



Universidad
del País Vasco

Euskal Herriko
Unibertsitatea

GIPUZKOAKO
INGENIARITZA
ESKOLA
ESCUELA
DE INGENIERÍA
DE GIPUZKOA

GIPUZKOAKO INGENIARITZA ESKOLA
ESCUELA DE INGENIERÍA DE GIPUZKOA

EIBAR

TFG: ANÁLISIS DEL POTENCIAL DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN UNA
VIVIENDA UNIFAMILIAR

DOCUMENTO Nº1: MEMORIA

Grado: Ingeniería en Energías Renovables

Curso: 2019-2020

Autor: Adrián González Fernández

Directores: Carmelo Alonso González y Álvaro Campos Celador

ÍNDICE

1 OBJETO Y ALCANCE	1
2 ANTECEDENTES	2
3 JUSTIFICACIÓN	3
4 RESUMEN	6
5 NORMAS Y REFERENCIAS	7
5.1 DISPOSICIONES LEGALES Y NORMAS APLICADAS	7
5.2 PROGRAMAS DE CÁLCULO	8
6 DEFINICIONES Y ABREVIATURAS	9
7 DESCRIPCIÓN DE LAS INSTALACIONES	11
7.1 EMPLAZAMIENTO	11
7.2 ANÁLISIS DE LAS PROPUESTAS Y ELECCIÓN DEL TIPO DE INSTALACIÓN	12
7.2.1 Instalación para cubrir la demanda de ACS y ACC	13
7.2.2 Instalación para cubrir la demanda de electricidad	15
7.2.3 Cocina solar parabólica	17
8 ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL	20
9 ANÁLISIS ECONÓMICO	21
10 CONCLUSIONES	22
11 BIBLIOGRAFÍA	26

1 OBJETO Y ALCANCE

En este proyecto se buscó el objetivo principal de llevar a cabo un estudio y análisis del potencial de las energías renovables aplicadas en una vivienda unifamiliar situada al norte de España. Se analizó la mayor parte de los sistemas actuales de producción de energía basados en energías renovables y se desarrolló el diseño y dimensionamiento del sistema con mayor viabilidad, para así poder tener datos más exhaustivos tanto de su viabilidad económica, como tecnológica y medioambiental. También cabe mencionar que los sistemas finales elegidos no solo buscan satisfacer las demandas energéticas del cliente proporcionándole un ahorro económico y una mayor aportación a la salud del medioambiente, sino que también se tienen en cuenta aspectos como la comodidad para las personas que habitan la vivienda. Los sistemas cubren la mayor parte posible de la demanda energética de electricidad, calefacción (ACC) y Agua Caliente Sanitaria (ACS).

Por ello se requiere el cumplimiento de toda la normativa que requiere un visado colegial, tal como el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios [6], el Código Técnico de la Edificación [7], el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión [8], así como la norma UNE-EN 157001 [9] para la elaboración del presente documento, entre otros.

La vivienda elegida para este proyecto está situada en Guillarei, un pueblo perteneciente a la localidad de Tuy en la provincia de Pontevedra (Planos nº 1 y 2).

Dentro del alcance del proyecto los principales puntos a analizar son:

- Posibles tecnologías de generación renovable a aplicar
- Justificación de la tecnología elegida
- Impacto medioambiental
- Limitaciones de la Normativa
- Dimensionamiento y diseño de la instalación
- Viabilidad económica

No es alcance del proyecto la obra civil en el interior de la vivienda para llevar a cabo las modificaciones que requiere el diseño del sistema de calefacción y agua caliente sanitaria, ni tampoco el plan de ejecución de obra de las instalaciones.

2 ANTECEDENTES

En los últimos años han surgido ideas nuevas, que potencializan el ahorro de energía y con su implementación transforman energía renovable en energía eléctrica o calorífica. Se pueden ver diversos ejemplos: la energía eólica, mareomotriz, geotérmica, aerotérmica, biomasa, solar térmica y solar fotovoltaica.

En concreto a partir de las nuevas ideas desarrolladas en el ámbito de la energía eólica, solar térmica, solar fotovoltaica, aerotérmica, geotérmica y biomasa se parte en este trabajo.

Para ello, se apoya en proyectos ya realizados en los ámbitos mencionados, en expertos en el área y en los propios conocimientos adquiridos a lo largo del grado cursado.

3 JUSTIFICACIÓN

La transición que se está llevando a cabo hacia las energías renovables, ha venido sucediendo no solo debido a la lucha contra el cambio climático, sino también por la contaminación del aire y del agua debido a la utilización de combustibles fósiles, lo que atenta contra la salud de las personas y del medioambiente.

Pero también se debe plantear la cuestión de si realmente esta transición se está llevando a cabo de la mejor de las formas, o si quizás podría haber otro camino a tomar.

Esta última pregunta fue la que llevo al redactor de este proyecto a realizar el mismo. Puesto que según estudios y diferentes expertos en el sector, entre los que se encuentra uno de los docentes del centro Escuela de Ingeniería de Gipuzkoa en donde se imparte el Grado en Ingeniería de Energías Renovables (Álvaro Campos Celador).

Siguiendo uno de los artículos publicado por Álvaro Campos Celador [1], en el cual se expone que España tiene un sistema eléctrico claramente unidireccional, donde la electricidad fluye como un río, surcando kilómetros y kilómetros de tendidos eléctricos de alta tensión, desde grandes plantas de generación hasta las redes municipales de distribución. Las reglas de juego son claras: cada tramo de cable tiene que ser capaz de soportar la cantidad de electricidad que transporta y esa capacidad, como todo, está limitada. De este modo, se cuenta con una cantidad máxima de electricidad que pueden transmitir tanto las grandes líneas de transporte de alta tensión como las líneas eléctricas de distribución, de baja tensión. Teniendo esto en cuenta ¿qué implica un aumento de la producción renovable para las líneas eléctricas existentes?

El actual sistema eléctrico está diseñado a la medida de las centrales térmicas convencionales, con gran autonomía para gestionar su producción. En el caso de las renovables toda la electricidad producida es vertida a la red, dejándole la responsabilidad de transmitirla a cualquier posible punto de consumo. Eso hace que, en los momentos de mayor producción, por ejemplo, durante las horas de mayor radiación solar en el caso de la fotovoltaica, puedan darse situaciones de fallo técnico si la electricidad vertida supera la capacidad de transmisión de las líneas.

Para evitar estas situaciones, REE, la operadora del sistema eléctrico, limita el número de plantas renovables conectadas a los distintos puntos de la red de transporte de alta tensión. Esta situación ha servido para poner en marcha una serie de movimientos especulativos por parte de grandes fondos de inversión, muchos ajenos al sector de la energía, consiguiendo concesiones de conexión y agotando virtualmente la capacidad de muchos puntos de la red. De esta manera, queda limitada en el medio plazo la propiedad de instalaciones renovables y la posibilidad de que actores de menor tamaño puedan participar en la transición energética. Si bien la potencia renovable instalada está en la actualidad todavía muy por debajo de la capacidad real de las líneas, da elementos para poder identificar los primeros actores interesados en repotenciar el actual entramado de líneas de alta tensión.

De modo complementario, es importante analizar los intereses de REE, una compañía un tanto especial dentro del IBEX35. Como operadora del sistema eléctrico, posee y gestiona el transporte de electricidad en España, así como su infraestructura. De esta manera, REE obtiene sus ingresos como un pago fijo a través de cada factura eléctrica pagada por las consumidoras. Así, todo trabajo de mantenimiento y ampliación de la infraestructura se traduce en un incremento de la parte fija de cada factura. Su situación de monopolio natural, junto con las obligaciones para con sus accionistas (el Estado controla solo un 20% del accionariado a través de la SEPI) no está exenta de polémica, sobre todo si se tiene en cuenta que los costes imputados a su actividad son los declarados por la empresa y no los resultantes de una auditoría independiente. En este sentido, no es de extrañar que la empresa declare la necesidad de una mayor inversión en infraestructura, sobre todo si consideramos las dificultades que está enfrentando para mantener los dividendos a partir de 2022.

Teniendo todo esto en cuenta, vemos que la apuesta por reforzar el sistema de transporte eléctrico aún muchos intereses. Ante esto, es importante pararse a analizar la relevancia de los mantras que rezan que la alta tensión ofrece una mayor eficiencia y un menor coste, pues de lo que no se habla es de cómo se socializan estos beneficios entre los distintos actores involucrados en el sistema eléctrico. La ciudadanía, en su papel pasivo de mera consumidora, se convierte en financiadora del lucro privado de unas pocas empresas y, a su vez, sufre los impactos ambientales, de salud y de fragmentación del territorio causados por las líneas de alta tensión.

Dentro del desarrollo de más infraestructura de alta tensión, existe, por parte de la Unión Europea, un plan de interconexión eléctrica entre estados que tratan de desarrollar este modelo a nivel supraestatal. Las razones oficiales detrás de este plan no distan mucho de las que justifican el desarrollo de la alta tensión a nivel estatal: mayor competitividad por medio de un mercado eléctrico de gran tamaño, aumento de la seguridad de suministro y mayor penetración de renovables. Sin embargo, es fácil desmontar esos argumentos y revelar que en el fondo no es más que un plan para implantar un gran mercado eléctrico especulativo participado por unos pocos actores de gran tamaño.

En primer lugar, si bien una de las principales razones para apoyar el desarrollo de la alta tensión es la reducción de costes, se puede constatar que hasta la fecha las líneas de interconexión solo han contribuido al encarecimiento de la factura eléctrica. Es difícil, a su vez, defender que un sistema basado en pocos cables de gran capacidad pueda aumentar la seguridad de suministro en comparación con sistemas distribuidos más resilientes, por naturaleza. Esta falta de resiliencia queda de manifiesto si tenemos en cuenta que la interconexión España-Francia, Argia-Cantegrit, entró en fallo técnico hace cerca de un año.

Es cierto que, en teoría, las interconexiones podrían aumentar la penetración renovable en forma de grandes plantas, al permitir repartir una mayor cantidad de electricidad a través de largas distancias. Sin embargo, muchas veces la teoría dista de la práctica, pues un reciente estudio alerta que los objetivos de interconexión eléctrica de la Unión Europea solo contribuirían a aumentar las emisiones de CO₂. Un ejemplo es la situación actual en la que la interconexión entre España y Marruecos está siendo utilizada para importar electricidad sucia proveniente del carbón. Esta electricidad, al producirse fuera del Régimen de Comercio de Derechos de Emisiones de la UE, no paga impuestos por el CO₂ emitido y genera grandes beneficios privados bajo la lógica especulativa del "comprar barato y vender caro". En un escenario de escasez energética, parece más fácil prever que la infraestructura de alta tensión sirva para construir un mercado eléctrico de gran tamaño que asegure el suministro al mejor postor, dejando fuera a quienes no puedan pagar una electricidad entendida como mercancía. Con el propósito de articular una resistencia a esta agenda, en 2015 surge la Red de Apoyo Mutuo en Respuesta a los

Megaproyectos Energéticos, integrada por más de 50 organizaciones medioambientales y ciudadanas representativas del estado español y francés.

En pocas palabras, el desarrollo de la alta tensión favorece los intereses económicos de un reducido grupo de agentes, sin ninguna capacidad de generar beneficios sobre la ciudadanía. A su servicio ha creado un relato propio en torno a la alta tensión que sirve para generar una ilusión de cambio que mantenga intactas las relaciones de poder económico en torno a la energía. Las mentiras y el control de los medios de comunicación por parte de las partes beneficiadas hacen que no exista una posición unificada que condene dicho modelo. Es necesario crear, por parte del sector ecologista y de todas aquellas personas conscientes de la crisis sistémica a la que se enfrenta, un nuevo relato para una propuesta de transformación alternativa para el sistema eléctrico que sea realmente sostenible a nivel ecológico y social.

Hasta ahora se hablado de la implementación de grandes plantas renovables en zonas lejanas a los núcleos de población. Sin embargo, las energías renovables, por su naturaleza modular y por ser capaces de transformar flujos energéticos altamente distribuidos, tienen unas características idóneas para la construcción de otro modelo. Un modelo que permita el flujo bidireccional de la electricidad, transformando a la ciudadanía en agente activo de este nuevo modelo, pasando de consumidoras al doble papel de consumidoras y productoras. Un modelo de baja tensión, distribuido, que reduzca las necesidades de transporte y permita desarrollar modelos de soberanía energética a través de la identificación del potencial energético de los territorios, recurriendo a la alta tensión existente solo en caso de tener que dar salida a los excedentes. De esta manera, mediante el autoconsumo y la integración de muchas pequeñas instalaciones renovables en la red de distribución, es posible distribuir la propiedad de la infraestructura energética, democratizando el sistema energético mediante un papel activo de la ciudadanía.

Este modelo permitiría socializar los beneficios y reducir la desigualdad asociada a la actual relación vertical de productores y consumidores. La adecuación de la red de distribución o de baja tensión a tal fin no será barata, pero se debe tener en cuenta que actualmente, en ausencia total de debate público, se están destinando millones de euros a un modelo que no deja ningún beneficio en la ciudadanía. Se oyen muchas veces que ambos modelos son compatibles, pero seguir invirtiendo en alta tensión supone un desvío del capital necesario para la construcción de un modelo eléctrico sostenible y justo.

Por lo tanto, con este proyecto se intenta hacer visible el gran potencial de los sistemas de energías renovables a pequeña escala, tanto energética-, económica- y medioambientalmente.

4 RESUMEN

Como ya se dijo en el apartado "Objeto y alcance", a lo largo del proyecto se exponen los análisis realizados para elegir el sistema basado en energías renovables más óptimo para la cobertura de cada tipo de demanda energética de una vivienda unifamiliar.

Para cubrir la demanda de Agua Caliente Sanitaria (ACS) y Agua Caliente de Calefacción (ACC) se probaron sistemas basados en energía aerotérmica, geotérmica, solar térmica y biomasa. Para este caso la tecnología que salió ganadora del análisis comparativo fue la basada en aerotermia, pero sin descartar definitivamente a la geotermia, puesto que como se menciona en el propio análisis, para saber el potencial real de geotermia en la zona, se debe de realizar un análisis in situ.

En cuanto a la cobertura de la demanda eléctrica, se analizaron sistemas basados en energía eólica y solar fotovoltaica, probando distintas configuraciones, tanto con uno de los dos sistemas, como combinando los dos creando un sistema híbrido de minieólica y energía solar fotovoltaica. Para este caso, el sistema que resultó ser el óptimo fue el basado completamente en energía solar fotovoltaica, concretamente un sistema de 2600 Wp de potencia del campo generador y 2000 W de potencia de la instalación (potencia del inversor).

También se analizó otro sistema basado en energías renovables, el cual se puede combinar con el sistema de energía solar fotovoltaico. Este sistema se trata de una cocina solar parabólica, la cual se calculó, diseño, modelo, fabricó y analizó. Toda la fabricación de la misma se llevó a cabo mediante materiales reciclados, a excepción de algunos de los materiales utilizados para las uniones (remaches), soldadura (electrodos) o para la protección contra la corrosión y enlucido (pinturas).

Resultó sorprendente el buen rendimiento de la cocina solar, a pesar de utilizarse en una zona de la geografía peninsular de las menos favorables para este tipo de sistemas basados en energía solar.

5 NORMAS Y REFERENCIAS

5.1 DISPOSICIONES LEGALES Y NORMAS APLICADAS

Todos los edificios de nueva construcción o que sean reformados tienen que cumplir la legislación vigente. A continuación, se enumera la normativa de obligado cumplimiento que se aplica actualmente en España a las instalaciones de ACS, calefacción y eléctricas de baja tensión:

- Real Decreto 244/2019, del 5 de abril de 2019, donde regulan las condiciones del autoconsumo.
- Código Técnico de la Edificación (CTE), donde se encuentran reguladas las reglas y procedimiento básicos que permiten cumplir las exigencias de los edificios
- Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE), el cual regula las exigencias que debe cumplir las instalaciones térmicas y sus componentes, para garantizar principalmente la seguridad y la eficiencia energética.
- Pliego de Condiciones Técnicas (PCT) de Instalaciones de Baja Temperatura del IDAE, donde se regulan las condiciones que deben cumplir los componentes de las instalaciones solares de baja temperatura.
- Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión e Instrucciones Técnicas Complementarias (ITC) BT 01 a BT 51 (Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto del 2002).
- Ley 34/2007 de calidad del aire y protección de la atmósfera.
- Real Decreto-ley 15/2018, del 5 de octubre, de medidas urgentes para la transición energética y la protección de los consumidores.
- Real Decreto-ley 23/2020, de 23 de junio, por el que se aprueban medidas en materia de energía y en otros ámbitos para la reactivación económica.
- Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y Consejo, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables.
- Directiva alemana VDI 4650, para el cálculo de las bombas de calor.
- Guía profesional de tramitación del autoconsumo del IDAE.
- Guía Técnica Agua Caliente Central del IDAE.
- Guía Técnica de Energía Solar Térmica del IDAE.
- Normativa particular de Naturgy.

- Normas UNE de obligado cumplimiento.

5.2 PROGRAMAS DE CÁLCULO

A la hora del cálculo, diseño, dimensionamiento y simulación de las distintas instalaciones se utilizaron diferentes programas informáticos, además de los libros y proyectos guía. Estos programas informáticos son:

- **Meteonorm:** Útil para obtener los datos climáticos de la zona, así como el perfil del horizonte de la ubicación.
- **CHEQ4.2:** Utilizado como ayuda para el dimensionamiento de la instalación de energía solar térmica, es decir, para comprobar que la instalación cumplía con la normativa. Es un programa de licencia libre ofrecido por el IDAE [2], el cual cumple con lo establecido en el CTE [7].
- **T*SOL:** Con él se realizó parte del dimensionamiento de la instalación solar térmica y la simulación de la misma.
- **GeoT*SOL:** Para el dimensionamiento de la instalación de geotermia.
- **DesignBuilder:** A través del diseño, en el mismo, de la vivienda, se pudo simular el funcionamiento de la calefacción y obtener los datos de demanda y potencia de calefacción.
- **PVsyst:** Para el cálculo, diseño, dimensionamiento y simulación de la instalación solar fotovoltaica.
- **AutoCAD:** Para el diseño de los planos del proyecto.
- **Excel:** Para el resto de cálculos del proyecto. Fue el programa de cálculo más utilizado durante toda la realización del proyecto.
- **EES:** es un programa que calcula la solución de un conjunto de ecuaciones algebraicas. EES puede resolver de manera eficiente cientos de ecuaciones algebraicas no lineales acopladas y también se puede utilizar para resolver ecuaciones diferenciales de valor inicial. Se suele utilizar y es muy útil en el área de la termodinámica, ya que incluyen una gran variedad de funciones termodinámicas. En el proyecto se utiliza principalmente para el análisis termodinámico de la cocina solar parabólica.

6 DEFINICIONES Y ABREVIATURAS

Definiciones:

- Colector solar: es cualquier dispositivo diseñado para recoger (colectar) la energía recibida del sol y elevar la temperatura (el nivel térmico) de una red (agua en este caso) con vistas a su aprovechamiento.
- Interacumulador: son aparatos que producen una acumulación de agua caliente para uso sanitario.
- Caldera de biomasa: utilizan como fuente de energía combustibles naturales como los pellets de madera, huesos de aceituna, residuos forestales, cáscaras de frutos secos, etc. para generar calefacción (por radiadores, aire o suelo radiante) y agua caliente a una vivienda o edificio de viviendas.
- Bomba de calor: es una máquina térmica que toma calor de un espacio frío y lo transfiere a otro más caliente gracias a un trabajo aportado desde el exterior, o a la inversa en el caso de refrigeración.
- Aerotermia: tecnología basada en una bomba de calor aire-agua. El primero de los términos indica el medio exterior (aire) con el que la máquina intercambia calor, mientras que el segundo indica el medio interior.
- Geotermia: tecnología basada en una bomba de calor agua-agua. Es decir, el calor o el frío extraído del del subsuelo (circuito de agua) se transfieren al circuito de agua interior.
- Bomba de circulación: su función es hacer circular el agua venciendo las pérdidas de carga del circuito.
- Cocina solar: es un artefacto que permite cocinar alimentos usando la radiación incidente del Sol (radiación directa) como fuente de energía.
- Paneles fotovoltaicos: están formados por un conjunto de células fotovoltaicas que producen electricidad a partir de la luz que incide sobre ellos mediante el efecto fotoeléctrico.
- Inversor: es un aparato electrónico cuya función es cambiar un voltaje de entrada de corriente continua a un voltaje simétrico de salida de corriente alterna, con la magnitud y frecuencia deseada por el usuario.
- Valor Actual Neto: corresponde al valor presente de los flujos de caja netos originados por una inversión.

- Payback: se trata de una técnica para evaluar un determinado proyecto sobre la base de cuánto tiempo se tardará en recuperar la inversión inicial mediante los flujos de caja.
- Coeficiente de seguridad: es el cociente entre el valor calculado de la capacidad máxima de un sistema y el valor del requerimiento esperado real a que se verá sometido. Por este motivo es un número mayor que uno, que indica la capacidad en exceso que tiene el sistema por sobre sus requerimientos

Abreviaturas:

- ACC: Agua Caliente de Calefacción.
- ACS: Agua Caliente Sanitaria.
- AEMET: Agencia Estatal de Meteorología.
- AFS: Agua Fría Sanitaria.
- BdC: Bomba de Calor.
- CEM: Condiciones Estándar de Medida.
- CS: Cocina Solar.
- CTE: Código Técnico de Edificación.
- FDI: Factor de Dimensionamiento del Inversor.
- FV: Fotovoltaica.
- IDAE: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía.
- INEGA: Instituto Energético de Galicia.
- IRENA: Agencia Internacional de Energías Renovables.
- ITC: Instrucciones Técnicas Complementarias.
- IVPEE: Impuesto sobre el Valor de la Producción de la Energía Eléctrica.
- PMP: Punto de Máxima Potencia.
- PVPC: Precio Voluntario al Pequeño Consumidor.
- REBT: Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión.
- RITE: Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios.
- UNE: Una Norma Española (Asociación Española de Normalización).
- VAN: Valor Actual Neto.

7 DESCRIPCIÓN DE LAS INSTALACIONES

7.1 EMPLAZAMIENTO

La ubicación de las instalaciones a proyectar se encuentra en la localidad de Tuy, provincia de Pontevedra, barrio Guillarei-Pontenova número 34 B (figura 7-1). Se trata de una vivienda unifamiliar habitada por 3 ocupantes.



Figura 7-1. Ubicación de la vivienda. (Fuente: Google Earth Pro)

En las proximidades se encuentran la carretera N-550, la autovía A55 y la autopista AP-9 (ver figura 7-2).

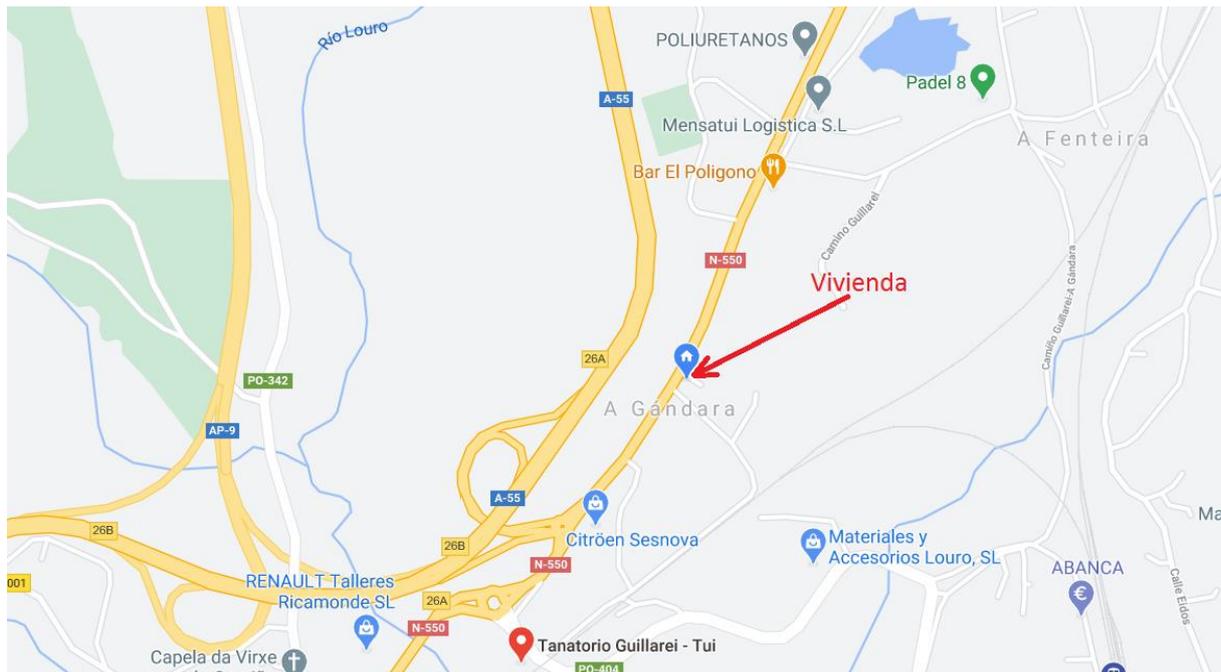


Figura 7-2. Carreteras y vías cercanas a la ubicación de la vivienda. (Fuente: Google Earth Pro)

7.2 ANÁLISIS DE LAS PROPUESTAS Y ELECCIÓN DEL TIPO DE INSTALACIÓN

A lo largo de todo el proyecto se analizaron varias propuestas para cubrir las demandas energéticas de una vivienda unifamiliar mediante energías renovables, las cuales se describen en los siguientes apartados. En la figura 7-3 se pueden ver las propuestas finales elegidas ya instaladas en la vivienda. La número 1 es la correspondiente a la instalación de aerotermia, la número 2 a la instalación solar fotovoltaica y la número 3 a la cocina solar.

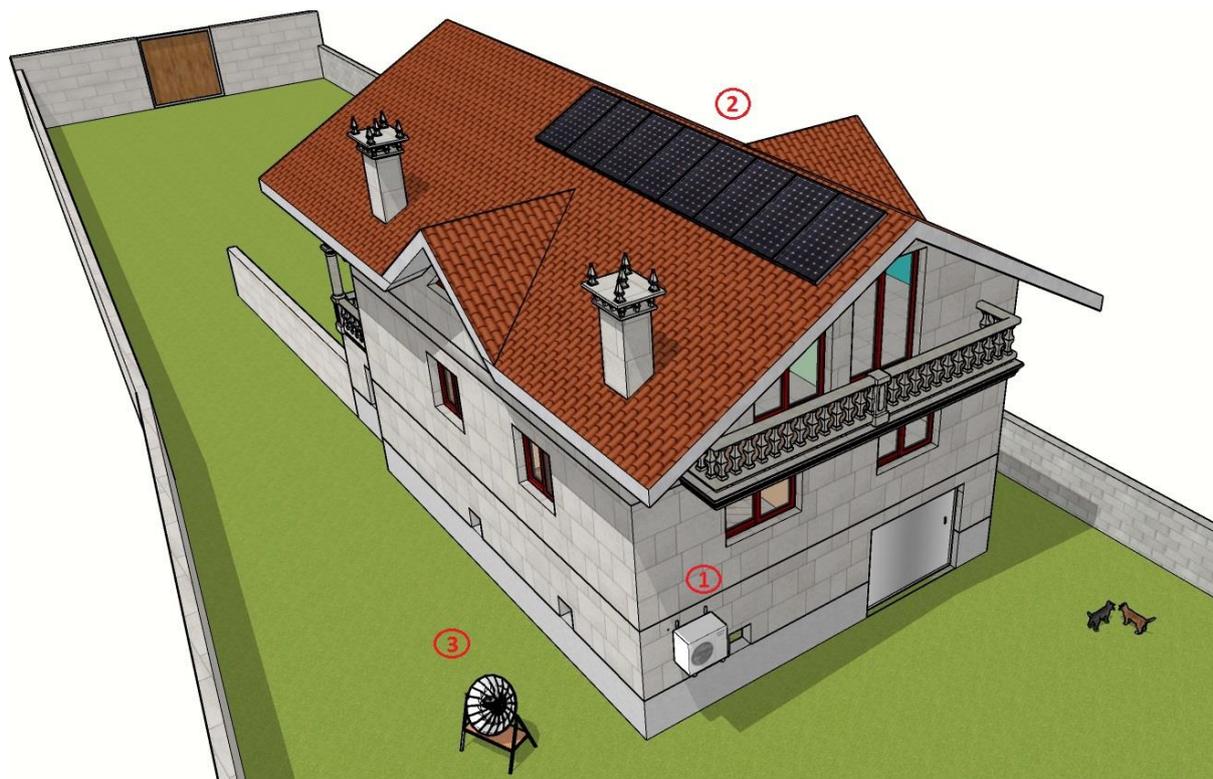


Figura 7-3. Diseño de las propuestas finales instaladas. (Fuente: SketchUp)

7.2.1 Instalación para cubrir la demanda de ACS y ACC

Los datos de la demanda anuales de energía calorífica para ACS y ACC son de 1961,467 kWh y 4410,095 kWh respectivamente, y 6371,561676 kWh en conjunto. Estos datos fueron calculados, el primero con los datos de consumo de ACS de los ocupantes de la vivienda ofrecidos por el propietario de la misma, y el segundo a través del modelado y simulación en DesignBuilder.

Para cubrir esta demanda de calor, se propusieron varias instalaciones basadas en energías renovables, como la aerotermia, geotermia, solar térmica y biomasa. Con y entre ellas se probaron varias configuraciones para la elección de la más óptima en función a los costes al final de vida de la misma, es decir, los costes de la inversión inicial, más los costes del mantenimiento y renovación de partes de la instalación. Para el caso de las configuraciones con energía solar térmica, la cual solo se utilizaría para cubrir parte de la demanda de ACS, ninguna de las configuraciones testadas fue rentable, puesto que se probaron distintos tamaños de instalaciones solares térmicas (número de colectores solares) y en ninguno de los casos se producía un ahorro en la factura respecto a tener solamente un sistema de aerotermia, geotermia o biomasa, es decir, en ninguno de los casos se ahorraría económicamente, sino que el coste final de la instalación de energía solar térmica sería mayor que los ahorros en coste de combustible que se producirían lo largo de la vida útil de la misma con cualquiera de las tecnologías utilizadas en la combinación, por ello se descartaron en el primer análisis.

En la tabla 7-1 se muestran las tecnologías utilizadas en cada propuesta y los costes finales de la propuesta elegida con cada una de las tecnologías.

Instalaciones propuestas	Costes finales [€]
Aeroterminia	11558,95
Geoterminia	13833,72
Biomasa	11644,54
Aeroterminia + Solar térmica	Descartado en el primer análisis
Geoterminia + Solar térmica	Descartado en el primer análisis
Biomasa + Solar térmica	Descartado en el primer análisis

Tabla 7-1. Configuraciones de las propuestas de ACS y ACC y sus costes finales

La propuesta elegida para cubrir la demanda de ACS y ACC fue la de aeroterminia, ya que tal y como se puede ver en la tabla 7-1, es la que menos costes finales acumula al final de su vida útil.

Las características de la bomba de aeroterminia seleccionada son las siguientes:

- Marca y modelo: Panasonic Aquarea High Performance-Generación H-All in One
- Volumen del interacumulador: 185 l
- Potencia nominal de la BdC: 12 kW
- SCOP_{35°C}: 4,83
- SCOP_{55°C}: 3,43

En la figura 7-4, se puede ver el equipo de la bomba de calor utilizado.



Figura 7-4. Equipo de la bomba de calor de Panasonic seleccionado. (Fuente: Panasonic)

Ya con la elección de la instalación definida, se procedió a la evaluación económica del proyecto de aeroterminia. Para ello se tuvo en cuenta la energía a coste cero que obtendría la bomba de calor de la instalación solar fotovoltaica (se presenta en el siguiente apartado), esta energía equivaldría al **40%** de todo el consumo eléctrico de la bomba de calor. En resumen, los ahorros de energía y en coste en la factura eléctrica serían de **747,979 kWh** y **140,24 €** (**54%** de ahorro en la factura eléctrica) respectivamente.

Esta diferencia entre el ahorro energético y el coste de la factura eléctrica (40 y 54% respectivamente), se debe principalmente a que la energía que se ahorra con la instalación fotovoltaica se consume en una franja horaria en la que el coste del kWh es elevado con respecto a otras franjas horarias del día.

También se tuvo en cuenta otro precio para el kWh consumido, ya que, para la primera valoración de los costes finales de los equipos, se utilizó el precio medio de 2019 en España del kWh de 0,13 € para la tarifa PVPC (Precio Voluntario al Pequeño Consumidor) para facilitar los cálculos, y no el específico horario de la compañía contratada. Este precio tenido en cuenta para la evaluación económica, fue obtenido del precio medio horario de cada mes según la tarifa PVPC de la compañía eléctrica contratada (Naturgy).

Como en la vivienda en la actualidad no se tiene ningún tipo de sistema de calefacción, aunque si el sistema de distribución del calor (circuito hidráulico de calefacción), se decidió elegir como sistema de referencia el sistema más comúnmente utilizado para cubrir este tipo de demandas, la caldera de gasóleo. Por lo tanto, los rendimientos económicos se calcularon con la caldera de gasóleo como referencia, y considerando un periodo de 20 años de vida útil de la instalación, resultando un Payback de **9,71 años** y un VAN de **5015,23 €** del proyecto de aerotermia.

7.2.2 Instalación para cubrir la demanda de electricidad

En cuanto a la demanda anual de electricidad, esta es de 4280,37 kWh (incluyendo ya el consumo de la bomba de calor), datos calculado a partir de la media del consumo energético en los últimos 3 años extraídos del contador inteligente.

Las instalaciones propuestas para cubrir total o parcialmente la demanda de electricidad de la vivienda, fueron las basadas en energía solar fotovoltaica y minieólica. Al igual que para la propuesta de ACS y ACC, con y entre ellas se probaron diferentes configuraciones.

En la tabla 7-2 se muestran las tecnologías utilizadas en cada propuesta y los costes finales de la propuesta elegida con cada una de las tecnologías.

Instalaciones propuestas	Costes finales [€]
Minieólica	6875,54
Solar Fotovoltaica	-7519,19
Híbrida (FV + Minieólica)	-1708,65

Tabla 7-2. Configuraciones de las propuestas de generación eléctrica y sus costes finales

Como se observa en la tabla 7-2, para este caso se tienen costes finales positivos y negativos. Esto se debe a que para el computo de los costes finales se tuvieron en cuenta los ahorros producidos en la factura eléctrica, de ahí que las propuestas con valores positivos indiquen que al final de la vida útil de la misma se tendrán pérdidas y los valores negativos que se tendrán ganancias, por lo que cuanto más negativo sea el valor más rentable será la propuesta.

Siguiendo esto, la propuesta que mayor rentabilidad aporta y por tanto la elegida para la instalación, es la basada completamente en energía solar fotovoltaica.

Una vez elegida la tecnología a utilizar, se analizó cual de las dos modalidades de autoconsumo existentes en España (con y sin compensación de excedentes) es la más rentable y que cantidad de módulos fotovoltaicos son los óptimos para obtener los

máximos beneficios. En la tabla 7-3 se muestran los resultados teniendo en cuenta un periodo de vida útil de la instalación de 25 años.

Modalidad	Nº de módulos	Payback	VAN
Con compensación de excedentes	8	9,67	3683,25
Sin compensación de excedentes	28	15,09	5197,61

Tabla 7-3. Resultados de la evaluación económica final de la propuesta de energía solar fotovoltaica

En la tabla 7-3 se ve claramente como la instalación de 28 módulos de la modalidad sin compensación de excedentes tiene una rentabilidad mayor, pero a pesar de esto, el propietario de la vivienda se decantó por la opción de 8 módulos fotovoltaicos (2600 Wp) en la modalidad con compensación de excedentes, puesto que a nivel burocrático es mucho más sencillo, ya que es la propia compañía eléctrica contratada, la que se encarga de todos los trámites, tema que no ocurre con la modalidad sin compensación de excedentes, en la que se deben realizar muchos trámites administrativos, como tributar cada tres meses, entre otros.

Aunque se haya decantado por una de las opciones elegidas, el objetivo del proyecto es mostrar todas las vías posibles para lograr aumentar el autoconsumo mediante energías renovables. Por lo tanto, esta elección final solo es orientativa y para el propósito de realizar los cálculos posteriores de todas las partes de la instalación.

A continuación, se muestran las características principales de la instalación:

- Marca y modelo de los módulos FV: Panasonic VBHN325SJ47
- Eficiencia del módulo FV: 19,4%
- Potencia módulo FV: 325 Wp
- Potencia del campo generador: 2600 Wp (8 módulos)
- Marca y modelo del inversor: Huawei Technologies SUN2000L-2KTL
- Eficiencia máxima del inversor: 98,4%
- Potencia nominal del inversor: 2000 W

En las figuras 7-5 y 7-6 se pueden ver las imágenes del módulo solar fotovoltaico e inversor respectivamente.



Figura 7-5. Modulo FV Panasonic VBHN325SJ47. (Fuente: Panasonic)



Figura 7-6. Inversor SUN2000L-2KTL de Huawei Technologies. (Fuente: Huawei)

7.2.3 Cocina solar parabólica

Se calculó, diseñó, modeló, analizó y fabricó una cocina solar parabólica, la cual, a excepción de algunos materiales de conexión como remaches, materiales de soldadura como electrodos o materiales antioxidantes y de enlucido como pinturas, está construida completamente con materiales reciclados.

Una vez hechos los cálculos para dimensionar el captador, se probaron dos prototipos de cocinas solares, las cuales se modelaron en *Solid Edge* tal como se ve en la figura 7-7.



Figura 7-7. A la derecha el primer prototipo y a la izquierda el segundo de la cocina solar. (Fuente: Solid Edge)

El primer prototipo, que se trata básicamente de montar el captador solar sobre una silla de camping ajustable, fue descartado por la poca practicidad que ofrecía, ya que era difícil seguir la posición solar con él. El segundo fue el elegido para su fabricación, ya que permite seguir la posición del sol en 360°, y se puede desplazar más fácilmente.

En la figura 7-8 se pueden ver imágenes del prototipo elegido ya construido.



Figura 7-8. Prototipo elegido de la cocina solar fabricado

Pero antes de su construcción se realizaron análisis mecánicos y termodinámicos para comprobar si era viable técnicamente.

En cuanto al análisis mecánico realizado, los resultados fueron muy positivos, comprobándose que la parte más crítica (en cuanto a esfuerzos se refiere) podría soportar hasta **6,57** veces el peso máximo estimado, es decir, se podría colocar una carga sobre el soporte de la olla de hasta 39,42 kg, cuando lo máximo que se tiene pensado colocar son 6 kg.

Los resultados del análisis termodinámico se pueden ver resumidos en la tabla 7-4.

		Agua (100 °C)	Aceite (180 °C)
t_{prep}	Sistema 1	1h 53min 58s	43min 42s
	Sistema 2	1h 11min 10s	22min 1s
η_{tot}	Sistema 1	0,51	0,34
	Sistema 2	0,82	0,64

Figura 7-4. Resultados del análisis termodinámico de la cocina solar

En la tabla 7-4 se pueden ver los tiempos de preparación (t_{prep}) del agua y del aceite a 100 °C y 180 °C respectivamente, y el rendimiento total del sistema termodinámico (η_{tot}) para las dos propuestas probadas.

La segunda propuesta consistía únicamente en colocar una lámina polimérica reflectiva sobre el captador para aumentar su reflectancia desde 0,63 hasta 0,945 que ofrece la lámina. Con ella se ve como mejoran bastante los tiempos de cocción al igual que los rendimientos del sistema, por lo que se decidió adoptar esta medida ya que el precio de la misma es muy bajo (4,3 €).

Lo siguiente realizado fue calcular los días medios de funcionamiento de la misma y la energía ahorrada con la misma. Esto se debe a que no todos los días está despejado el cielo, y la cocina solamente funciona con radiación solar directa. Con lo cual, los días medios de funcionamiento al año resultaron en **208 días** y la energía ahorrada con esta medida en **124,8 kWh/año**.

Por último, teniendo en cuenta el precio medio de la electricidad en las horas de funcionamiento de la cocina, se realizó el análisis económico de la misma, obteniendo un Payback de **8 meses** y unos ahorros a lo largo de 25 años de **421,75 €**.

8 ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL

El análisis medioambiental realizado se divide en dos partes. Por un lado, se calculó la energía ahorrada frente a usar equipos convencionales de energía fósil o la red eléctrica. Por otro lado, se calculó la cantidad de emisiones de CO₂ que se reducirían anualmente utilizando estos sistemas basados en energías renovables. Los resultados se muestran en las tablas 8-1 y 8-2.

Demanda	kWh/año
ACS + ACC	5224,059
Electricidad	2025,640
Total	7249,699

Figura 8-1. Energía ahorrada anualmente frente usar equipos de convencionales de energía fósil o la red eléctrica.

Tecnología utilizada	kg CO₂/año
Aeroterminia	1702,231
Solar fotovoltaica	1210,392
Cocina solar	37,440
Total	2950,063

Figura 8-2. Cantidad de CO₂ reducido gracias a cada una de las instalaciones realizadas

9 ANÁLISIS ECONÓMICO

Por último, se realizó un análisis económico en el que se contabilizaron los ahorros que se obtendrán en la factura eléctrica, excluyendo los costes de las instalaciones (inversión inicial + mantenimiento + renovación de equipos), los cuales suman un total de **1060,614 €/año**. También se halló el Payback y VAN de la totalidad del proyecto, de los cuales los resultados se muestran en la tabla 9-1.

	Payback [Años]	VAN [€]
Bomba de Calor	9,71	5.015,23
Fotovoltaica	10,28	3.538,25
Cocina solar	0,69	421,75
Total	10,00	8.975,23

Tabla 6-1. Payback y VAN de cada parte del proyecto y del proyecto global

10 CONCLUSIONES

A lo largo del trabajo, se ha ido analizando el potencial de las energías renovables para cubrir las demandas parcial o totalmente de una vivienda situada en una zona del país donde el potencial de la energía solar es bajo (figura 10-1), si se compara con la mayoría de las zonas. A pesar de ello fue la elegida para cubrir la demanda de energía eléctrica.

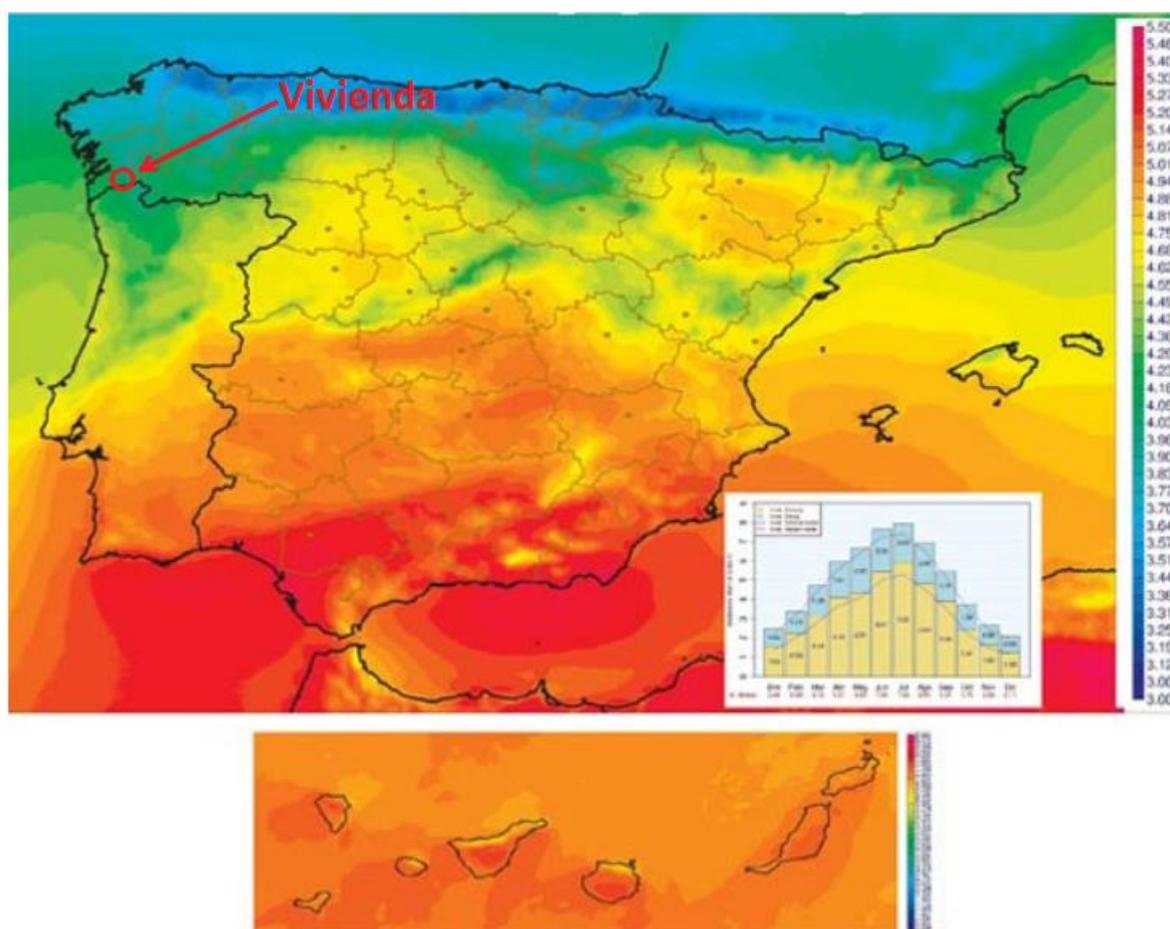


Figura 10-1. Atlas de radiación solar en España. (Fuente: AEMET [10])

Esto demuestra que casi en cualquier zona del país con una instalación solar fotovoltaica de características similares (para una vivienda o bloque de viviendas) será rentable este tipo de proyectos, pudiendo elegir entre las dos modalidades de facturación, con y sin compensación de excedentes, aunque la segunda aporta normalmente más beneficios, pero la complicidad burocrática a la que se es sometido quizás no compense ese margen de beneficios comparado con el modelo con compensación de excedentes. Por lo que se debería empezar por facilitar este tipo modelos, puesto que, en otros países de la Unión Europea, como por ejemplo en Alemania, es la propia compañía la que se encarga de

todos los trámites y sin que eso implique un aumento de las tasas o impuestos por inyectar y vender energía. De hecho, la rentabilidad económica de los proyectos de energía solar fotovoltaica para autoconsumo en Alemania es mayor que en España, a pesar de tener una menor irradiación solar (figura 10-2), lo que resulta paradójico.

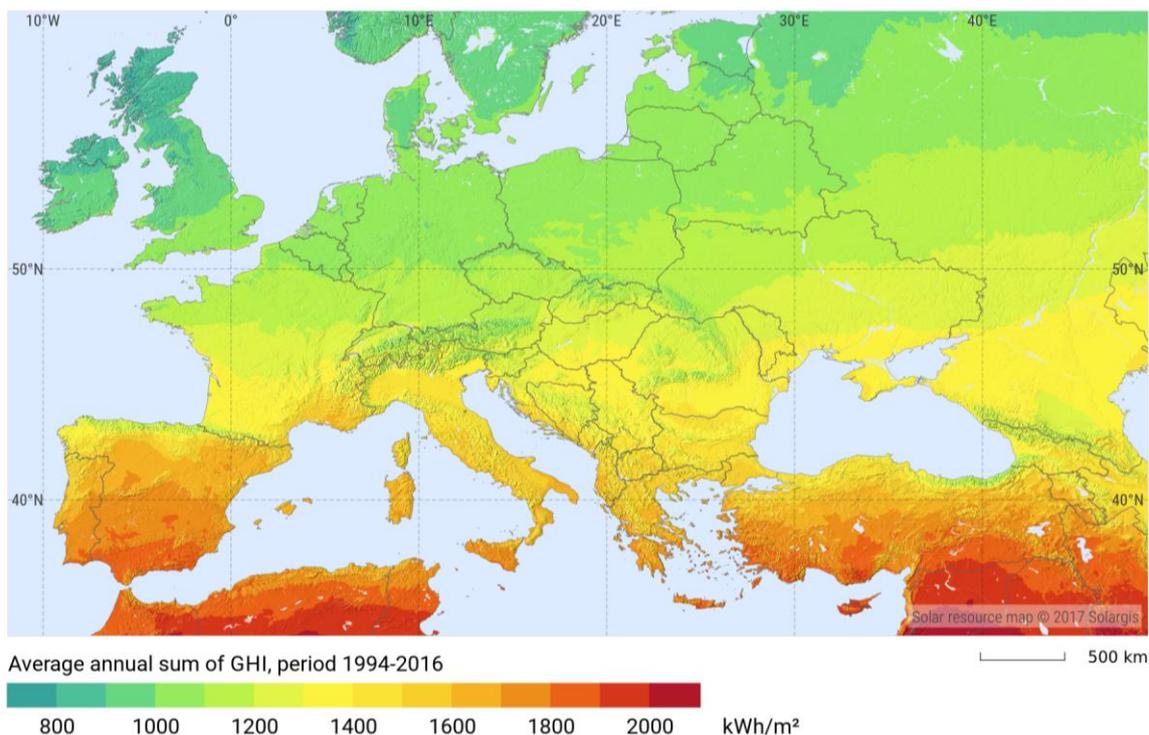


Figura 10-2. Irradiación solar global media anual en Europa. (Fuente: Solargis [11])

También, otro dato a tener en cuenta, es la no subvención de otros sistemas de generación eléctrica, como es el caso de la propuesta analizada de minieólica, haciendo a estos dispositivos, debidos a sus costes, totalmente inviables. De otra manera, se podría complementar la energía solar fotovoltaica con estos sistemas aumentando el ahorro y viabilidad del proyecto, además de aprovechar un recurso más de los disponibles en la zona.

Al igual que para la instalación de energía solar fotovoltaica, con la cocina solar parabólica también se consigue reducir en la factura eléctrica. La causa es similar a la anterior (para la solar fotovoltaica), aunque para este caso no solo influye la irradiación solar, sino también lo despejado que este el día, puesto que solo trabaja con radiación solar directa (figura 10-3). En la figura 10-3 se puede ver también la diferencia entre el norte y sur de España, haciendo al sistema más rentable cuanto más al sur del país se instale, lo mismo que sucede también en todo el continente europeo.

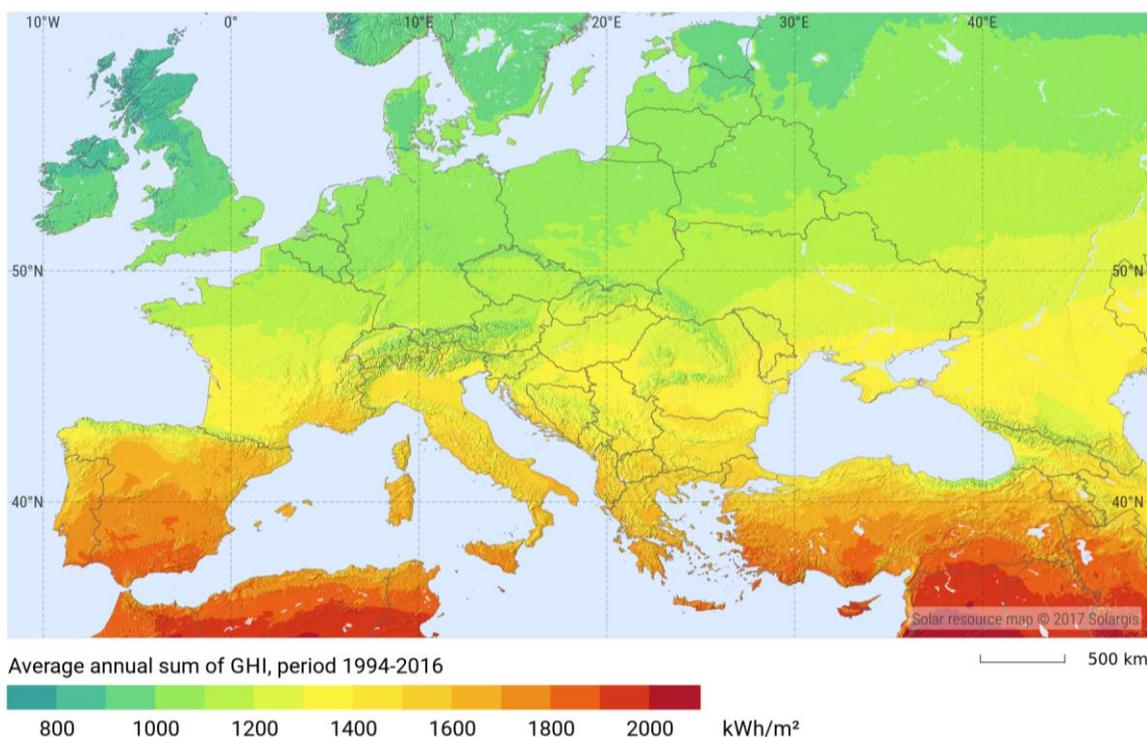


Figura 10-3. Irradiación Normal Directa media anual en Europa. (Fuente: Solargis [11])

Aunque la cantidad ahorrada sea una cantidad bastante pequeña, se debe pensar que la población mundial está en constante crecimiento y eso provoca que la demanda energética sea cada vez mayor, necesitando grandes plantas energéticas, con las consecuencias que ello acarrea (explicado en el apartado de "Justificación"), por lo que se debe ser diligente con estos temas, porque al final la sociedad no es más que la suma de individuos.

Se demostró también, como prácticamente con materiales reciclados se puede construir un sistema viable técnica- y económicamente, con los únicos ingredientes del tiempo y la pasión por la construcción de este tipo de sistemas.

La propuesta de energía solar térmica fue el único sistema basado en energía solar que no fue rentable. Esto es debido principalmente a los altos costes de las instalaciones, aunque estén subvencionadas, y a que siempre habrá que instalar un sistema de apoyo que pueda cubrir toda la demanda de la vivienda cuando el sistema solar no trabaje, por lo que los ahorros que produce esta tecnología solar en la factura, no cubren los costes de instalación y mantenimiento de la misma.

Debido a esto, el sistema propuesto para cubrir la demanda de calefacción y agua caliente sanitaria, fue uno basado en una bomba de calor, ya que la otra propuesta, que era la basada en una caldera de pellets, no llegaba al grado de rentabilidad de esta. Esto se debe principalmente a la gran eficiencia de los sistemas basados en bombas de calor, puesto que pueden tener una eficiencia de un 4,6 (COP) de media, frente al 0,91 que puede rondar de media el rendimiento de la caldera de pellets, ya que los costes de instalación si que son mayores para el caso de la bomba de calor. No se debe olvidar, que parte de la energía de la bomba de calor (40% para esta instalación) es consumida a coste cero, puesto que proviene directamente de la instalación solar fotovoltaica, parámetro que también suma en la rentabilidad de la instalación.

Dentro de las propuestas de la bomba de calor se decantó por la aerotermia, puesto que la rentabilidad era mayor frente al de geotermia. Pero esto también es debido a que no se disponen de datos exhaustivos de la zona, en cuanto al potencial geotérmico, por lo que los cálculos fueron basados en estimaciones bastantes conservadoras teniendo en cuenta que la ubicación de la vivienda se encuentra en una zona de gran potencial geotérmico. Por lo tanto, haría falta un estudio in situ para realmente conocer el potencial de estos sistemas geotérmicos.

Por lo tanto, con ello se demostró el gran potencial de las bombas de calor y el perfecto complemento que son junto a la energía solar fotovoltaica. Además, si se instala una bomba de calor reversible (como para este caso) se podría en un futuro utilizar la misma para refrigeración sin tener que cambiar de sistema y además aumentado la rentabilidad del proyecto. Debido a esto, los proyectos de aerotermia son también ideales para zonas que se encuentren más al sur de España, debido a la gran demanda de refrigeración.

No se debe olvidar, que con estos proyectos no solo se consigue una gran rentabilidad económica, sino que también se participa directamente en la mejora de la salud del medioambiente, puesto que como se pudo comprobar (ANÁLISIS MEDIOAMBIENTAL, 8) las emisiones de CO₂ ahorradas son muy elevadas, lo que es un muy buen indicativo.

En conclusión, este proyecto puede ser útil como referencia para visibilizar el potencial de las energías renovables a pequeña escala en este país, ya que se demostró mediante el mismo, su rentabilidad y viabilidad en una zona en donde el potencial de las mismas es de los más bajos del país.

11 BIBLIOGRAFÍA

[1]Campos-Celador, A., 2020. La Alta Tensión En La Transición Energética. [online] ElDiario.es. Available at: <https://www.eldiario.es/ultima-llamada/sirve-alta-tension_132_1127946.html> [Accessed 3 October 2020].

[2]Idae.es. 2020. Inicio | IDAE. [online] Available at: <<https://www.idae.es/>> [Accessed 3 October 2020].

[3]Solar.huawei.com. 2020. Huawei Solución Inteligente Fusionsolar. [online] Available at: <<https://solar.huawei.com/es>> [Accessed 3 October 2020].

[4]Eu-solar.panasonic.net. 2020. Highly Efficient Solar Modules | Panasonic. [online] Available at: <<https://eu-solar.panasonic.net/en/>> [Accessed 3 October 2020].

[5]Aircon.panasonic.eu. 2020. Aquarea (Calefacción Y ACS) - Panasonic - Calefacción Y Aire Acondicionado. [online] Available at: <https://www.aircon.panasonic.eu/ES_es/ranges/aquarea/> [Accessed 3 October 2020].

[6]Energia.gob.es. 2020. Ministerio Para La Transición Ecológica Y El Reto Demográfico - Rite - Reglamento Instalaciones Térmicas En Los Edificios. [online] Available at: <<https://energia.gob.es/desarrollo/EficienciaEnergetica/RITE/Paginas/InstalacionesTerminicas.aspx>> [Accessed 3 October 2020].

[7]Codigotecnico.org. 2020. Inicio. [online] Available at: <<https://www.codigotecnico.org/>> [Accessed 3 October 2020].

[8]Industria.gob.es. 2020. Ministerio De Industria, Comercio Y Turismo - Reglamento Electrotécnico Para Baja Tensión De 2002. [online] Available at: <<https://industria.gob.es/Calidad-Industrial/seguridadindustrial/instalacionesindustriales/baja-tension/Paginas/reglamento-2002.aspx>> [Accessed 3 October 2020].

[9]Une.org. 2020. UNE - Asociación Española De Normalización. [online] Available at: <<https://www.une.org>> [Accessed 3 October 2020].

[10]Meteorología, A., 2020. Atlas De Radiación Solar En España - Agencia Estatal De Meteorología - AEMET. Gobierno De España. [online] Aemet.es. Available at: <http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/datosclimatologicos/atlas_radiacion_solar> [Accessed 9 October 2020].

[11]Solargis.com. 2020. Mapas De Recursos Solares De Europe. [online] Available at: <<https://solargis.com/es/maps-and-gis-data/download/europe>> [Accessed 9 October 2020].