 |        | 0,0911521  |
| Aquatic acidification     | µPt  | 0  | 0          |        | 0          |
| Aquatic eutrophication    | µPt  | 0  | 0          |        | 0          |
| Global warming            | µPt  | 45,3826868   | 0,29598588 | 0,296  | 7,39964709 |
| Non-renewable energy      | µPt  | 61,1327044   | 0,3987075  | 0,3987 | 9,96768746 |
| Mineral extraction        | µPt  | 0,10268726   | 0,00066973 |        | 0,01674316 |

Figura 2.23: El análisis de la causa de cada uno de los impactos ambientales. Datos detallados de la generación de 1 kWh de electricidad española.



|                               |   |               |               |               |                |  |
|-------------------------------|---|---------------|---------------|---------------|----------------|--|
| SimaPro 8.3.0.0               | Impact assessm Date:  | 11-06-2019    | Time:         | 12:31         |                |  |
| Project                       | Introduction to SimaPro   |               |               |               |                |  |
| Calculation:                  | Compare   |               |               |               |                |  |
| Results:                      | Impact assessment   |               |               |               |                |  |
| Product 1:                    | 28 g Aluminium, production mix, at plant/RER S demo7 (of project Introduction to SimaPro)   |               |               |               |                |  |
| Product 2:                    | 46 g Aluminium alloy, ALi (GLO) market for   Alloc Def, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, default - unit)   |               |               |               |                |  |
| Product 3:                    | 950 g Aluminium, primary, cast alloy slab from continuous casting (GLO) market for   Alloc Def, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, default - unit) |               |               |               |                |  |
| Product 4:                    | 120 g Steel, chromium steel 18/8 (GLO) market for   Alloc Def, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, default - unit)                                  |               |               |               |                |  |
| Product 5:                    | 80 g Synthetic rubber (GLO) market for   Alloc Def, U (of project Ecoinvent 3 - allocation, default - unit)   |               |               |               |                |  |
| Method:                       | IMPACT 2002+ V2.13 / IMPACT 2002+   |               |               |               |                |  |
| Indicator:                    | Characterisation  |               |               |               |                |  |
| Skip categories:              | Never   |               |               |               |                |  |
| Exclude infrastructure proce: | No  |               |               |               |                |  |
| Exclude long-term emissions:  | No  |               |               |               |                |  |
| Sorted on item:               | Impact category   |               |               |               |                |  |
| Sort order:                   | Ascending   |               |               |               |                |  |
| Impact category               | Unit  | Aluminium, pr | Aluminium all | Aluminium, pr | Steel, chromiu | Synthetic rubber (GLO) market for   Alloc Def, U |
| Carcinogens                   | kg C2H3Cl eq  | 0,009138233   | 0,004626846   | 0,097395485   | 0,035336538    | 0,010873079                                      |
| Non-carcinogens               | kg C2H3Cl eq  | 0,009306541   | 0,005055386   | 0,106396716   | 0,024036139    | 0,002195799                                      |
| Respiratory inorganics        | kg PM2.5 eq   | 0,000206664   | 0,00024768    | 0,005212178   | 0,001836008    | 0,000309648                                      |
| Ionizing radiation            | Bq C-14 eq  | 6,974711836   | 0,84466804    | 17,77050276   | 3,190239654    | 3,215115813                                      |
| Ozone layer depletion         | kg CFC-11 eq  | 1,38606E-08   | 1,10593E-08   | 2,32571E-07   | 2,79218E-08    | 5,18783E-08                                      |
| Respiratory organics          | kg C2H4 eq  | 3,81684E-05   | 0,000116678   | 0,002455671   | 0,000189898    | 0,000211349                                      |
| Aquatic ecotoxicity           | kg TEG water  | 19,10480752   | 30,82167365   | 648,7757377   | 72,04425017    | 16,84325356                                      |
| Terrestrial ecotoxicity       | kg TEG soil   | 3,592092652   | 9,555208744   | 201,0884031   | 68,74302726    | 4,556649362                                      |
| Terrestrial acid/nutri        | kg SO2 eq   | 0,003005019   | 0,003053573   | 0,06423409    | 0,010388848    | 0,003548336                                      |
| Land occupation               | m2org.arable  | 0,001278774   | 0,003165479   | 0,066577804   | 0,012002964    | 0,003758789                                      |
| Aquatic acidification         | kg SO2 eq   | 0,001071008   | 0,001019069   | 0,02144473    | 0,003287284    | 0,001159024                                      |
| Aquatic eutrophication        | kg PO4 P-lim  | 7,09306E-06   | 0,000126426   | 0,002661516   | 9,45492E-05    | 5,50719E-05                                      |
| Global warming                | kg CO2 eq   | 0,244951404   | 0,120322877   | 2,530881067   | 0,522335793    | 0,22878873                                       |
| Non-renewable energy          | MJ primary  | 3,174514501   | 1,560454198   | 32,82905783   | 6,089285679    | 7,219968219                                      |
| Mineral extraction            | MJ surplus  | 0,104028414   | 0,099346922   | 2,091592062   | 0,622729819    | 0,012987683                                      |

Figura 2.24: El análisis de la causa de cada uno de los impactos ambientales. Datos detallados de las estructuras soporte.

## 2.4. Cálculos - estudio económico

|                         |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |  |
|-------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--|
| Inversión               | 21412,5      |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |  |
| Amortización            | 836,5        |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |  |
| Impuesto                | 0            |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |  |
| k (tasa de interés)     | 0,05         |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |  |
| Precio de venta por kWh | 0,2          |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |  |
| Año                     | 0            | 1            | 2            | 3            | 4            | 5            | 6            | 7            | 8            | 9            | 10           | 11           | 12           | 13           | 14           | 15           | 16           | 17           | 18           | 19           | 20           |  |
| Inversión               | -21412,5     |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |  |
| Ingresos                |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |  |
| Generación eléctrica    | 1304,4       | 1304,4       | 1304,4       | 1304,4       | 1304,4       | 1304,4       | 1304,4       | 1304,4       | 1304,4       | 1304,4       | 1304,4       | 1304,4       | 1304,4       | 1304,4       | 1304,4       | 1304,4       | 1304,4       | 1304,4       | 1304,4       | 1304,4       | 1304,4       |  |
| Gastos                  |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |              |  |
| Mantenimiento           | -60          | -60          | -60          | -60          | -60          | -60          | -60          | -60          | -60          | -60          | -60          | -60          | -60          | -60          | -60          | -60          | -60          | -60          | -60          | -60          | -60          |  |
| Resultado               | -20168,1     | 1244,4       | 1244,4       | 1244,4       | 1244,4       | 1244,4       | 1244,4       | 1244,4       | 1244,4       | 1244,4       | 1244,4       | 1244,4       | 1244,4       | 1244,4       | 1244,4       | 1244,4       | 1244,4       | 1244,4       | 1244,4       | 1244,4       | 1244,4       |  |
| Amortización            | -672,4       | -672,4       | -672,4       | -672,4       | -672,4       | -672,4       | -672,4       | -672,4       | -672,4       | -672,4       | -672,4       | -672,4       | -672,4       | -672,4       | -672,4       | -672,4       | -672,4       | -672,4       | -672,4       | -672,4       | -672,4       |  |
| BAII                    | 0            | 572          | 572          | 572          | 572          | 572          | 572          | 572          | 572          | 572          | 572          | 572          | 572          | 572          | 572          | 572          | 572          | 572          | 572          | 572          | 572          |  |
| Impuesto                | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            | 0            |  |
| Flujo de caja           | -20168,1     | 572          | 572          | 572          | 572          | 572          | 572          | 572          | 572          | 572          | 572          | 572          | 572          | 572          | 572          | 572          | 572          | 572          | 572          | 572          | 572          |  |
| Hasta año               | 20           | 19           | 18           | 17           | 16           | 15           | 14           | 13           | 12           | 11           | 10           | 9            | 8            | 7            | 6            | 5            | 4            | 3            | 2            | 1            | 0            |  |
| VAN                     | -14 284,12 € | -14 499,70 € | -14 726,06 € | -14 963,73 € | -15 213,30 € | -15 475,34 € | -15 750,48 € | -16 039,38 € | -16 342,72 € | -16 661,23 € | -16 995,67 € | -17 346,83 € | -17 715,54 € | -18 102,69 € | -18 509,20 € | -18 936,04 € | -19 384,23 € | -19 854,80 € | -20 348,92 € | -20 867,74 € | -21 419,82 € |  |
| TIR                     | -5%          | -6%          | -6%          | -7%          | -8%          | -9%          | -10%         | -10%         | -12%         | -14%         | -16%         | -18%         | -21%         | -25%         | -29%         | -35%         | -43%         | -52%         | -65%         | -82%         | -97%         |  |

Figura 2.25: La cuenta de pérdidas y ganancias y cálculo de VAN y TIR