



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR INGENIEROS  
INDUSTRIALES VALENCIA

**TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES**

# **ESTUDIO DE VIABILIDAD ENERGÉTICA PARA EL AUTOABASTECIMIENTO DE ELECTRICIDAD MEDIANTE ENERGÍAS RENOVABLES DE LA ISLA DE TABARCA**

AUTOR: LIDIA FERRANDO LEÓN  
TUTORA: ISABEL MARTÓN LLUCH  
COTUTOR: JOSÉ FELIPE VILLANUEVA LÓPEZ

**Curso Académico: 2019-20**



## **AGRADECIMIENTOS**

A mi familia. Por la ayuda, el apoyo, la confianza y el amor incondicional que me han dado siempre. Porque se lo debo todo a ellos.

A mis amigos. Por ser y estar.

A mis tutores. Por toda la dedicación.

A todos los profesores. Por dedicar su vida a enseñar y a transmitir conocimientos.



## RESUMEN

Desde el Plan Integrado de Energía y Clima se quiere llevar a cabo la penetración de las energías renovables reduciendo, de esta manera, las emisiones de gases de efecto invernadero. En este plan se propone que, en 2030, el 42% de suministro de energía final y el 74% de electricidad sea a partir de las energías renovables.

La isla de Tabarca, la cual se encuentra a 8 kilómetro del puerto de Santa Pola, es la única isla habitada en la Comunidad Valencia. Su longitud máxima es de 1800 metros y su anchura de 450 metros. Debido a su tamaño y a su situación, la obtención de electricidad siempre ha supuesto un problema para su población. Durante toda la historia, se han tomado distintas medidas para abastecerse eléctricamente pero nunca se ha concluido con una medida eficiente y sostenible.

El objetivo de este Trabajo de Fin de Grado es realizar un estudio de la isla de Tabarca para evaluar si es posible adaptar un sistema de energías renovables para el autoabastecimiento eléctrico de la isla. Este estudio se va a llevar a cabo evaluando las distintas alternativas de tecnologías actuales, las características y necesidades de la isla, su capacidad eléctrica, y su viabilidad tanto económica como medioambiental.

**Palabras clave:** Demanda eléctrica, tecnología sostenible, y autoabastecimiento.

## RESUM

Des del “Plan Integrado de Energía y Clima” es vol dur a terme la introducció de les energies renovables reduint, d'eixa manera, les emissions de gasos d'efecte hivernacle. En aquest pla es proposa que, en 2030, el 42% del subministrament d'energia final i el 74% de l'electricitat consumida provinga d'energies renovables.

L'illa de Nova Tabarca, la qual es troba a 8 quilòmetres del port de Santa Pola, és l'única illa habitada de la Comunitat Valenciana. La seua longitud màxima és de 1.800 metres i la seua amplària màxima de 450 metres. A causa de la seua grandaria i la seua situació, el subministrament d'electricitat sempre ha suposat un problema per a la població. Durant tota la història, s'han pres diferents mesures d'abastiment elèctric però mai s'ha aconseguit una mesura eficient i sostenible la mateix temps.

L'objectiu d'aquest Treball Fi de Grau és realitzar un estudi per a avaluar si és possible adaptar un sistema d'energies renovables per a l'autoabastiment elèctric de l'illa. Este estudi es va dur a terme contemplant les diferents alternatives de tecnologies actuals, les característiques i necessitats de l'illa, la seua capacitat elèctrica, i la seua viabilitat tant econòmica com mediambiental.

**Paraules clau:** Demanda elèctrica, tecnologia sostenible, i autoabastiment.

## ABSTRACT

The “Plan Integrado de Energía y Clima” is based on the penetration of renewable energies by reducing the greenhouse gas emissions. The target of this plan is to provide, on 2030, the 42% of final energy and the 74% of electricity from renewable energy.

Tabarca’s island is 8 kilometers from the harbour of Santa Pola and the only inhabited island in the Community of Valencia. Its maximum length is 1,8 kilometers and its width 450 meters. Due to its size and situation, electricity supply has always been a problem for the society. Throughout the years, different measures have been taken to provide electricity but it has never concluded with an efficient and sustainable proposal.

The objective of this Final Degree Project, is to execute a study of the island to evaluate whether it is possible to adapt a renewable energy system for its electrical self-supply. This study will be carried out by evaluating the different alternatives of current technologies, the characteristics and needs of the island, its electrical capacity, and its economic and environmental viability.

**Key words:** Electricity demand, sustainable technology, and self-supply.



## ÍNDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>12</b>
<b>2. JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>14</b>
2.1 Justificación Medioambiental.....	14
2.2 Justificación Tecnológica .....	14
2.3 Justificación Social .....	14
2.4 Justificación Académica.....	15
<b>3. OBJETIVOS</b> .....	<b>16</b>
<b>4. ANTECEDENTES Y ESTADO ACTUAL</b> .....	<b>18</b>
<b>5. DESCRIPCIÓN DE LA ISLA</b> .....	<b>20</b>
5.1 Características generales .....	20
5.2 Clima.....	20
5.2.1 Temperatura .....	21
5.2.2 Velocidad del viento .....	21
5.2.3 Precipitaciones .....	22
5.2.4 Radiación solar.....	22
5.3 Fauna y flora .....	23
5.4 Demografía.....	23
5.5 Instalaciones.....	24
<b>6. ESTUDIO DE NECESIDADES</b> .....	<b>28</b>
<b>7. ALTERNATIVAS DE TECNOLOGÍAS DE ENERGÍA RENOVABLE</b> .....	<b>32</b>
7.1 Energía solar .....	32
7.1.1 Térmica .....	32
7.1.2 Fotovoltaica.....	34
7.2 Energía eólica.....	35
7.2.1 Aerogeneradores de eje vertical (VAWT) .....	35
7.2.2 Aerogeneradores de eje horizontal (HAWT) .....	36
7.3 Energía hidráulica .....	37
7.4 Biomasa.....	38
7.5 Energía mareomotriz .....	39
7.6 Energía geotérmica.....	40
<b>8. ADAPTACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS A LA ISLA DE TABARCA</b> .....	<b>42</b>
8.1 Aerogeneradores de eje horizontal de baja potencia .....	42
8.1.1 Modelo comercial.....	42
8.1.2 Número de aerogeneradores necesarios a instalar.....	44
8.1.3 Ubicación de la instalación .....	47
8.2 Placas fotovoltaicas.....	48
8.2.1 Modelo comercial.....	49
8.2.2 Número de placas fotovoltaicas necesarias a instalar .....	50
8.2.3 Ubicación de la instalación .....	52
8.3 Elementos auxiliares de la instalación .....	53
8.3.1 Modelo comercial de los inversores.....	55
<b>9. PRESUPUESTO DE LA INSTALACIÓN</b> .....	<b>58</b>
9.1 Presupuesto de la instalación eólica .....	58
9.2 Presupuesto de la instalación solar .....	59
9.3 Presupuesto de los elementos auxiliares .....	61
9.4 Presupuesto total.....	61

<b>10.</b>	<b>ESTUDIO DE VIABILIDAD .....</b>	<b>62</b>
<b>11.</b>	<b>CONCLUSIÓN .....</b>	<b>64</b>
<b>12.</b>	<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>66</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Objetivos de desarrollo sostenible .....	12
<b>Figura 2.</b> Evolución demográfica de Tabarca .....	15
<b>Figura 3.</b> Isla de Tabarca.....	20
<b>Figura 4.</b> Rosa de los vientos .....	22
<b>Figura 5.</b> Irradiancia en España durante los meses de junio, julio y agosto .....	23
<b>Figura 6.</b> Irradiancia en la provincia de Alicante.....	23
<b>Figura 7.</b> EDAR de Tabarca.....	24
<b>Figura 8.</b> Faro de Tabarca .....	25
<b>Figura 9.</b> Iglesia San Pedro y San Pablo, Tabarca. ....	25
<b>Figura 10.</b> Cementerio de Tabarca.....	26
<b>Figura 11.</b> Puerto La Caleta, Tabarca.....	26
<b>Figura 12.</b> Consumo eléctrico del museo arqueológico Los Baños .....	30
<b>Figura 13.</b> Central de discos parabólicos .....	33
<b>Figura 14.</b> Módulos fotovoltaicos .....	34
<b>Figura 15.</b> Isla de Tenerife. Sistema de energía fotovoltaica .....	35
<b>Figura 16.</b> Isla de Samso. Sistema de energía fotovoltaica.....	35
<b>Figura 17.</b> Aerogenerador Savonius.....	36
<b>Figura 18.</b> Aerogeneradores horizontales de pequeña potencia.....	37
<b>Figura 19.</b> Minicentral hidroeléctrica.....	38
<b>Figura 20.</b> Central de biomasa en Mérida .....	39
<b>Figura 21.</b> Presas de marea.....	39
<b>Figura 22.</b> Generadores de corriente de marea.....	40
<b>Figura 23.</b> Curva de potencia del modelo E70Pro .....	43
<b>Figura 24.</b> Curva de potencia del modelo E200L .....	44
<b>Figura 25.</b> Curva de potencia del modelo E200.....	44
<b>Figura 26.</b> Mapa cartográfico de la zona este de la isla de Tabarca.....	47
<b>Figura 27.</b> Mapa cartográfico de la zona este de la isla de Tabarca.....	48
<b>Figura 28.</b> Curvas I-V KuMax. ....	49
<b>Figura 29.</b> Curva I-V de Hiku .....	49
<b>Figura 30.</b> Generación eléctrica media por hora dependiendo del mes con 825 kW instalados en energía fotovoltaica. ....	50
<b>Figura 31.</b> Generación eléctrica por mes con una potencia instalad de 825 kW en una instalación FV .....	51
<b>Figura 32.</b> Antigua ubicación de la central solar en el mapa cartográfico de la Isla de Tabarca .....	53
<b>Figura 33.</b> Propuesta de ubicación de la central solar en el mapa cartográfico de la Isla de Tabarca.....	53
<b>Figura 34.</b> Flujo efectivo acumulado de nuestro sistema híbrido. ....	63

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Características de diferentes islas de la Unión Europea.....	19
<b>Tabla 2.</b> Temperaturas medias durante la noche y el día en los diferentes meses del año.....	21
<b>Tabla 3.</b> Escala Beaufort .....	21
<b>Tabla 4.</b> Frecuencia del viento por sectores .....	22
<b>Tabla 5.</b> Precipitaciones medias por mes de un año.....	22
<b>Tabla 6.</b> Consumo eléctrico desglosado del sector residencial .....	29
<b>Tabla 7.</b> Consumo eléctrico desglosado del sector hotelero. ....	29
<b>Tabla 8.</b> Consumo eléctrico desglosado del sector de restauración .....	30
<b>Tabla 9.</b> Consumo eléctrico desglosado total.....	31
<b>Tabla 10.</b> Cantidad de energía a generar por cada tipo de tecnología.....	42
<b>Tabla 11.</b> Comparativa entre 3 modelos distintos de aerogeneradores .....	43
<b>Tabla 12.</b> Cálculos realizados para obtener la generación eléctrica por un aerogenerador E200L.....	46
<b>Tabla 13.</b> Cálculos realizados para obtener la generación eléctrica por un aerogenerador E200 .....	46
<b>Tabla 14.</b> Cantidad de aerogeneradores necesarios dependiendo del modelo.....	47
<b>Tabla 15.</b> Comparativa de distintos modelos de placas fotovoltaicas .....	49
<b>Tabla 16.</b> Generación eléctrica media diaria por cada mes con 825 kW instalados en módulos fotovoltaicos .....	51
<b>Tabla 17.</b> Resumen de la cantidad de paneles necesarios, superficie necesaria y precio total por modelo.....	52
<b>Tabla 18.</b> Presupuesto del día 1 de la instalación de un aerogenerador .....	58
<b>Tabla 19.</b> Presupuesto del día 2 de la instalación de un aerogenerador .....	59
<b>Tabla 20.</b> Presupuesto del día 3 de la instalación de un aerogenerador .....	59
<b>Tabla 21.</b> Presupuesto total de la instalación de los aerogeneradores.....	59
<b>Tabla 22.</b> Presupuesto del día 1 de la instalación de 6 placas solares .....	60
<b>Tabla 23.</b> Presupuesto del día 2 de la instalación de 6 placas solares .....	60
<b>Tabla 24.</b> Presupuesto total de la instalación de las placas fotovoltaicas.....	60
<b>Tabla 25.</b> Presupuesto del día 1 de la instalación de un elemento auxiliar .....	61
<b>Tabla 26.</b> Presupuesto total de la instalación de los elementos auxiliares .....	61
<b>Tabla 27.</b> Presupuesto total de la instalación híbrida. ....	61
<b>Tabla 28.</b> Parámetros financieros introducidos en RETScreen.....	63

## 1. INTRODUCCIÓN

Actualmente, se está apostando por un desarrollo sostenible para garantizar un futuro social, económico y medioambiental próspero. La Organización de las Naciones Unidas (ONU) ha propuesto la llamada Agenda de Desarrollo 2030, que persigue el vínculo del desarrollo sostenible con procesos económicos, sociales y ambientales mediante los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), que representan un plan a favor de las personas, del planeta y de la prosperidad. [1]



Figura 1. Objetivos de desarrollo sostenible. (Fuente: [1])

Como indica la Figura 1, entre los 17 ODS, se encuentran: energía asequible y no contaminante, industria, innovación e infraestructura, ciudades y comunidades sostenibles, producción y consumo responsables, y acción por el clima. [1]

El Acuerdo de París de 2015 resulta de la urgente necesidad de afrontar la emergencia climática en la que se encuentra actualmente nuestro planeta, estableciendo como objetivo principal la erradicación del cambio climático mediante la reducción de emisiones contaminantes. [2]

Por su parte, el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima complementa el mencionado Acuerdo de París mediante la propuesta de medidas de reducción de gases contaminantes, a través de la penetración de energías renovables y de eficiencia energética. Este Plan Nacional trata de determinar las medidas más eficientes y óptimas para la seguridad de la economía, el empleo, la salud y el medio ambiente. [3]

Esta tendencia actual se extiende a las empresas del sector, que están apostando por las energías renovables y el desarrollo sostenible. Un claro ejemplo de ello es la empresa Acciona, la cual está comprometida con el crecimiento de infraestructuras sostenibles y de energías renovables, entendiendo por desarrollo sostenible “el desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones, garantizando el equilibrio entre el crecimiento económico, el cuidado del medio ambiente y el bienestar social.” [4]

Para poder alcanzar el mencionado desarrollo sostenible, el presente trabajo trata de desarrollar y fomentar la obtención de electricidad a partir de energías renovables. A continuación, se procede a exponer la clasificación de los distintos tipos de energía.

Las energías primarias, aquellas que se obtienen directamente de la naturaleza, se pueden dividir en renovables y no renovables. Las renovables tienen una capacidad ilimitada como puede ser la energía solar o la energía hidráulica, y las no renovables son aquellas que cuentan con una capacidad limitada, es decir, desaparecerán en un determinado periodo de tiempo, como ocurre con los combustibles fósiles. Por último, tenemos las energías finales, que son aquellas que utilizan los consumidores, como son la electricidad, la gasolina, el gas butano, etc. [5]

Para la obtención de energías finales, las energías primarias están sometidas a un proceso de transformación. Estos son bastante complejos y varían dependiendo del tipo de fuente primaria que se quiera utilizar. Conforme al Acuerdo de París y a la Agenda 2030, la obtención de electricidad mediante energías renovables no supone emisiones contaminantes y reducen exponencialmente el impacto medioambiental. También hay que tener en cuenta que las energías renovables, a diferencia de las energías no renovables, no cuentan con fecha de extinción.

En este contexto, se propone realizar un estudio de la implementación de tecnologías capaces de obtener electricidad a partir de las energías renovables en la isla de Tabarca.

A lo largo de su historia, Tabarca ha contado con una dificultad de suministro eléctrico basada tanto en la dependencia de otros territorios como en la insuficiencia eléctrica. Se procede a valorar si es posible la resolución de este problema mediante un sistema eléctrico de autoconsumo.

El autoconsumo eléctrico es la actividad de aprovechar la energía generada por métodos propios para abastecer la demanda eléctrica que se tiene. Supone una gran ventaja ya que tiene gran repercusión en la erradicación del uso de combustibles fósiles, lo cual afecta positivamente al medio ambiente. También cuenta con otras ventajas como son: los nuevos modelos de negocio, el control del gasto energético, y la reducción de las pérdidas causadas por el transporte y distribución. [6]

Tabarca, también conocida como Isla de Nova Tabarca, o Isla Plana se encuentra situada en el mar mediterráneo a una distancia de 22 kilómetros de la ciudad de Alicante y tan solo a unos 8 kilómetros del puerto de Santa Pola. Esta isla, es la única habitada de toda la Comunidad Valenciana debido a su tamaño, ya que es la más grande de toda la comunidad. Tiene una superficie total de 30 hectáreas contando con una longitud máxima de 1800 metros y una anchura máxima de 450 metros situada en dirección este-oeste. [7]

## **2. JUSTIFICACIÓN**

En este Trabajo de Fin de Grado se procede a desarrollar un estudio sobre las tecnologías capaces de electrificar la isla de Tabarca a partir de las energías renovables, es decir, de manera sostenible.

La situación de suministro eléctrico actual consiste en la dependencia en otro territorio. El método empleado es el transporte directo de la península sin contar con el impacto económico y medioambiental que tiene asociados. La isla de Tabarca, desde el punto de vista del desarrollo sostenible, tiene que adaptarse a una medida más comprometida con el medio ambiente y con la que pueda autoabastecerse eléctricamente.

Por todo esto, Tabarca podría encontrar y adaptarse a una nueva forma de crear energía autosuficientemente mediante los revolucionarios sistemas de energías renovables. Las islas también son el lugar idóneo para experimentar los desafíos de la energía, especialmente de la renovable: el de optimizar su suministro y su eficiencia. Esto se basa en los ejemplos que hay de islas sostenibles a nivel nacional y europeo. Algunos de ellos, se van a explicar en el apartado de “Antecedentes y estado actual”.

A continuación, se describen la justificación medioambiental, tecnológica, social y académica del trabajo.

### ***2.1 Justificación Medioambiental***

La urgencia de esta situación prevalece principalmente por la emergencia climática a la que la sociedad está destinada. Las medidas hay que tomarlas de inmediato y de manera agresiva para aminorar cuanto antes los factores del cambio climático. La forma de generar electricidad está muy ligada a este cambio teniendo gran repercusión. Por todo ello, un sistema de energías renovables para suministrar electricidad a la única isla habitada de la Comunidad Valenciana daría un gran ejemplo alrededor de toda España, y generaría una reflexión en los ciudadanos, a la vez que ayudaría a erradicar con el cambio climático.

### ***2.2 Justificación Tecnológica***

Las tecnologías para la obtención de electricidad, aprovechando las energías renovables, están en continuo desarrollo. Esta revolución tecnológica supone un choque cultural, social y económico al que hay que adaptarse. La implantación de estas tecnologías es necesaria para la continuidad de este desarrollo tecnológico que garantizará un futuro sostenible y un aprovechamiento mejor de las energías primarias renovables. Para el progreso de estas tecnologías se requiere motivación, financiación e implantación.

### ***2.3 Justificación Social***

La sociedad de Tabarca se ha visto perjudicada por la falta de ayudas que ha tenido durante toda su historia. Los ciudadanos tabarqueños han ido abandonando la isla a lo largo de los años en busca de mejores condiciones de vida en otros lugares y, la falta de implantación de

tecnologías para asegurar un suministro eléctrico fiable, ha podido ser un factor determinante. Según el Instituto Nacional de Estadística (INE), se registran los siguientes datos en cuanto a la población de Tabarca en los años anteriores como muestra la Figura 2. [8]

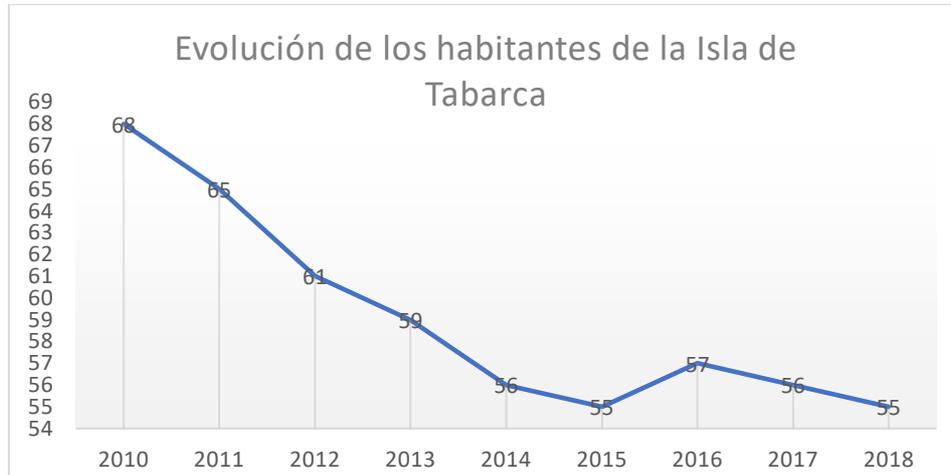


Figura 2. Evolución demográfica de Tabarca. (Fuente: elaboración propia).

Por otra parte, un cambio de esa envergadura sería un ejemplo para casos semejantes en Europa y en el mundo creando concienciación social, tecnológica y medio ambiental.

## 2.4 Justificación Académica

El motivo por el que se realiza este Trabajo de Fin de Grado (TFG) es la necesidad de alcanzar los 12 ECTS restantes necesarios para obtener el título en el Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales (GITI).

### 3. OBJETIVOS

El objetivo principal es proponer un proyecto para la isla de Tabarca en el que la electricidad sea un bien común, equitativo y suficiente para todos los ciudadanos. Se puede llevar a cabo dicho proyecto evaluando las distintas tecnologías de energías renovables y adaptándolas a las características de la isla para su bienestar tanto humano como climático.

Los objetivos a alcanzar son los siguientes:

- **Análisis del estado actual y antecedentes:** Estudio de los sistemas eléctricos instalados a lo largo de la historia en la isla de Tabarca, así como de las tecnologías de suministro eléctrico de otras islas pequeñas pertenecientes a la Unión Europea.
- **Recursos de la isla:** Evaluación de los recursos tanto naturales como artificiales que posee Tabarca, que favorecen o limitan la posibilidad de implantar nuevas tecnologías para el aprovechamiento de las energías renovables.
- **Estudio de necesidades:** Cálculo de la demanda eléctrica que hay en la isla para poder modelar las tecnologías en cuanto a las necesidades.
- **Posibles sistemas de energías renovables:** Visión global de los tipos de energías renovables que hay en la naturaleza de los cuales se puede obtener electricidad, así como las tecnologías que lo llevan a cabo.
- **Adaptación del sistema de energía renovable a la isla:** Propuesta de una tecnología sostenible que garantice el suministro eléctrico cumpliendo con la demanda, los recursos de la isla, y con sus propias posibilidades.
- **Presupuesto de la instalación:** Previsión del coste total de la instalación y de las tecnologías necesarias para la implantación de la propuesta realizada.
- **Viabilidad del proyecto:** Análisis de la inversión que supone el sistema para valorar su rentabilidad.



#### 4. ANTECEDENTES Y ESTADO ACTUAL

En esta sección se estudia cual es la situación energética actual de la Isla de Tabarca y cuál ha sido el desarrollo que ha tenido a lo largo de su historia.

En el año 1.986, en la isla de Tabarca se construyó una planta solar de paneles fotovoltaicos para el suministro eléctrico del faro de la isla de Tabarca. Estos paneles poseían una potencia pico nominal de 100 kW con una capacidad de almacenamiento de 0,53 MWh. También contaban con grupos electrógenos para completar las necesidades eléctricas de la población. Estas medidas suponían una insuficiencia eléctrica para la isla ya que no eran tan efectivas como se esperaba ni daban el rendimiento estimado. Tras tomar la decisión de implantar una nueva instalación eléctrica a la isla, la Universidad de Alicante acogió a la central solar de primera generación como objeto de estudio. [9]

Años más tarde, en 1.998, se instaló un cable submarino, junto a la instalación de agua dulce, para el suministro de electricidad desde la península. Este método reemplaza a la planta solar y a los grupos electrógenos cuyos rendimientos no abastecían toda la demanda de la población. [10]

Una vez estudiada la situación de Tabarca, se ha analizado el abastecimiento eléctrico de algunas islas de la Unión Europea con características similares. Éstas son: la isla de **Inishmaan, El Hierro, Samsø y Arousa**. Este estudio es necesario para contrastar las medidas implantadas y los modelos energéticos de islas de tamaños variables consideradas “pequeñas”. De esta forma, se puede visibilizar el desarrollo continuo al que estamos sometidos donde las energías renovables son las protagonistas.

La isla **Inishmaan** está situada en la costa oeste de la isla de Irlanda, Reino Unido, y forma parte de un archipiélago irlandés llamado islas Arán junto con Inishmore e Inisheer. Cuenta con 180 habitantes y un tamaño de 4 km de longitud y 2,5 km de anchura. En las islas irlandesas están promoviendo un cambio sostenible para hacer uso de la energía renovable y de esta manera crear su propia electricidad. Anteriormente, la isla Inishmaan tenía 3 aerogeneradores para suplementar la electricidad proveniente de la isla principal de Irlanda, pero años después fueron desinstalados. Actualmente, el 100% de la electricidad se proporciona desde la capital de Irlanda. [11]

La isla de **El Hierro** pertenece al archipiélago de las islas canarias situadas en España a la altura de la frontera entre el Sahara Occidental y Marruecos. Cuenta con una superficie de 268,71 km<sup>2</sup> con una población de 41 habitantes por kilómetro cuadrado. En la actualidad, la isla de El Hierro se puede considerar como 100% sostenible eléctricamente ya que se autoabastece con la energía renovable obtenida de una central eólica al norte de la isla. Aprovecha la energía eólica de 5 aerogeneradores y parte de esa energía obtenida, se almacena para cuando hay insuficiencia de viento. [12]

**Samsø** es una isla danesa situada en el mar del norte, a 15 km de la península de Jutlandia. Tiene una longitud de 28 km y una superficie de 112 km<sup>2</sup> donde coexisten 3 poblaciones de menos de 200 habitantes cada una además de áreas rurales. Desde 1.997, en esta isla poseen: aerogeneradores, calderas de biomasa, colectores solares y biodiesel. Estos sistemas de

obtención de electricidad mediante las energías renovables han convertido la isla en una de las pioneras en eficiencia energética y se considera 100% autosuficiente eléctricamente. [12]

La isla de **Arousa**, situada en la provincia de Pontevedra, cuenta con una superficie de 7 km<sup>2</sup> y 5.020 habitantes. Por parte de la UE se está promoviendo una transición para su independencia energética. Las primeras medidas que quieren llevar a cabo para reducir o eliminar los combustibles fósiles son: la sustitución de las calderas de gasóleo por las bombas de calor, cambio de la iluminación convencional por luces del tipo LED y el reemplazo de los barcos de gasolina por los eléctricos. Por último y más importante, se apostará por la generación eléctrica a partir de la energía eólica y de los sistemas fotovoltaicos. [13]

En cuanto a fuera de la Unión Europa, podemos ver pequeñas islas como Tuvalu (Polinesia), Vormisi (Estonia), Tokelau (Nueva Zelanda) y más, que poseen tecnologías de aprovechamiento de energías renovables como la solar fotovoltaica. [12]

En la Tabla 1, se encuentra la información resumida de este apartado indicando las características actuales de las islas analizadas.

	Tabarca	Inishmaan	El Hierro	Samso	Arousa
Superficie (Km <sup>2</sup> )	0,3	9	268,7	112	7
Habitantes	55	180	10.798	3.889	5.020
Tecnología	Transporte	Transporte	Aerogeneradores	Aerogeneradores, calderas de biomasa, colectores solares y biodiesel.	Transporte
¿Sostenible?	No	En proceso	Sí	Sí	En proceso

**Tabla 1.** Características de diferentes islas de la Unión Europea. (Fuente: elaboración propia).

## 5. DESCRIPCIÓN DE LA ISLA

En este apartado, se va a analizar las distintas características de la isla de Tabarca en cuanto a los siguientes ámbitos: **características generales, clima, fauna y flora, demografía e instalaciones.**

### 5.1 Características generales

La isla de Tabarca está situada en la Comunidad Valenciana frente a la ciudad de Alicante a 4,3 kilómetros del cabo de Santa Pola. Es la única isla habitada de toda la Comunidad Valenciana y cuenta con 55 habitantes que residen durante todo el año. El pueblo San Pedro y San Pablo se encuentra en la parte oeste de la isla, a poniente. Se registra como la isla más grande de toda la Comunidad teniendo de longitud 1.800 metros de este a oeste y de 450 metros de norte a sur, formando parte de un pequeño archipiélago junto con 3 islotes; La Cantera, La Galera y La Nao. [14]

Se le reconoce también por el nombre de Isla Plana debido a su relieve llano como se puede observar en la Figura 3. Su cota más alta se sitúa en unos 15 metros con acantilados de escasos metros de altura. Tiene una forma recortada de línea de costa contando con playas de cantos rodados en sus bases.

La isla está limitada por fracturas dirección NO-E y emergida parcialmente. Esta se encuentra en una falla con saltos variables y diaclasas, por lo que se puede hallar superficies estriadas y pulimentadas debido a la fricción entre dichos bloques.



Figura 3. Isla de Tabarca. (Fuente: [15]).

### 5.2 Clima

En cuanto al **clima**, se especifican las principales magnitudes que lo caracterizan. Éstas son: *la temperatura, la velocidad del viento, las precipitaciones y la radiación solar.*

En Tabarca se pueden identificar el clima mediterráneo, que se caracteriza por inviernos templados y veranos secos y calurosos, con otoños y primaveras variables, tanto en temperaturas como en precipitaciones [16].

La isla tiene una temperatura media por año de 20 °C, una precipitación media anual de 142 mm y una humedad aproximada del 66%. Los días sin llover por año rondan los 305 y tiene un índice UV medio de 5 [17]. El clima de la isla de Tabarca varía en función del mes en el que se encuentra, por lo que se procede a analizar su variación a lo largo del año en los siguientes subapartados.

### 5.2.1 Temperatura

La temperatura de la isla varía respecto al mes en el que se encuentra. Durante diciembre, enero y febrero, la isla sufre unas temperaturas máximas de 15 grados y mínimas de 8. Durante marzo, se presentan unas temperaturas de entre 16 y 10 °C. A partir de este mes, suben alcanzando unas máximas de 28 °C y mínimas de 23 sobre el mes de agosto y, a partir de septiembre, ya empiezan a disminuir paulatinamente. En la Tabla 2 se muestran las temperaturas medias diurnas y nocturnas por mes. [17]

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Día (°C)	14	14	16	18	21	25	28	28	26	22	17	15
Noche (°C)	8	8	10	12	15	19	22	23	20	17	12	9

Tabla 2. Temperaturas medias durante la noche y el día en los diferentes meses del año. (Fuente: elaboración propia)

### 5.2.2 Velocidad del viento

La velocidad del viento también varía con respecto al mes que se encuentra, pero no tanto como las temperaturas, sino que siempre se mantiene entorno a unos límites. Haciendo referencia a la escala de Beaufort, la isla se suele encontrar en fuerza 2 y 3 [16]. La velocidad media del viento es 5,8 m/s durante el día y de 4,7 m/s en la noche. En primavera-verano predominan el Levante y el Lebeche, y en otoño-invierno predominan los vientos del primer y cuarto cuadrante (Norte, Mistral y Poniente) [14]. En cuanto a la escala de Beaufort, se lee de la siguiente manera en la Tabla 3, siendo un nudo lo equivalente a 1,852 km/hora.

FUERZA	VELOCIDAD DEL VIENTO	DESCRIPCIÓN	SÍMBOLO	CONDICIÓN DE MAR	VELA DE CRUCERO
0	0 nudos	Cálma	○	Mar en calma, lisa como un espejo.	Barco a la deriva. Navegación a motor.
1	1 a 3 nudos	Ventolina	↘	Se riza la mar con pequeñas ondulaciones.	Barco a la deriva. Navegación a motor.
2	4 a 6 nudos	Flujo	↘↘	Olas pequeñas y cortas sin romper.	Mayor entera desplegada y génova 1.
3	7 a 10 nudos	Flujo	↘↘↘	Se forman pequeñas borregas dispersas.	Mayor entera desplegada y génova 1.
4	11 a 16 nudos	Bomacible	↘↘↘↘	Olas pequeñas con borregas frecuentes.	Reducimos el tamaño del génova.
5	17 a 21 nudos	Fresco	↘↘↘↘↘	Olas algo más largas con abundancia de borregas.	Primer rizo de la vela mayor.
6	22 a 27 nudos	Fresco	↘↘↘↘↘↘	Formación de olas más grandes y rompientes con crestas de espuma blanca.	Segundo rizo de la mayor y reducidos tamaño de la vela de proa.
7	28 a 33 nudos	Frescacho	↘↘↘↘↘↘↘	Mar gruesa con formación de espuma en la misma dirección del viento.	Mayor rizada al máximo. Foque pequeño.
8	34 a 40 nudos	Temporal	↘↘↘↘↘↘↘↘	Olas grandes, mar arbolada. De la parte superior de las crestas se desprenden rotines de vaporizadoras.	Mayor rizada al máximo. Tormentín de proa.
9	41 a 47 nudos	Temporal fuerte	↘↘↘↘↘↘↘↘↘	Olas muy grandes, poca visibilidad por las neblinas de espuma arrojadas por el viento.	Mayor de capa. Tormentín de proa.
10	48 a 55 nudos	Temporal duro	↘↘↘↘↘↘↘↘↘↘	Olas muy altas con grandes crestas. Superficie del mar totalmente blanca por la espuma. Muy mala visibilidad.	Condición de supervivencia.
11	56 a 63 nudos	Temporal muy duro	↘↘↘↘↘↘↘↘↘↘↘	Olas enormes con rompientes, la mar totalmente blanca por las neblinas de espuma blanca.	Tácticas de supervivencia.
12	Más de 64 nudos	Temporal huracanado	↘↘↘↘↘↘↘↘↘↘↘↘	Olas excepcionalmente enormes con rompientes. La mar está completamente blanca por la espuma. No hay visibilidad.	Tácticas de supervivencia.

Tabla 3. Escala Beaufort. (Fuente: [18]).

En la Figura 4, se representa la rosa de los vientos que indica la dirección y frecuencia del viento, mientras que en la Tabla 4, se especifica más detalladamente los valores de la rosa por sectores. Los sectores son 12, y cada uno corresponde a las direcciones que se comprenden cada 30° en la rosa de los vientos desde la dirección norte en sentido horario. Se procede a analizar los datos más significativos:

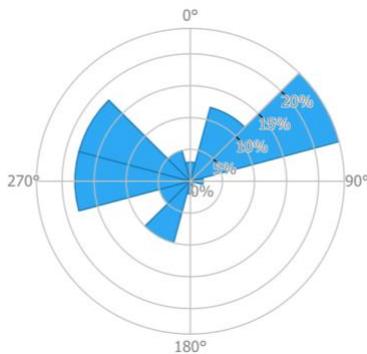


Figura 4. Rosa de los vientos. (Fuente: [19]).

Sectores	Frecuencia (%)	
1-2	5	10
3-4	19	7
5-6	4	4
7-8	6	9
9-10	7	13
11-12	12	5

Tabla 4. Frecuencia del viento por sectores. (Fuente: elaboración propia)

Como se puede observar, la mayor parte del tiempo, concretamente el 29%, el viento sopla hacia el noreste a un rango de entre 30° y 90° aproximadamente. Por otra parte, cuando sopla hacia los sectores 10 y 11, la frecuencia del viento se sitúa en un 25% y, cuando sopla hacia el norte, 0°, su frecuencia es de un 5% aproximadamente.

### 5.2.3 Precipitaciones

Las precipitaciones suelen ser de 142 mm de media anual, con un total de 60 días lluviosos al año aproximadamente, y unos 305 días secos. Las precipitaciones por día suelen ser como máximo 22 mm durante el mes de marzo y como mínimo de 4 mm en el mes de julio. Durante el resto de meses, las precipitaciones están en un rango de entre 7 y 18 mm aproximadamente. En términos generales las precipitaciones son escasas e irregulares sin superar los 300 mm por año en el mayor de los casos. En la Tabla 5 se resume la media de precipitaciones por mes de un año. [17]

Precipitaciones (mm)	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
	15	7	22	12	9	6	4	6	16	16	19	12

Tabla 5. Precipitaciones medias por mes de un año. (Fuente: Elaboración propia)

### 5.2.4 Radiación solar

Respecto a la radiación solar, según el atlas de radiación en España, la provincia de Alicante sufre una irradiación máxima en junio y julio de 7,73 kilovatios por metro cuadrado por día durante una media de 12 horas diarias de sol, y una mínima en los meses de invierno de 2,27 con 7 horas diarias de sol. En la Figura 5 se puede observar la irradiación global media en toda España durante junio, julio y agosto, y en la Figura 6, a la que está expuesta la provincia de Alicante durante los diferentes meses del año [20].

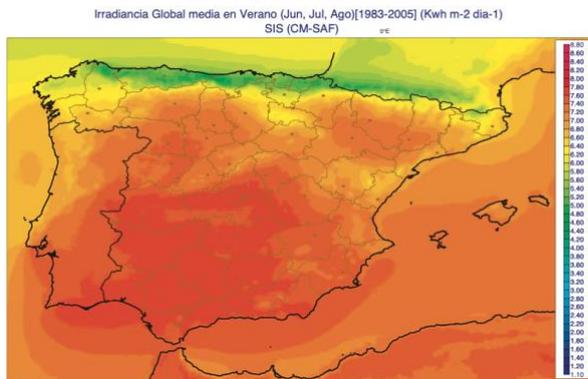


Figura 5. Irradiancia en España durante los meses de junio, julio y agosto. (Fuente: [21]).

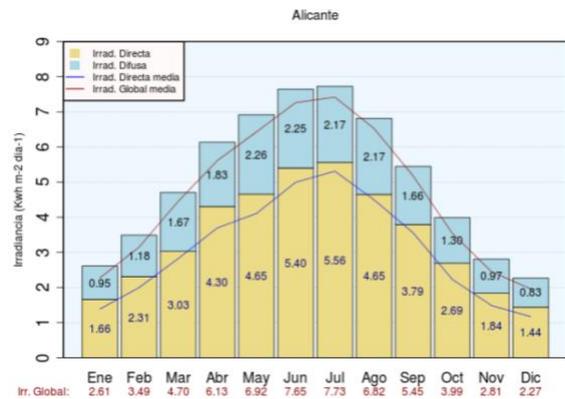


Figura 6. Irradiancia en la provincia de Alicante. (Fuente: [21]).

### 5.3 Fauna y flora

La fauna y flora de la isla de Tabarca se ve comprometida debido a los siguientes motivos expuestos por el departamento de medio ambiente del ayuntamiento de Alicante.

La escasa superficie de Tabarca, las extremas condiciones climáticas y el hecho de ser una isla, afectan directamente a la simplificación de ecosistemas terrestres. Las comunidades de animales son pequeñas debido a los escasos recursos de la isla. Respecto a la vegetación, se ha visto muy comprometida debido a la presencia humana, pero se va recuperando hacia las zonas de cultivo.

La isla de Tabarca tiene una *reserva marina* en lo que concierne a sus aguas circundantes. Fue declarada en 1.986 debido a la repercusión que tenía el fondeo de los barcos de recreo y la contaminación acústica que producían las motos de agua. Ocupa una superficie rectangular de 1400 Ha ya que comprende aguas interiores y exteriores. Esta reserva marina destaca por la abundancia de especies indicadoras de aguas limpias y de carácter tropical como es la Posidonia. La fauna se basa principalmente en el mero, el dot, el cherne, el gitano, el dentón, la dorada y el pargo. Además, los moluscos también tienen gran importancia, así como los erizos, las estrellas de mar, cangrejos, caracolas y esponjas. La tortuga boba también es una especie protagonista en este medio marino. [14]

### 5.4 Demografía

Tabarca tiene una **demografía** variable durante todo el año. Cuenta con una cantidad de 55 habitantes residentes según el registro del 2018 [14], pero a lo largo del año, sobre todo en los meses de verano, los visitantes aumentan.

En la isla de Tabarca se denuncia la masiva cantidad de turistas que pisan la isla. Según los cálculos de la Subdelegación del Gobierno, tiene una media de 230.000 turistas al año, siendo 150.000 de estos entre el 15 de julio y el 15 de septiembre, lo que significa unos 2.500 turistas diarios en verano (según los datos de 2017). Es por ello por lo que se declara la isla en peligro de sobreexplotación estival. El transporte de los abundantes turistas afecta

negativamente a la isla, ya que el barco es el único medio de transporte y este repercute al medio marino que tanto caracteriza a la isla [22].

### 5.5 Instalaciones

La isla, pese a su pequeño tamaño, cuenta con gran variedad de **instalaciones** para facilitar la vida a sus habitantes. A continuación, se han descrito las más significativas.

**La estación de depuración de aguas residuales (EDAR)** tiene un caudal de proyecto de 75 metros cúbicos por día dando un pretratamiento de tamizado y un tratamiento secundario de fangos activados. En la Figura 7 se muestra una imagen de esta depuradora. [23]



Figura 7. EDAR de Tabarca. (Fuente: [23])

**Los hogares.** Dado que no se han obtenido datos reales del número de hogares en Tabarca, se ha estimado una cantidad de 222 a través de una investigación propia realizada en la isla.

**Los hoteles:** El sector hotelero está muy demandado durante la temporada alta de turismo. No se dispone de información pública del servicio de la isla, por tanto, para estimar los datos se ha tenido que recurrir a una investigación propia. Se ha contactado con responsables de instalaciones hoteleras, y, según los datos ofrecidos, la isla cuenta con 8 hoteles de pequeño tamaño con menos de 50 habitaciones cada uno con una superficie media por hotel de 500 m<sup>2</sup>, de los cuales solo 3 están activos en temporada baja.

**Los restaurantes:** La restauración, junto con el sector hotelero, varía también bastante con el mes del año en el que se encuentra. En el caso de los restaurantes tampoco se dispone de información pública. Así pues, según los datos de la investigación propia, la isla cuenta con 20 restaurantes con una media de 11 empleados en temporada estival y 4 en temporadas frías. Cabe destacar que solamente 5 de ellos se encuentran operativos en temporada baja.

**El faro:** Esta instalación es un edificio que está en funcionamiento durante todos los meses y días del año. Su función es señalar a las embarcaciones con el objetivo de que tengan la referencia de su posicionamiento, ya que estas señales cambian dependiendo de cada faro. Se representa en la Figura 8. [24]



*Figura 8. Faro de Tabarca. (Fuente: [24]).*

**La iglesia:** La isla cuenta con una iglesia, la iglesia de San Pedro y San Pablo (Figura 9), la cual existe desde 1770 y fue publicada en 1964 como Bien de Interés Cultural. [25]



*Figura 9. Iglesia San Pedro y San Pablo, Tabarca. (Fuente: [25]).*

**El museo:** Tabarca, al ser declarada conjunto histórico artístico en 1964, cuenta con un museo que expone los aspectos patrimoniales que conserva. La geografía, geología, biodiversidad, el patrimonio etnográfico y la historia de la misma, son los factores que hacen de la isla, un lugar didáctico. [26]

**Cementerio:** Al este de la isla, junto a la Punta de Falcón, se encuentra el cementerio de Tabarca. Fue construido en 1912 y constituye una de las instalaciones características de esta isla, como se ilustra en la Figura 10. [27]



*Figura 10. Cementerio de Tabarca. (Fuente: [15]).*

**El puerto La Caleta** es la instalación que conecta la isla con el exterior. Este es pequeño pero suficiente para las necesidades de la isla (Figura 11). [28]



*Figura 11. Puerto La Caleta, Tabarca. (Fuente: [28]).*



## 6. ESTUDIO DE NECESIDADES

En el presente apartado se van a analizar las necesidades actuales de la isla a partir de la información del apartado “Descripción de la isla”. En este estudio se van a diferenciar dos tipos de necesidades; la medioambiental y la social, las cuales están relacionadas entre sí por lo que se explica a continuación.

Como se vislumbra por las acciones y esfuerzos llevados por los gobiernos y organizaciones, el medio ambiente se está viendo comprometido por diversos factores y requiere una solución eficaz. El turismo de la isla de Tabarca, como se ha estudiado en el apartado anterior, ha repercutido gravemente sobre el medio ambiente debido al traslado de visitantes por vía marítima, la falta de cuidado con la basura y el reciclaje, y el excesivo uso de agua y electricidad, entre otras cosas. Por otra parte, los medios de suministro de electricidad para la isla que se implementaron años atrás no han favorecido la obtención de electricidad por medios sostenibles.

En consecuencia, debido a la propuesta de la Agenda de 2030 junto con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, se requiere un cambio que tenga gran impacto para erradicar el deterioro ambiental. La propuesta que se considera en este Trabajo de Fin de Grado, es la utilización de las propias energías renovables de la isla para la obtención de electricidad.

Por otra parte, la sociedad de Tabarca es la máxima afectada por este cambio climático que se está dando en la isla, así como por la insuficiencia eléctrica que han sufrido a lo largo del tiempo, empezando con la ineficacia de los grupos electrógenos hasta las placas solares.

Por todo ello, se procede a evaluar cuál es la demanda de la isla de Tabarca para poder estudiar cuales serían los métodos más adecuados para la obtención de electricidad en la misma isla.

Los cálculos a realizar suponen una estimación del consumo eléctrico de cada tipo de instalación ya que no se disponen de los datos exactos de la isla de Tabarca. Este estudio tiene en cuenta tanto la iluminación, como la electricidad necesaria para otro tipo de bienes como calefacción, electrodomésticos, etc.

A continuación, se va a realizar una estimación de cada una de las instalaciones de la isla. Estas estimaciones se han realizado a partir de estudios de campo, de entrevistas con el personal encargado de ellas en la isla y de investigaciones online.

**Estación de depuración de aguas residuales (EDAR):** La EDAR que pertenece a la isla tiene una potencia total instalada de 6kW. Se supone que esta instalación está en funcionamiento todo el día, por lo que trabaja 24 horas diarias durante todo el año. En ese caso, el consumo eléctrico es de 144 kWh/día y, por lo tanto, el consumo eléctrico mensual de la EDAR será de **4,5 MWh/mes.** [23]

**Hogares:** En el consumo del sector residencial de España, publicado por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), consta que un hogar en España tiene un consumo eléctrico de 3.487 kWh/año, por lo que proporcionalmente, consume 290,583

kWh/mes. Por otra parte, según datos obtenidos de campo, se estima que el número total de hogares de Tabarca es de 222. En el caso de temporada estival (temporada alta), se supone que el total de las viviendas de la isla están en funcionamiento, mientras que, en temporada baja, se estima que solo se encuentran en funcionamiento 50 casas. En la Tabla 6, se indica cómo se distribuyen los consumos dependiendo de la estación del año. [29]

	En temporada alta	En temporada baja
Número de hogares en funcionamiento	222	50
Consumo eléctrico medio por hogar (kWh/mes)	290,583	290,583
<b>Consumo eléctrico mensual total (MWh/mes)</b>	<b>64,509</b>	<b>14,529</b>

**Tabla 6.** Consumo eléctrico desglosado del sector residencial. (Fuente: elaboración propia).

**Hoteles:** Desde el Ministerio para la Transición ecológica, se ha publicado dentro del Plan de Ahorro y Eficiencia Energética una guía en establecimientos hoteleros de la Comunidad Valenciana donde se indica que para hoteles pequeños (menos de 50 habitaciones) y de una relación de eficacia pobre, el consumo de electricidad es de una media de 90 kWh/m<sup>2</sup>·año, que es lo mismo que 7,5 kWh/m<sup>2</sup>·mes. Según la estimación realizada, y los datos obtenidos de campo, se contemplan 8 hoteles con una media de 500 m<sup>2</sup> cada uno en toda la isla de Tabarca. Estos 8 hoteles solo se encuentran abiertos en temporada alta, mientras que en temporada baja, solo 3. En la Tabla 7 se especifican los datos de consumo conforme a la información expuesta. [30]

	En temporada alta	En temporada baja
Hoteles abiertos	8	3
Número medio de superficie por hotel (m <sup>2</sup> )	500	500
Superficie total (m <sup>2</sup> )	4000	1500
Consumo eléctrico mensual por m <sup>2</sup> (kWh/m <sup>2</sup> ·mes)	7,5	7,5
<b>Consumo eléctrico mensual total (MWh/mes)</b>	<b>30</b>	<b>11,25</b>

**Tabla 7.** Consumo eléctrico desglosado del sector hotelero. (Fuente: elaboración propia).

**Faro:** Respecto al faro histórico de Tabarca, no se han encontrado datos exactos sobre el consumo eléctrico, por ello se ha hecho un estudio con el consumo de sus elementos como es la lámpara que utiliza. Suponiendo que es led del tipo MLL 100, diseñada por la empresa Mediterráneo Señales Marítimas (MSM), tiene una potencia instalada de 150W. Si funciona durante 12 horas aproximadamente cada día, y los 365 días del año, su consumo eléctrico mensual es de **55,800 kWh/mes**. [31]

**Restaurantes:** Desde el informe sintético de indicadores de eficiencia energética en España de 2017 del IDAE, el consumo eléctrico anual por empleado en la restauración y hostelería es de 459,54 kWh, por lo que el consumo mensual es de 38,295 kWh/emp. Según los datos

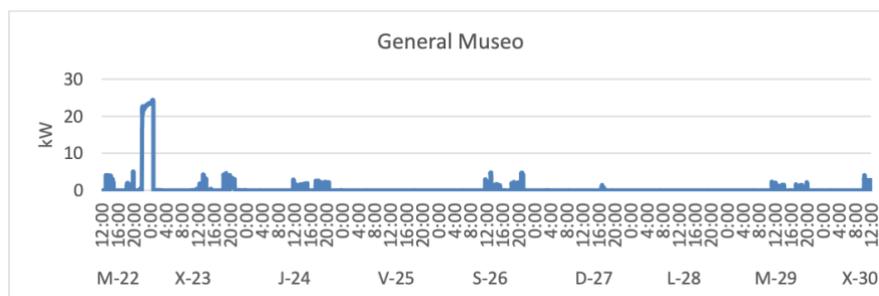
de campo obtenidos, en la isla de Tabarca hay 20 restaurantes con 11 empleados en temporada alta (junio, julio y agosto) y 5 restaurantes abiertos con 4 empleados en temporada baja. En la Tabla 8 se especifica el consumo desglosado por cada temporada. [32]

	En temporada alta	En temporada baja
Restaurantes abiertos	20	5
Número medio de empleados por restaurante	11	4
Número de empleados total	220	20
Total del consumo eléctrico mensual por empleado (kWh/emp·mes)	38,295	38,295
<b>Consumo eléctrico mensual total (MWh/mes)</b>	<b>8,425</b>	<b>0,7659</b>

**Tabla 8.** Consumo eléctrico desglosado del sector de restauración. (Fuente: elaboración propia).

**Iglesia:** No se han obtenido datos específicos de la iglesia de San Pedro y San Pablo, pero se ha hecho una comparativa del consumo de una iglesia semejante. Se trata de la iglesia de Nuestra Señora de la Esperanza, en Pirineos, que tiene un gasto eléctrico similar con una potencia instalada de 600W [33]. Así pues, considerando que se necesita únicamente electricidad durante dos horas al día, su consumo sería de 1,2 kWh/día. En total, el consumo eléctrico mensual es de **37,2 kWh/mes**.

**Museo:** No se dispone de datos relativos a esta instalación. Se ha realizado una búsqueda de información para encontrar datos de consumo de museos con características similares. El museo de Los Baños (Murcia) tiene un tamaño aproximado al de Nueva Tabarca, y por lo tanto, un consumo parecido. En la Figura 12 se muestra la potencia instalada del museo de Murcia en una semana tipo [34].



**Figura 12.** Consumo eléctrico del museo arqueológico Los Baños. (Fuente: [34]).

A partir de la Figura 12 se puede observar que, durante una semana, el museo está en funcionamiento durante aproximadamente 44 horas. Solamente 3 de ellas se invierten en el proceso de mantenimiento, el cual requiere una potencia de 22 kW, mientras que las 41 horas restantes requieren 5kW cada una para el funcionamiento habitual del museo. En total, el consumo es de 271 kWh/semana, y el consumo eléctrico mensual será de **1,084 MWh/mes**.

**Alumbrado vial:** La isla de Tabarca cuenta con aproximadamente 51 farolas que proporcionan la luz a la isla. Se supone que son lámparas son de vapor de sodio a alta presión y estándares ovoides. En ese caso, La Guía Técnica de Eficiencia Energética de Iluminación publicada por la IDAE, contempla que tiene una potencia de 250 W cada una, por lo que su consumo eléctrico mensual será de **4,743 MWh/mes** contando con que están en funcionamiento 12 horas y 365 días al año. [35]

Finalmente, en la Tabla 9, se resumen los datos de consumo eléctrico de la isla de Tabarca desglosados en temporada alta (junio, julio, agosto y septiembre), en temporada baja (septiembre, octubre, noviembre, diciembre, enero, febrero, marzo, abril y mayo). En función de cada temporada, el consumo varía notablemente debido al turismo, por lo que se tiene en consideración al realizar los cálculos.

	Consumo eléctrico mensual en temporada alta (MWh/mes)	Consumo eléctrico mensual en temporada baja (MWh/mes)
EDAR	4,5	4,5
Hogares	64,509	14,529
Hoteles	30	11,25
Faro	0,0558	0,0558
Restaurantes	8,425	0,7659
Iglesia	0,0372	0,0372
Museo	1,084	1,084
Alumbrado vial	4,743	4,743
TOTAL	113,354	36,96
<b>TOTAL, con coeficiente de error del 5%.</b>	<b>119,02</b>	<b>38,8</b>

*Tabla 9. Consumo eléctrico desglosado total. (Fuente: elaboración propia).*

En conclusión, se calcula un consumo mensual durante todo el año de 119,02 MWh/mes correspondiendo este a un mes en temporada alta. Esto es porque se requiere suplir con toda la demanda eléctrica durante esos meses críticos. En total, el consumo eléctrico anual a modelar será de **1.428,24 MWh/año**.

## 7. ALTERNATIVAS DE TECNOLOGÍAS DE ENERGÍA RENOVABLE

Este apartado del estudio se basa en explicar las diversas opciones de tecnologías que existen actualmente aprovechando la energía renovable. Estas se evalúan de forma individual identificando su capacidad de generación eléctrica junto a las condiciones climáticas que requieren. Al realizar dicho estudio, se estima o desestima cada sistema de energía primaria como solución al problema de la obtención de electricidad en la isla de Tabarca de una manera sostenible, eficiente y comprometidos con el medio ambiente.

En la propuesta de alternativas de tecnologías de generación eléctrica, se va a tener en cuenta que la isla de Tabarca tiene escasa superficie, y unas condiciones climáticas específicas. Por lo que se va a desechar las opciones de gran aplicación y que no se adapten a su clima, resultando así en medidas factibles para el territorio en cuestión.

El viento y el sol son el tipo de energías que principalmente se suele aprovechar para la obtención de electricidad dentro de las energías renovables. Suelen ser utilizadas para el abastecimiento eléctrico doméstico de pequeñas localidades y de difícil acceso. Esto es así ya que existen diferentes alternativas adaptables a estas condiciones, aunque también hacen un papel importante en localidades grandes. No obstante, también existen otros tipos de energías como energía hidráulica, biomasa, energía mareomotriz y la geotérmica, que se procede a analizarlas de la misma forma.

Cada tecnología difiere dependiendo del tipo de energías primarias. Las podemos dividir en:

### 7.1 Energía solar

La energía solar es una energía no convencional ya que no está desarrollada lo suficiente para el aprovechamiento total de los rayos solares. En las tecnologías de energía solar, la radiación es captada por los materiales de los colectores para su amortización. Las ventajas que tiene esta energía es la accesibilidad, el coste de combustible cero, y que es un recurso inagotable.

La energía solar tiene diferentes aplicaciones como: obtención de agua caliente y precalentamiento de las aguas de procesos industriales, calefacción, refrigeración, climatización de piscinas, producción de electricidad e iluminación solar. Así pues, las tecnologías se pueden diferenciar en dos vertientes basándose en la referencia [36].

#### 7.1.1 Térmica

Hay distintas aplicaciones de la energía solar para el aprovechamiento térmico. Entre ellas están las *térmicas de concentración* utilizadas para crear electricidad a partir de media y alta temperatura, y las *térmicas de baja temperatura* para generar calor.

· ***Térmica de concentración:***

Este tipo de energía se caracteriza por concentrar el calor de los rayos del sol en un punto para crear vapor y así accionar una turbina que, mediante su movimiento, produce electricidad. Cuando hay falta de radiación solar, existe la posibilidad de almacenar el calor para poder accionar constantemente la turbina. Las diferentes tecnologías son:

⇒ *Centrales de discos parabólicos:* El disco parabólico consiste en una superficie reflectora con forma parabólica que concentra en su foco la radiación solar que ha captado mediante una rotación en dos ejes. El fluido situado en el foco se calienta, llegando a alcanzar unas temperaturas de entre 600 y 1000 grados centígrados. Un motor Stirling transforma la energía térmica de dicho fluido en energía mecánica moviendo el pistón dentro del motor, y, seguidamente, un alternador transforma dicha energía mecánica en eléctrica. Un ejemplo de este mecanismo se puede observar en la Figura 13.

Las ventajas de los discos parabólicos son:

- ✓ Tiene un rendimiento de un 30%. Para los sistemas térmicos de concentración, supone una gran eficacia.
- ✓ Las centrales de discos parabólicos son modulares, es decir, se pueden diseñar en cuanto a número de discos conforme a las necesidades.
- ✓ No hay emisiones de vapores contaminantes.



Figura 13. Central de discos parabólicos. (Fuente: [37]).

Dentro de las tecnologías existentes de energía solar térmica de concentración, también existen *las centrales de canales cilindro-parabólicos, las centrales de receptor central o de torre y las centrales de concentradores lineales de Fresnel*. Estas tecnologías están fuera de la aplicación posible en la isla de Tabarca por el espacio que requieren y porque son aplicaciones para una producción de electricidad mayor. Luego, no se van a estudiar en este trabajo.

· ***Térmicas de baja y media temperatura:***

Dentro de la energía solar de bajas y medias temperaturas, las tecnologías de *colector plano* y *tubos de vacío* son aplicaciones que se utilizan principalmente para el calentamiento del agua. Se aprovecha de la misma manera la radiación solar, pero no tienen un objetivo de obtener electricidad en sus métodos. No obstante, se va a analizar posteriormente, los colectores de radiación solar que obtienen electricidad dentro de la energía fotovoltaica.

### **7.1.2 Fotovoltaica**

La generación de electricidad a través de módulos fotovoltaicos se basa en la reacción química producida por la incidencia de la radiación solar en las distintas células fotovoltaicas, lo cual produce una liberación de electrones. En ese momento se produce el fenómeno fotoeléctrico que genera una corriente eléctrica continua proporcional a la intensidad superficial que incide sobre la célula de la radiación solar. A continuación, en la Figura 14 se representa un ejemplo de módulos fotovoltaicos.



*Figura 14. Módulos fotovoltaicos. (Fuente: [38]).*

Los módulos fotovoltaicos se conocen también por su capacidad de adaptarse a distintas circunstancias de autoconsumo como son los sistemas aislados, o la conexión a red. Estos módulos, junto con inversores y sistemas de acumulación de energía producida (baterías de acumulación), pueden suministrar energía durante todas las horas del día, y no solo cuando hace sol.

De esta manera, sus ventajas principales obtenidas de la referencia [39] son:

- ✓ Proveer electricidad durante las 24 horas del día.
- ✓ Se puede adaptar a las necesidades ya que es modular.
- ✓ Supone un gran ahorro económico.
- ✓ Fácilmente adaptable e instalable en distintas ubicaciones.
- ✓ Impacto acústico nulo.
- ✓ Posible adaptación en sistemas híbridos.

Numerosas islas se abastecen eléctricamente mediante placas fotovoltaicas como en Tenerife (Islas Canarias), Samsø (Dinamarca) o Rodas (Grecia) como se muestran en las Figuras 15 y 16 respectivamente. [40]



Figura 15. Isla de Tenerife. Sistema de energía fotovoltaica. (Fuente: [40]).



Figura 16. Isla de Samso. Sistema de energía fotovoltaica. (Fuente: [40]).

En conclusión, dentro de la **energía solar**, la tecnología que más se adapta a las características de la isla, la capacidad de producción y eficiencia, son los módulos fotovoltaicos. Esto es debido a que la isla está en una ubicación donde la radiación solar es alta y constante, es un territorio con poca superficie, con difícil implantación de tecnologías complejas, y su demanda eléctrica varía mucho conforme al mes requiriéndose así, una tecnología más eficiente.

## 7.2 Energía eólica

La energía eólica es aquella que se obtiene aprovechando la velocidad del viento, es decir, la energía cinética de las masas de aire en movimiento, también llamadas corrientes de aire. Esta energía primaria se puede convertir en electricidad mediante diversas tecnologías que se han ido desarrollando a lo largo de la historia. Actualmente, es una de las energías más utilizadas en el mundo ya que es un modelo energético limpio y sostenible.

Para obtener energía eléctrica a partir de la energía eólica, son necesarios los aerogeneradores. Estos aprovechan la energía cinética del viento para convertirla en energía mecánica mediante sus hélices, y a su vez, mediante un alternador, en energía eléctrica. Esta tecnología se puede diferenciar en dos tipos que se exponen en la referencia [41].

### 7.2.1 Aerogeneradores de eje vertical (VAWT)

Se caracterizan por que las palas de aerogenerador giran en torno al eje vertical. Son aquellos que representan la minoría de aerogeneradores instalados en total (aproximadamente un 1%). Esto es así porque el rendimiento que se obtiene en este tipo de aerogeneradores es cerca de la mitad de los de eje horizontal. Se diferencian dos tipos de aerogeneradores:

- ⇒ *Aerogeneradores tipo Savonius*: Es el modelo más simple de aerogenerador. También se le llama aerogenerador de resistencia ya que el par motor sobre el eje se genera por la fricción de las palas con el viento.

Las características principales de este tipo son:

- ✓ Utilizable dentro de un rango limitado de intensidad de viento.
- ✓ Es lento.
- ✓ Es poco ruidoso.
- ✓ Necesita operadores externos para el paro del aerogenerador.
- ✓ Necesita vigilancia para el control de eficacia.
- ✓ Instalación complicada: estructura muy robusta y dispositivos adicionales para el paro del aerogenerador.

En resumen, es un aerogenerador de poca eficacia y solamente aplicable en lugares donde no hay excesivo viento. La Figura 17 representa un ejemplo de esta tecnología.



Figura 17. Aerogenerador Savonius. (Fuente: [41]).

⇒ *Aerogeneradores Darrieus*: Este tipo de aerogeneradores son parecidos a los Savonius, pero se diferencian en que son para aplicaciones de gran potencia, por lo que no es aplicable a la isla de Tabarca.

### 7.2.2 *Aerogeneradores de eje horizontal (HAWT)*

Son aquellos que se caracterizan principalmente porque sus palas giran perpendicularmente a la dirección del viento. Se pueden clasificar por el tamaño y la potencia que son capaces de generar. Existen *los aerogeneradores de pequeña potencia, los aerogeneradores de tamaño medio y los aerogeneradores de gran tamaño*.

Debido a la aplicación de Tabarca, esta se considera una isla pequeña con, relativamente, poca demanda eléctrica. Por ello, las aplicaciones de *aerogeneradores de medio y gran tamaño* se salen de las posibilidades.

El *aerogenerador de pequeña potencia* (Figura 18) supone una tecnología adecuada para el suministro eléctrico de la isla de Tabarca. Este aerogenerador se caracteriza por tener unas ventajas [42] que le diferencian de las grandes aplicaciones de aerogeneradores, y son las siguientes:

- ✓ Se puede generar electricidad muy cerca de los puntos de consumo, por lo que reduce las pérdidas de transporte.
- ✓ Tiene una gran variedad de aplicación en distintas ubicaciones con posibilidad de sistemas híbridos.
- ✓ Es una tecnología accesible a los usuarios que la aprovechan, teniendo una gran facilidad de transporte de equipamientos.
- ✓ Tiene gran eficacia con vientos moderados.
- ✓ Se puede aprovechar en territorios pequeños o con orografías complicadas.
- ✓ Suministro eléctrico en lugares aislados, sin necesidad de estar conectado a la red.
- ✓ Se pueden aprovechar las instalaciones ya existentes de distribución eléctrica.
- ✓ Bajo impacto medioambiental, con poco impacto visual.
- ✓ Coste bajo en mantenimiento y operación.



Figura 18. Aerogeneradores horizontales de pequeña potencia. (Fuente: [51])

En conclusión, las dos posibilidades de tecnologías dentro de la **energía eólica** son los *aerogeneradores Savonius* y los *aerogeneradores de eje horizontal de pequeña potencia* en cuanto a la demanda eléctrica y la intensidad de viento de la isla de Tabarca. Como previamente se ha expuesto en las características del *aerogenerador Savonius*, la eficacia suele ser la mitad de los aerogeneradores de eje horizontal, se requiere de elevado mantenimiento y la necesidad de una instalación complicada, conlleva a que la tecnología más adecuada sea el *aerogenerador de eje horizontal de pequeña potencia*.

### 7.3 Energía hidráulica

La energía hidráulica es otro tipo de energía renovable donde se puede generar electricidad a partir del movimiento del agua. Se aprovecha cuando hay una diferencia de potencial en un canal de agua, así como cuando ésta tiene energía cinética. Cuando este fluido se pone en movimiento, hace accionar una turbina hidráulica convirtiendo el mismo en energía mecánica. Mediante un generador, la energía mecánica se convierte finalmente en energía eléctrica. Este tipo de energía renovable es actualmente de las más importantes y tiene una gran efectividad.

Para realizar todo este proceso, se requiere un río natural con desniveles notables. En el caso de pequeñas aplicaciones, existen las llamadas minicentrales hidroeléctricas (Figura 19) que

pueden ser *centrales de agua fluyente, centrales de pie de presa y centrales hidroeléctricas en canal de riego*. [43]

La isla de Tabarca no cuenta con ningún río, y si fuera el caso, la altura máxima en todo el territorio es de 15 metros, por lo que no habría posibilidad de generar electricidad. Por lo tanto, se desestima la posibilidad de utilización de *energía hidráulica* en este estudio.

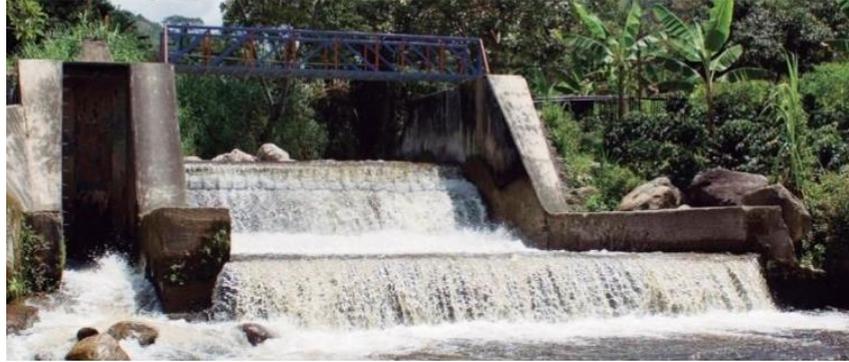


Figura 19. Minicentral hidroeléctrica. (Fuente: [44])

## 7.4 Biomasa

La biomasa es un método de obtener energía final mediante la combustión de materias orgánicas. Se aprovechan los restos de plantas, animales, árboles, algas, así como residuos generados como pueden ser lodos de depuradora, residuos sólidos urbanos, paja, serrín, etc. [45]. Este método tiene grandes ventajas [46] principalmente por ser una fuente renovable, pero también por lo siguiente:

- ✓ Vela por la limpieza de los bosques.
- ✓ Tiene un coste muy bajo.
- ✓ Se pueden emplear muchos tipos de combustibles en una misma instalación.
- ✓ Es una tecnología muy avanzada por sus excelentes resultados.

La biomasa se puede aprovechar tanto para crear energía térmica como eléctrica. En este caso, se va a estudiar el proceso de la obtención de energía eléctrica.

Dicho proceso consiste en realizar la combustión con estos materiales para calentar el agua de un circuito que se encuentra en las paredes de la caldera en la que se produce la combustión. Esta agua cambia de fase pasando a vapor, y alimenta una turbina que, conectada a un generador, produce electricidad. [45]

El inconveniente de este proceso es que, para asegurar la rentabilidad de la inversión hecha, se realiza la combustión en grandes cantidades, por lo que no es conveniente adaptarlo a pequeñas demandas. En ese caso, la isla de Tabarca no podría hacer frente a una demanda de combustible de tal tamaño para generar la cantidad suficiente de energía que permita su autoabastecimiento. Por todo ello, la *biomasa* es una fuente de energía muy eficiente pero no es de aplicación en nuestro estudio. En la Figura 20, se expone un ejemplo de un central de biomasa media en Mérida, la cual tiene un tamaño y requiere una cantidad de combustible que es insostenible para Tabarca.



Figura 20. Central de biomasa en Mérida. (Fuente: [47]).

### 7.5 Energía mareomotriz

La energía mareomotriz es aquella que se consigue a partir del beneficio de las mareas. Destaca por las ventajas que presentan sus aplicaciones. Esta información se ha obtenido de la referencia [48].

- ✓ Son duraderas.
- ✓ Suponen un bajo coste.
- ✓ Se obtiene electricidad muy fiable.
- ✓ Tienen bajo coste de mantenimiento.
- ✓ Es un método muy limpio.

Existen diversos tipos de centrales mareomotrices, y cada una de ellas, tiene un proceso diferente. Los casos más habituales son:

- ⇒ *Presas de marea:* Se obtiene electricidad gracias al pleamar y a la baja mar. En situaciones de marea alta, unas compuertas se abren dando paso al agua, para que posteriormente, cuando baja la marea, se quede retenida. En ese momento, la energía cinética que tiene el agua retenida cuando se adapta a la marea baja, hace accionar una turbina, que, junto con un generador, crea electricidad. Un ejemplo de esta aplicación se expone en la Figura 21.



Figura 21. Presas de marea. (Fuente: [49]).

- ⇒ Se instalan *generadores de corriente de marea*, que aprovechan los movimientos del agua para generar electricidad con hélices, de una manera parecida a la energía eólica, pero debajo del mar, así como indica la Figura 22.

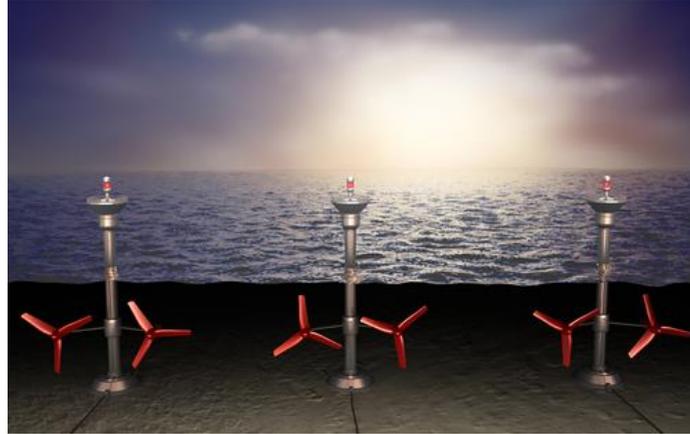


Figura 22. Generadores de corriente de marea. (Fuente: [48])

- ⇒ *La energía maremotriz dinámica* combina las dos posibilidades anteriores. Aprovechan tanto la energía cinética de las corrientes, como la potencial de las diferencias de altura entre las mareas.

En el caso de Tabarca, la reserva marítima limita mucho las actuaciones que repercuten al mar de sus alrededores. Por otra parte, las aplicaciones de *la energía maremotriz*, son de gran repercusión tanto en la cantidad de electricidad obtenida como en la instalación que requieren. Por ello, *la presa de marea, los generadores de corriente de marea y la energía maremotriz dinámica*, quedan desestimadas.

## 7.6 Energía geotérmica

La energía geotérmica es aquella que aprovecha la diferencia de temperatura entre el interior de la tierra y la superficie, por lo tanto, su aplicación depende de la ubicación en la que se quiere instalar. Esta fuente de energía se puede utilizar tanto para la producción de agua caliente como para generar electricidad. En el caso de la generación de electricidad, las instalaciones más habituales son: *las plantas de vapor seco, las plantas de evaporación súbita o flash y las plantas de ciclo binario*, que mediante el flujo de calor que se obtiene directamente de la naturaleza, se calienta agua que pasa a vapor y alimenta a una turbina acoplada con un generador. [50]

La energía geotérmica se diferencia por las siguientes ventajas:

- ✓ No hay contaminación acústica.
- ✓ Supone una amortización rápida.
- ✓ Tiene bajo coste de mantenimiento.
- ✓ Tiene una vida útil de 50 años.
- ✓ Está disponible 24 horas, los 365 días al año.

Tabarca, no se caracteriza por tener una actividad tectónica muy abundante, por lo que el aprovechamiento de esta fuente primaria no sería de aplicación en el caso del estudio. Por ello, se desestima la posibilidad de implantación de *plantas de vapor seco*, *plantas de evaporación súbita o flash* y *plantas de ciclo binario*, características de la **energía geotérmica**.

Para concluir con este apartado, se reafirma que las tecnologías más adecuadas para el autoabastecimiento eléctrico de la isla de Tabarca mediante **energías renovables** son *las placas fotovoltaicas* y *los aerogeneradores de eje horizontal de baja potencia*. Esto es debido a que se adaptan perfectamente a las características de la isla, pues el clima ofrece tanto elevada radiación solar como notable velocidad del viento. No solo eso, sino que las presentes tecnologías son las más desarrolladas para satisfacer necesidades en lugares aislados como son las islas por las facilidades que presentan a la hora de instalación y mantenimiento. Finalmente, presentan rendimientos considerables, capaces de satisfacer toda la demanda expuesta en el apartado de “Estudio de necesidades”.

Haciendo referencia al apartado de “Antecedentes y estado actual” se puede ver como en la mayoría de islas sostenibles se han implantado este tipo de tecnologías.

## 8. ADAPTACIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS A LA ISLA DE TABARCA

En este apartado, se va a desarrollar una instalación híbrida donde los aerogeneradores horizontales de baja potencia y los paneles fotovoltaicos coexistan en el proceso de obtención de electricidad. Para ello, las tecnologías se van a desarrollar entorno a la cantidad de electricidad que han que obtener. Como se ha expuesto anteriormente, se va a modelar la instalación híbrida para un mes de verano como referencia, ya que en estos la demanda es mucho mayor. En el apartado “Estudio de necesidades” se ha visto que la demanda de un mes en temporada alta es de 119,02 MWh/mes, por lo tanto, si se considera que todos los meses requieran dicha cantidad, el consumo eléctrico anual de 1428,29 MWh/año.

Así pues, se ha repartido la generación de electricidad de la siguiente manera:

La necesidad eléctrica en temporada baja es de 38,8 MWh/mes, y, de esa cantidad, se ha considerado que el 50% se obtendrá mediante energía solar y el otro 50 % mediante energía eólica. La diferencia entre temporada alta y baja es de 80,22 MWh/mes. Como los meses de verano (temporada alta) presentan mayor nivel de radiación, esta diferencia de 80,22 MWh/mes se generará mediante paneles fotovoltaicos.

En conclusión, se han de generar 119,02 MWh cada mes. La energía solar va a tener un papel importante en esta obtención de electricidad, pues generará el 83,7% del total, mientras que, a partir de la energía eólica, se va a obtener el 16,3% de la demanda. En la tabla 10, se cuantifica la cantidad exacta por parte de cada tecnología:

	Aerogeneradores	Paneles fotovoltaicos
Porcentaje de generación (%)	16,3	83,7
Demanda total (MWh/mes)	119,02	119,02
Cantidad de electricidad a producir (MWh/mes)	19,4	99,62
Cantidad de electricidad a producir (MWh/año)	232,8	1195,44

Tabla 10. Cantidad de energía a generar por cada tipo de tecnología. (Fuente: elaboración propia).

A continuación, se desarrollan las características que deben tener cada una de esas tecnologías para ser lo más óptimas posibles, y así, poder suministrar electricidad a la isla satisfaciendo toda la demanda.

### 8.1 Aerogeneradores de eje horizontal de baja potencia

En cuanto a la energía eólica, se ha estudiado cuál es el *modelo comercial* más adecuado, la *cantidad de aerogeneradores* necesarios para la instalación y la *ubicación* en la que se van a situar.

#### 8.1.1 Modelo comercial

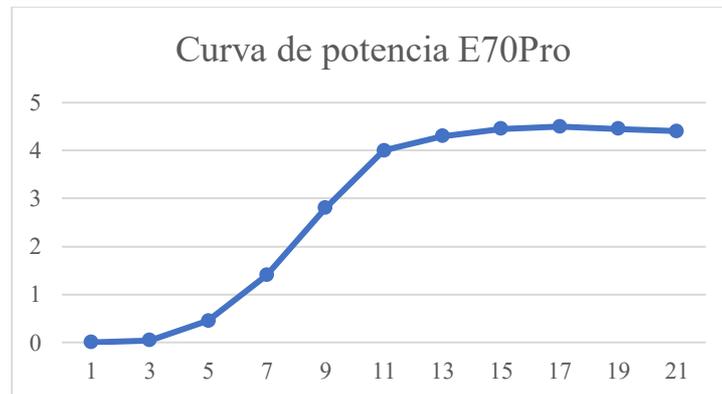
Actualmente, hay infinidad de modelos de aerogeneradores de eje horizontal de baja potencia. En este caso, se ha elegido la fuente de “Enair”, ya que contiene gran cantidad de modelos con buenos rendimientos en baja potencia [51]. Haciendo una evaluación minuciosa de todos los modelos posibles, se han considerado finalmente los 3 más viables para

abastecer eléctricamente a una población pequeña como es Tabarca. Estos son: **E70 pro**, **E200L** y **E200**, los cuales se van a desarrollar en la Tabla 11 dando las características más significativas.

	<b>E70pro</b>	<b>E200L</b>	<b>E200</b>
Potencia del generador (kW)	5,5	20	20
Potencia nominal (kW)	4	10	18
Velocidad nominal de rotación (rpm)	250	120	120
Diámetro del rotor (m)	4,3	9,8	9,8
Área de barrido (m <sup>2</sup> )	14,5	75,4	75,4
Longitud lateral (m)	3,4	2,3	2,3
Peso (kg)	165	1.000	1.000
Configuración: número de palas y orientación	3 palas a barlovento	3 palas a sotavento	3 palas a sotavento
Tensión (V)	24/48/220	500	500
Velocidad del viento óptima (m/s)	[8,12]	9	[8,11]
Velocidad con la que comienza su funcionamiento (m/s)	2	1,85	1,85
Generación máxima mensual a su velocidad óptima (MWh/mes)	2,025	5,988	10,13
Precio (€/un.)	7.800	58.750	58.750

**Tabla 11.** Comparativa entre 3 modelos distintos de aerogeneradores. (Fuente: elaboración propia).

El aerogenerador del tipo **E70pro**, dadas sus características, se utiliza para el abastecimiento eléctrico de una vivienda o un comercio pequeño. Esto también se refleja en su curva de potencia mostrada en la Figura 23:



**Figura 23.** Curva de potencia del modelo E70Pro. (Fuente: elaboración propia).

Los aerogeneradores **E200L** y **E200** son muy similares como bien se puede corroborar analizando las características de cada uno de ellos. La particularidad que tiene el aerogenerador **E200L** es la limitación de potencia a 10kW. Esto repercute a su curva de potencia (Figura 24):

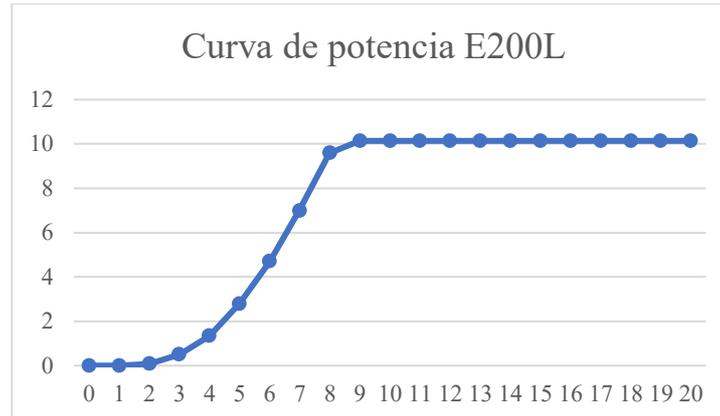


Figura 24. Curva de potencia del modelo E200L. (Fuente: elaboración propia).

En cambio, el aerogenerador *E200* presenta unas características energéticas mucho más superiores que la versión limitada (E200L), lo cual consta en su curva de potencia representada en la Figura 25.

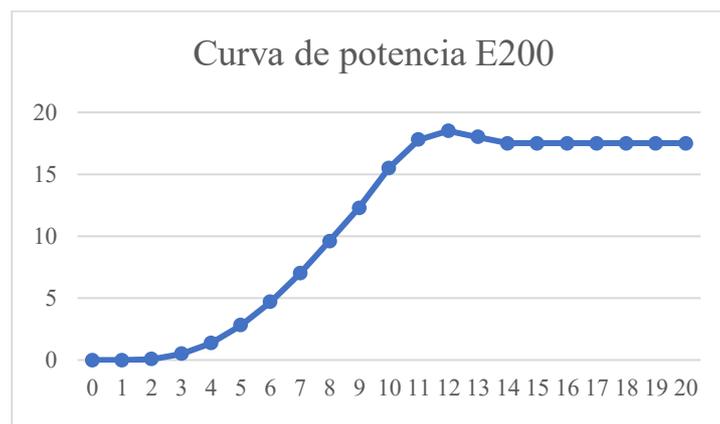


Figura 25. Curva de potencia del modelo E200. (Fuente: elaboración propia).

En conclusión, se ha descartado la versión *E70pro* ya que su potencia instalada es muy inferior a lo que requiere la aplicación de la isla Tabarca. Por consiguiente, en el próximo punto se ha estudiado la cantidad de los tipos *E200L* y *E200* necesarios para abastecer eléctricamente a la isla, así como su generación eléctrica, concluyendo con el modelo idóneo para la instalación.

### 8.1.2 Número de aerogeneradores necesarios a instalar

La cantidad de aerogeneradores necesarios a implantar depende de la cantidad de energía a obtener, y, en consecuencia, del tipo de aerogenerador.

En primer lugar, se procede a cuantificar la electricidad producida por estos sistemas teniendo en cuenta unos coeficientes propios de la ubicación en la que se van a instalar la tecnología eólica, y que varían respecto al sector de la dirección del viento. Los factores se definen de la siguiente manera [41].

**A:** El factor de escala está proporcionalmente relacionado con la velocidad del viento, y se expresa en m/s.

**F:** El factor de forma representa una distribución simétrica o asimétrica, siendo los valores cercanos a 1 una distribución asimétrica, y valores superiores a 2 y 3 una distribución simétrica. Es adimensional.

A continuación, se va a estudiar la generación eléctrica de cada uno de los modelos teniendo en cuenta dichos factores que indican la probabilidad ( $Prob(Vn, Si)$ ), mediante la distribución de Weibull, de la velocidad del viento ( $Vn$ ) y del sector ( $Si$ ), así como la frecuencia del viento en cada sector ( $Frec(Si)$ ). La frecuencia, como se ha explicado en el apartado “Descripción de la isla”, es el porcentaje del tiempo total en el que la dirección viento se sitúa para cada uno de los 12 sectores.

El cálculo de la energía generada por aerogenerador se conforma teniendo en cuenta estos parámetros y se conforma de la siguiente manera:

En primer lugar, se calcula la energía bruta total por cada sector ( $Ebt(Si)$ ). Esta es el sumatorio de la energía bruta para cada velocidad del viento en el sector en cuestión, la cual es el producto de la probabilidad de la velocidad del viento y sector, de la potencia asociada a cada velocidad y de las horas que tiene un año.

$$Ebt(Si) = \sum_{V_0}^{V_k} Prob(Vn, Si) \cdot Pot(Vn) \cdot 8760h$$

Seguidamente, obtenemos la energía bruta total ponderada ( $Ebtp(Si)$ ), que resulta ser el producto de la energía total brutal por sector y de la frecuencia correspondiente.

$$Ebtp(Si) = Ebt(Si) \cdot Frec(Si)$$

Posteriormente, se calcula la energía bruta total del aerogenerador ( $Eb(Am)$ ) que se conforma con el sumatorio de la energía brutal total ponderada de los doce sectores, siendo cada uno de ellos  $i$ .

$$Eb(Am) = \sum_{i=0}^{i=12} Ebtp(Si)$$

Finalmente, dependiendo del número de aerogeneradores necesarios ( $m$ ), y contando con unas pérdidas del 15 %, se obtiene la energía total neta de la instalación ( $Et$ ).

$$Et = Eb(Am) \cdot 0,85 \cdot m$$

Los datos obtenidos tras el cálculo se exponen en la Tabla 12 para el modelo E200L, y en la Tabla 13 para el modelo E200.

<b>E200L</b>						
<i>A (m/s)</i>	3,79	5,04	7,55	4,48	3,22	3,28
	4,54	6,53	5,6	7,44	8,28	6,34
<i>K</i>	1,045	1,088	1,896	1,709	1,646	1,572
	1,514	1,518	1,479	1,748	1,85	1,268
<i>Ebt(Si)</i> (MWh/año)	19,593	27,569	47,371	20,902	9,692	10,702
	22,493	38,312	31,554	45,624	51,420	35,619
<i>Frec(Si)</i> (%)	0,05	0,1	0,19	0,07	0,04	0,04
	0,06	0,09	0,07	0,13	0,12	0,05
<i>Ebtp(Si)</i> (MWh/año)	0,979	2,756	9,000	1,463	0,387	0,428
	1,349	3,448	2,208	5,931	6,170	1,780
<i>Eb(Am)</i> (MWh/año)						<b>35,90531</b>

**Tabla 12.** Cálculos realizados para obtener la generación eléctrica por un aerogenerador E200L. (Fuente: elaboración propia).

<b>E200</b>						
<i>A (m/s)</i>	3,79	5,04	7,55	4,48	3,22	3,28
	4,54	6,53	5,6	7,44	8,28	6,34
<i>K</i>	1,045	1,088	1,896	1,709	1,646	1,572
	1,514	1,518	1,479	1,748	1,85	1,268
<i>Ebt(Si)</i> (MWh/año)	24,419	36,137	61,868	22,881	9,913	11,088
	25,815	49,748	39,230	60,159	69,791	47,565
<i>Frec(Si)</i> (%)	0,05	0,1	0,19	0,07	0,04	0,04
	0,06	0,09	0,07	0,013	0,12	0,05
<i>Ebtp(Si)</i> (MWh/año)	1,220	3,613	11,754	1,601	0,396	0,443
	1,548	4,477	2,746	7,820	8,375	2,378
<i>Eb(Am)</i> (MWh/año)						<b>46,37794</b>

**Tabla 13.** Cálculos realizados para obtener la generación eléctrica por un aerogenerador E200. (Fuente: elaboración propia).

En conclusión, la energía total neta generada por los aerogeneradores, considerando unas pérdidas del 15%, y, en consecuencia, la cantidad necesaria de los mismos, se refleja en la Tabla 14. Se tiene en cuenta que la energía eléctrica necesaria a generar es de 232,8 MWh/año:

	E200L	E200
<i>Et(MWh/año)</i>	30,51951	39,42125
<i>Cantidad de aerogeneradores necesarios</i>	8	6

Tabla 14. Cantidad de aerogeneradores necesarios dependiendo del modelo. (Fuente: elaboración propia).

Finalmente, es más factible adaptar 6 generadores del tipo E200 ya que, frente a las mismas dimensiones, mismo peso, mismo coste y misma instalación, no hay una gran diferencia entre el número necesario de aerogeneradores del tipo E200L y E200, pues la primera es una versión limitada de la segunda. También se ha detectado que la pendiente de la curva de potencia del tipo E200L es más vertical que la correspondiente al tipo E200, por lo que frente a pequeños cambios de viento el modelo E200L tendría mayor variación de potencia.

### 8.1.3 Ubicación de la instalación

La isla de Tabarca, tiene una longitud de 1.800 m, dirección este-oeste, y una anchura de 45 m. Por ello, la ubicación del sistema eólico en la isla tiene que estar bien estudiada para que englobe a los 6 aerogeneradores necesarios.

Se ha estudiado la superficie disponible, la altitud máxima de la isla, el espacio requerido, y la dirección de posición inicial de los aerogeneradores.

- *La superficie disponible:* Al oeste de la isla se encuentra la población de San Pedro y San Pablo, y, en la zona este, un campo que comienza aproximadamente desde el Puerto la Mina hasta el cementerio. Por lo tanto, el lugar idóneo para el emplazamiento de la central eólica es lo más alejado de la población para reducir lo máximo posible su impacto visual y acústico, es decir, lo más al este posible (Figura 26). Por otra parte, también se va a intentar que la central esté alejada de las playas del este de la isla, para evitar la contaminación visual en estas.

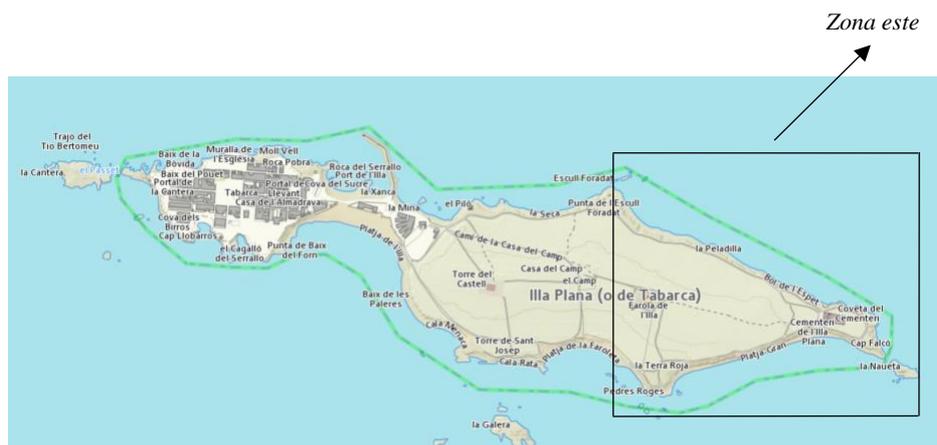


Figura 26. Mapa cartográfico de la zona este de la isla de Tabarca. (Fuente: [53]).

- *Posición inicial de los aerogeneradores:* Desde muchos estudios, como el de la energía eólica de la IDAE, se verifica que la dirección óptima para favorecer el rendimiento del aerogenerador es de forma perpendicular al vector del viento predominante [52]. En nuestro caso, este vector se encuentra aproximadamente a 60 ° en el plano.

- *Espacio requerido:* Ante el estudio realizado de cuántos aerogeneradores son necesarios para el sistema en desarrollo, se ha concluido que son 6. Según el IDAE, para reducir y optimizar las pérdidas por efecto parque y estela, los aerogeneradores en la misma hilera deben ir separados entre sí aproximadamente 2,5 diámetros del rotor, y estos a una distancia de 7,5 diámetros de la hilera paralela [52]. En nuestro caso, al ser el rotor de 9,8 m, la distancia entre ellos en la misma hilera sería de 24,5 m y de 73,5 m con la paralela.
- *La altitud máxima:* La isla de Tabarca se caracteriza por ser muy llana, con alturas máximas de hasta 15 m respecto al nivel del mar. En el visor de cartografía de la Comunidad Valenciana se ha detectado que, en la zona este, el faro marítimo se encuentra en el lugar más alto. En sus alrededores, la altitud es de entre 10 y 13 m, pero esta pequeña variación es imperceptible para el funcionamiento del aerogenerador. [53]

Finalmente, la ubicación de la central eólica debe contar con los siguientes requisitos:

- ✓ Encontrarse al este del faro, alejado lo máximo posible de las playas.
- ✓ Los aerogeneradores deben posicionarse inicialmente de forma perpendicular a la dirección desde donde viene mayoritariamente el viento.
- ✓ Situarse cada uno de una misma hilera a una distancia mínima de 24,5 m y a 73,5 m de la hilera paralela.

Por todo esto, el diseño aproximado de la central eólica podría ser el siguiente:



Figura 27. Mapa cartográfico de la zona este de la isla de Tabarca. (Fuente: [53]).

En la Figura 27 se muestra la superficie necesaria, y la posición de los 6 aerogeneradores que ocupan una superficie de 3.600 m<sup>2</sup> aproximadamente.

## 8.2 Placas fotovoltaicas

Se estudia a continuación los parámetros que determinan el funcionamiento óptimo del sistema fotovoltaico. Estos son *el modelo comercial, la cantidad de módulos necesarios y la ubicación* de las placas.

### 8.2.1 Modelo comercial

Existen muchos modelos comerciales de placas fotovoltaicas, pero vamos a limitar la búsqueda a aquellas que tengan una potencia instalada de un rango de entre 300 y 500 W. La marca “Albasolar” contiene mucha variedad de placas fotovoltaicas lo que nos permite comparar cuáles son las que más se adaptan a nuestras necesidades. En definitiva, se han escogido dos modelos llamados **KuMax** y **Hiku**, los cuales tienen muy buenos rendimientos respecto a modelos parecidos. Estos modelos se detallan en la Tabla 15, y se han estudiado de la referencia [54].

	KuMax	Hiku
Potencia (W)	350	405
Eficiencia (%)	17,64	18,33
Número de células	72	72
Tipo de célula	Policristalina	Policristalina
Largo (mm)	2.000	2.108
Ancho (mm)	992	1.048
Superficie (m2)	1,984	2,2092
Tensión de operación (V)	39,2	38,9
Corriente de operación(A)	8,94	10,42
Precio (€/unid.)	215	248

Tabla 15. Comparativa de distintos modelos de placas fotovoltaicas. (Fuente: elaboración propia).

Las curvas I-V representan el funcionamiento de la célula en función de la radiación y la temperatura. En la Figura 28 se muestra las curvas correspondientes al modelo KuMax donde se puede apreciar que esta célula obtiene una corriente menor frente a la misma tensión y misma radiación, al igual que frente a la misma tensión y temperatura que el modelo Hiku. Las curvas I-V de Hiku, se representan en la Figura 29:

CS3U-355P / I-V CURVES

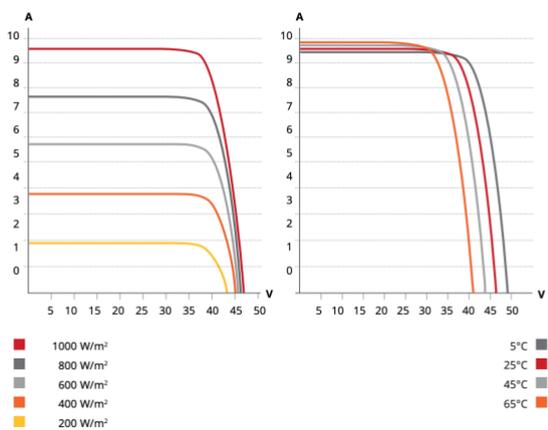


Figura 28. Curvas I-V KuMax. (Fuente: [54]).

CS3W-400P / I-V CURVES

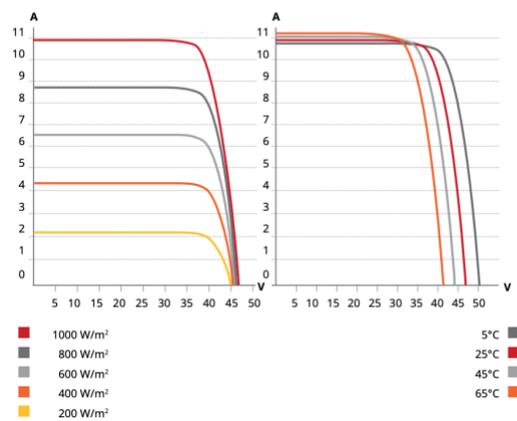


Figura 29. Curva I-V de Hiku. (Fuente: [54]).

### 8.2.2 Número de placas fotovoltaicas necesarias a instalar

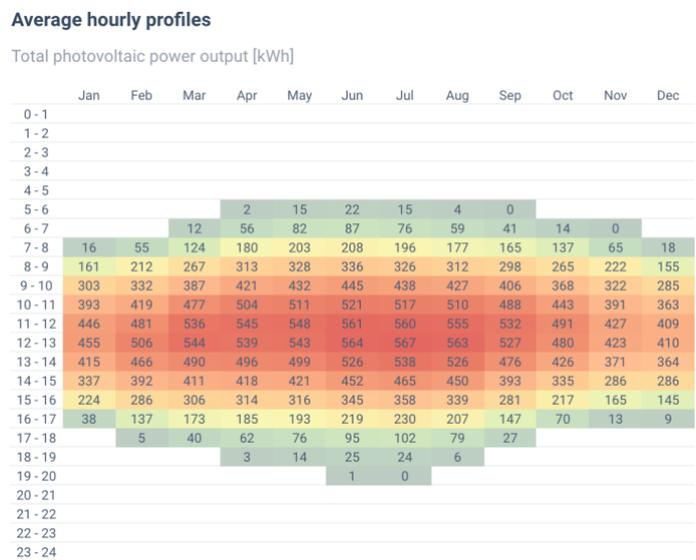
La cantidad de módulos fotovoltaicos a instalar depende de la cantidad de energía que se quiere obtener. A mayor potencia instalada, mayor generación eléctrica.

Para el cálculo de potencia necesaria instalada en las placas fotovoltaicas, se necesita conocer unos parámetros concretos. Estos varían dependiendo de la ubicación en la cual se quieren instalar los módulos, de la orientación de los módulos respecto a los rayos solares, del tamaño de la aplicación que tiene nuestra propuesta, y de la energía total que se quiere generar.

En el caso de Tabarca, la radiación anual se expone en el apartado “Descripción de la isla”, concretamente en “Clima”, la cual es determinante para establecer la potencia necesaria. También se ha estudiado que la orientación óptima para los módulos es de 32° respecto a la superficie horizontal, y con orientación de 180°, es decir, este-oeste. Este posicionamiento de los módulos repercutiría positivamente en la eficiencia de las placas. [55].

Por otra parte, el valor de energía eléctrica necesaria a obtener es de 1195,44 MWh/año, pero considerando un factor de seguridad del 10%, se ha de instalar una tecnología que sea capaz de obtener 1314,984 MWh/año. Por todo ello, se entiende que se trata de una aplicación de tamaño mediano.

Para realizar este cálculo, se ha utilizado la herramienta de Global Solar Atlas [55] que contempla todos los parámetros expuestos anteriormente. Suponiendo una potencia instalada de 825 kW, la generación media por horas respecto a cada mes se expresa en la Figura 30.



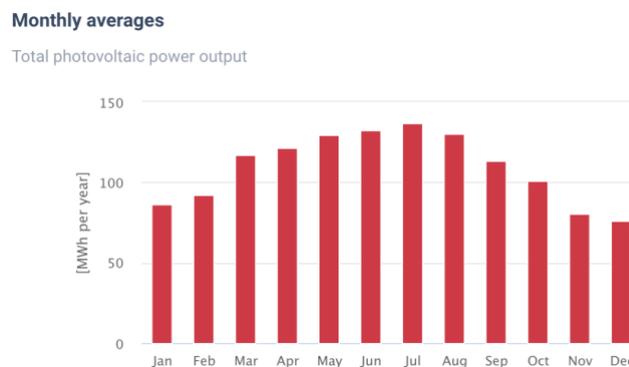
**Figura 30.** Generación eléctrica media por hora dependiendo del mes con 825 kW instalados en energía fotovoltaica. (Fuente: [55]).

Así pues, la Tabla 16 contiene la generación eléctrica media al día de cada uno de los meses del año.

	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Energía generada (MWh/día)	2,78	3,29	3,76	4,03	4,18	4,40	4,41	4,21	3,78	3,24	2,68	2,44

**Tabla 16.** Generación eléctrica media diaria por cada mes con 825 kW instalados en módulos fotovoltaicos. (Fuente: elaboración propia).

Como se ha comentado anteriormente, la electricidad obtenida por sistemas fotovoltaicos depende en gran parte de la radiación solar. En los meses de verano al haber mayor radiación solar, la generación eléctrica aumenta, mientras que en invierno, disminuye. Se va a estudiar si la cantidad de electricidad obtenida por nuestro sistema cumple con las demandas mensuales de Tabarca. En la Figura 31 se cuantifica la electricidad mensual generada por la central solar de 825 kW de potencia instalada.



**Figura 31.** Generación eléctrica por mes con una potencia instalada de 825 kW en una instalación FV. (Fuente: [55]).

En el Gráfico se puede observar que, durante los meses de mayo, junio, julio y agosto, hay un pico de generación eléctrica que se encuentra en un rango desde 129,6 y 136,8 MWh/mes. La temporada alta consiste en los meses de junio, julio, agosto y septiembre, y se demanda una cantidad de 119,02 MWh/mes. El único problema se puede visualizar en septiembre, que la generación por placas solares es de 113,4 MWh/mes, pero se complementa con la energía eólica que produce una media de 19,4 MWh/mes. En cuanto a la temporada baja, la demanda mensual es de 38,8 MWh/mes mientras que la generación fotovoltaica durante octubre, noviembre, diciembre, enero, febrero, marzo, abril y mayo no baja de 75,8 MWh/mes. Por todo ello, la tecnología fotovoltaica con 825 kW instalados, sería suficiente para Tabarca.

El problema de la energía fotovoltaica, es que solo se produce electricidad durante las horas de radiación solar, por lo que hay una gran cantidad de horas diarias que no hay generación. En el apartado siguiente de los “Elementos auxiliares de la instalación” se comentará la solución a este inconveniente.

Cada modelo comercial tiene una potencia por placa, por lo que se va a calcular la cantidad de placas necesarias por modelo para resultar en una potencia total de 825 kW. Dependiendo de la cantidad de unidades, se necesitará una superficie específica y el coste por instalación variará. Estos datos se contemplan en la Tabla 17.

	KuMax	Hiku
Potencia por placa (W)	350	405
Cantidad necesaria de placas	2.358	2.038
Superficie necesaria para las placas (m <sup>2</sup> )	4.678,272	4.502,3496
Superficie necesaria para la instalación (m <sup>2</sup> )	9.356,544	9.004,6992
Precio total de la instalación (€)	506.970	505.424

*Tabla 17. Resumen de la cantidad de paneles necesarios, superficie necesaria y precio total por modelo. (Fuente: elaboración propia).*

La superficie total de la instalación se calcula como el doble de la necesaria solamente para las placas ya que es necesario mantener una distancia de respeto entre ellas, y porque los elementos auxiliares también requieren espacio.

El modelo **Hiku** es el más apropiado para esta instalación, ya que ocupa menos espacio por el menor número de paneles necesarios, es más rentable económicamente tanto por la propia tecnología como por la instalación, y tiene mejor rendimiento.

### **8.2.3 Ubicación de la instalación**

La isla de Tabarca, al ser un territorio pequeño, se planteó la posibilidad de posicionar los paneles fotovoltaicos en los tejados de las viviendas. Esta idea es factible por el hecho del impacto visual que puede causar, pero habría mayores pérdidas por distribución ya que, al no ser una central solar, no se encuentran todos los paneles concentrados.

En contraposición, se ha contemplado la idea de ubicar los paneles en el mismo lugar donde estaban los anteriores de primera generación que se instalaron para alimentar al faro, aprovechando así el espacio que se adecuó en su momento. La principal ventaja de esta ubicación es la distribución equitativa que se puede hacer a todos los puntos de la isla. Por otra parte, tener una central solar donde los paneles están concentrados frente a paneles distribuidos por toda la población tiene grandes facilidades como la optimización del espacio para las instalaciones, y el fácil acceso y mantenimiento.

En cuanto a la posición de cada uno de los módulos fotovoltaicos, se ha propuesto previamente que su dirección sea de 32° en una inclinación con respecto al plano horizontal, y con una orientación este-oeste. [55]

Concluyendo, con una cantidad total de paneles fotovoltaicos necesarios de 2.038, se requiere una superficie de 9.004,6992 m<sup>2</sup>. El espacio adecuado para las placas fotovoltaicas que se instalaron años atrás es de aproximadamente 4.400 m<sup>2</sup>. Esto no es suficiente para nuestra central, pero se encuentra al costado del campo, por lo que tiene superficie suficiente para la instalación.

La superficie sombreada en el plano de la Figura 32 es la ubicación de la central anterior.



Figura 32. Antigua ubicación de la central solar en el mapa cartográfico de la Isla de Tabarca. (Fuente: [53]).

La propuesta de ubicación de las placas sería la superficie delimitada mostrada en la Figura 33.



Figura 33. Propuesta de ubicación de la central solar en el mapa cartográfico de la Isla de Tabarca. (Fuente: [53])

### 8.3 Elementos auxiliares de la instalación

En el sistema híbrido desarrollado en este estudio, se ha confirmado que los aerogeneradores que mejor van a funcionar en este caso son los correspondientes a 20 kW. Estos aerogeneradores no tienen la posibilidad de conformar un sistema aislado como tal, sino que necesariamente tienen que ir conectados a una red. Por consecuencia, se ha modelado este sistema en torno a una micro red que distribuye la electricidad necesaria por toda la isla. Este modelo, difiere de los sistemas aislados. En un sistema aislado la electricidad que se genera pasa por un inversor y va directamente al consumo de la vivienda o instalación en cuestión, por lo que es ideal para consumos bajos. En cambio, el tipo de sistema que se va a desarrollar contiene una micro red que distribuye la electricidad a todos los puntos de consumo.

Tanto en sistemas aislados como en conexión a red se necesitan varios elementos adicionales. *El inversor y los sistemas de acumulación* tienen gran protagonismo en sistemas de generación eléctrica para medianas aplicaciones [36].

Los *inversores* son aquellos componentes que transforman la corriente continua en corriente alterna para poder introducirla tanto a los puntos de consumo como a la red. Es uno de los equipos más importantes en este tipo de sistemas ya que optimiza la producción y hace posible la alimentación al sistema. Es necesario acoplarlo tanto a las tecnologías eólicas como solar, por lo que, a continuación, se decretará el modelo escogido con sus características.

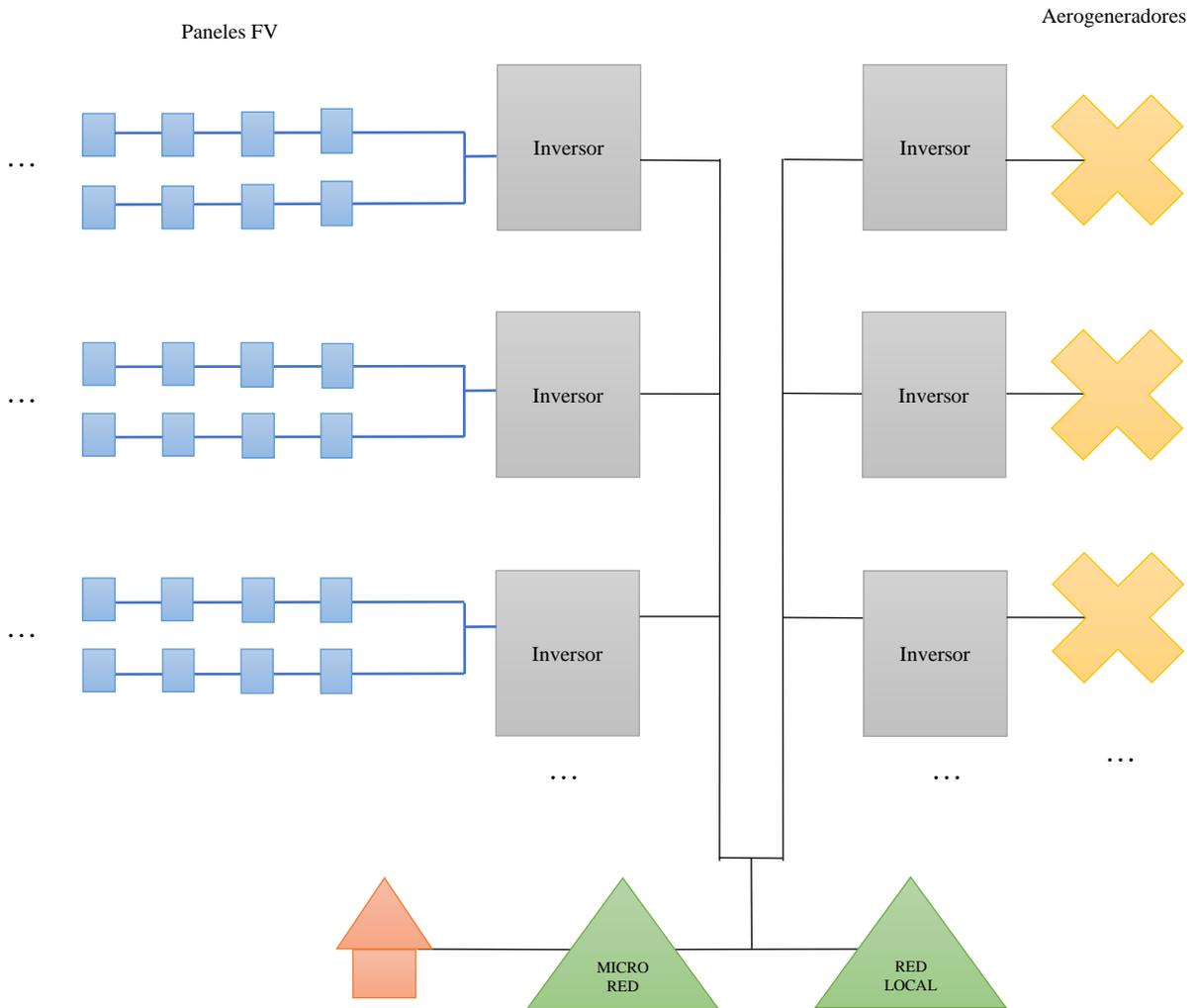
Los *sistemas de acumulación*, también llamados baterías, tienen la función de almacenar electricidad para poder suministrarla en momentos cuando no hay generación eléctrica, por ejemplo, en el caso de la fotovoltaica, cuando es de noche y no hay radiación solar. Para el buen funcionamiento de las baterías se requiere un regulador de carga que protege a la batería alargando su vida útil mediante el control de sobrecargas y descargas, regulando así el flujo de la electricidad por la batería.

En nuestro caso, se ha estudiado la posibilidad de adaptar baterías a la central solar, ya que, durante las horas nocturnas, la generación eléctrica es nula. El resultado ha sido desfavorable para estos equipos por varias razones:

- La primera es que durante los meses de invierno, suponiendo que la energía eólica es constante y suministra su porcentaje de electricidad durante todo el año, la cantidad sobrante entre la demanda y la generación final por parte de la energía solar, es de 56,4 MWh/mes en el peor de los casos en cuanto a condiciones de radiación solar (diciembre). Durante temporada baja hay meses como mayo donde su generación a partir de la energía solar es de 129,6 MWh/mes habiendo una sobreproducción eléctrica de 110,2 MWh/mes que se ha de almacenar. Por ello, es muy costoso tanto económicamente como eléctricamente encontrar equipos de baterías que tenga tanta capacidad de almacenaje.
- En segundo lugar, la carga y descarga de dichas baterías no se producirían en un mismo día, o en un mismo mes, sino que el exceso de generación sería útil para meses con mayor demanda como es la temporada alta. Por todo ello, es imposible almacenar tanta electricidad durante los 8 meses de temporada baja. A parte de esto, las baterías son equipos muy caros y aún no están tan desarrolladas para dar un rendimiento que sea apropiado para las condiciones de Tabarca.

Como propuesta, se ha considerado el uso de la red eléctrica local ya existente. Hoy en día es posible introducir la electricidad producida de forma autosuficiente a la red local. Esta situación ocurre cuando la generación eléctrica es mayor que la demanda. De esta manera, la cantidad aportada sería aprovechada y recompensada económicamente. Durante los meses de temporada baja, el sistema se ha modelado para generar mucha más energía de la necesaria. Así pues, la demanda de la isla la absorbería la micro red y lo restante iría a la red local. Esto no solo conlleva un gran ahorro en la inversión de las baterías, sino que sería una fuente de ingresos en momentos de sobreproducción. En el caso contrario, cuando no hay demanda pero no hay generación, se aprovecharía la conexión que hay a la red local siendo esta una variante al sistema de acumulación.

Por lo tanto, el esquema de la aplicación propio de este estudio es el siguiente:



### 8.3.1 Modelo comercial de los inversores

Estos equipos se requieren tanto para la energía eólica como para la solar. Por ello, se ha escogido el modelo de la marca “Teknosolar” que se trata de un inversor de conexión a red llamado Fronius Symo 20.0-3-M 20 kW. Tiene un rango de potencia de entre 3 y 20 kW. Cuenta también con un voltaje máximo de entrada de 1.000 V, y una corriente de entrada máxima de 33 A, lo cual es admisible tanto para los aerogeneradores como para los paneles solares. [56]

Se necesitarían 6 inversores para la energía eólica (uno por cada aerogenerador), y 43 inversores para la energía solar. Cada 48 paneles fotovoltaicos (conectados en dos series de 24 y estas dos en paralelo) se obtiene una tensión de 933,6 voltios, una potencia de 19.440

W y una corriente de 20,84 A. En ese caso, si tenemos 2038 paneles, por cada 48 paneles se cuenta con un inversor.

En total, se necesitan 49 inversores en la instalación.



## 9. PRESUPUESTO DE LA INSTALACIÓN

Se va a realizar el presupuesto de la instalación *eólica, solar*, y de los *elementos auxiliares*. Finalmente se recogerá toda la información de manera resumida.

### 9.1 Presupuesto de la instalación eólica

Para la instalación de un aerogenerador se requieren 3 días con distintos procesos, los cuales se cuantifica su coste en la Tabla 18, 19 y 20 respectivamente. [51]

El **día 1**, se compone de los procesos de:

- *Excavación para realizar el agujero de la cimentación.*
- *Colocación de la primera parte de la torre.*

	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Proceso 1					199,2
	Peón especializado	h	3	17,94	53,82
	Excavadora	h	3	48,46	145,38
Proceso 2					2.707,52
	Peón especializado	h	8	17,94	143,52
	Peón especializado	h	8	17,94	143,52
	Grúa	h	8	79	632
	Hormigón no estructural	m <sup>3</sup>	27	66,24	1788,48
<b>DÍA 1</b>					<b>2.906,72</b>

Tabla 18. Presupuesto del día 1 de la instalación de un aerogenerador. (Fuente: elaboración propia)

El **día 2**, consta de 3 procesos más que son:

- *Montar la torre.*
- *Montar las palas sobre el rotor.*
- *Conformar el conjunto del aerogenerador.*

	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Proceso 1					459,52
	Peón especializado	h	4	17,94	71,76
	Peón especializado	h	4	17,94	71,76
	Grúa	h	4	79	316
Proceso 2					344,64
	Peón especializado	h	3	17,94	53,82
	Peón especializado	h	3	17,94	53,82
	Grúa	h	3	79	237

<b>Proceso 3</b>					<b>317,76</b>
	Peón especializado	h	2	17,94	35,88
	Peón especializado	h	2	17,94	35,88
	Grúa	h	2	79	158
	Elevadora	h	2	44	88
<b>DÍA 2</b>					<b>1121,92</b>

*Tabla 19. Presupuesto del día 2 de la instalación de un aerogenerador. (Fuente: elaboración propia)*

El **día 3**, solo se procesarán las *instalaciones eléctricas*:

	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio total
<b>Proceso 1</b>					<b>215,28</b>
	Peón especializado	h	6	17,94	107,64
	Peón especializado	h	6	17,94	107,64
<b>DÍA 3</b>					<b>215,28</b>

*Tabla 20. Presupuesto del día 3 de la instalación de un aerogenerador. (Fuente: elaboración propia)*

El coste por unidad del peón especializado, la excavadora, el hormigón, la grúa y la elevadora se ha obtenido de la referencia [57].

El presupuesto total de la instalación se muestra en la Tabla 21:

	PRECIO UNITARIO (€/instalación)	PRECIO TOTAL (6 instalaciones) (€)
Aerogenerador E200	58.750	352.500
DÍA 1	2.906,72	17.440,32
DÍA 2	1.121,92	6.731,52
DÍA 3	215,28	1.291,68
<b>TOTAL</b>	<b>62.993,92</b>	<b>377.963,52</b>

*Tabla 21. Presupuesto total de la instalación de los aerogeneradores. (Fuente: elaboración propia)*

Finalmente, en cuanto a la tecnología de aerogeneradores, el coste total es de 377.963,52 €.

## **9.2 Presupuesto de la instalación solar**

En cuanto a la energía solar, para instalar 6 placas solares se requieren 2 días y se contemplan en la Tabla 22 y 23 respectivamente. [58]

El **día 1**, se elaboran dos procesos:

- *Preparación del terreno para la instalación.*
- *Cableado eléctrico.*

	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio total
<b>Proceso 1</b>					<b>199,2</b>
	Peón especializado	h	3	17,94	53,82
	Excavadora	h	3	48,46	145,38
<b>Proceso 2</b>					<b>179,4</b>
	Peón especializado	h	5	17,94	89,7
	Peón especializado	h	5	17,94	89,7
<b>DÍA 1</b>					<b>378,6</b>

*Tabla 22. Presupuesto del día 1 de la instalación de 6 placas solares. (Fuente: elaboración propia)*

El **día 2**, se procede a:

- *Instalar los soportes de los paneles.*
- *Instalación de los paneles.*

	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio total
<b>Proceso 1</b>					<b>143,52</b>
	Peón especializado	h	4	17,94	71,76
	Peón especializado	h	4	17,94	71,76
<b>Proceso 2</b>					<b>782,56</b>
	Peón especializado	h	8	17,94	143,52
	Peón especializado	h	8	17,94	143,52
	Peón especializado	h	8	17,94	143,52
	Elevadora	h	8	44	352
<b>DÍA 2</b>					<b>926,08</b>

*Tabla 23. Presupuesto del día 2 de la instalación de 6 placas solares. (Fuente: elaboración propia)*

En total, el precio de la instalación de las placas fotovoltaicas será la mostrada en la Tabla 24, siendo el precio unitario de las placas 248 €/placa:

	<b>PRECIO UNITARIO (€/instalación)</b>	<b>PRECIO TOTAL (340 instalaciones) (€)</b>
6 placas FV Hiku	1.488	505.920
DÍA 1	378,6	128.724
DÍA 2	926,08	314.867,2
<b>TOTAL</b>	<b>2.792,68</b>	<b>949.511,2</b>

*Tabla 24. Presupuesto total de la instalación de las placas fotovoltaicas. (Fuente: elaboración propia)*

Finalmente, el coste de la instalación fotovoltaica es de 949.511,2€.

### 9.3 Presupuesto de los elementos auxiliares

En cuanto a los elementos auxiliares, se necesita también un proceso específico para cada instalación. Se estima el coste del proceso para *la instalación eléctrica* por cada equipo en la Tabla 25.

	Descripción	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Precio total
Proceso 1					251,16
	Peón especializado	h	7	17,94	125,58
	Peón especializado	h	7	17,94	125,58
<b>DÍA 1</b>					<b>251,16</b>

Tabla 25. Presupuesto del día 1 de la instalación de un elemento auxiliar. (Fuente: elaboración propia)

Sabiendo el precio unitario por inversor, como se expone en la Tabla 26, se puede calcular el coste total de la instalación de los elementos auxiliares.

	PRECIO UNITARIO (€/instalación)	PRECIO TOTAL (49 instalaciones) (€)
Inversor Fronius	3.599	176.351
DÍA 1	251,16	12.306,84
<b>TOTAL</b>	<b>3.850,16</b>	<b>188.659,84</b>

Tabla 26. Presupuesto total de la instalación de los elementos auxiliares. (Fuente: elaboración propia)

### 9.4 Presupuesto total

El presupuesto total (Tabla 27) consta del coste de la instalación eólica, la solar y de los elementos auxiliares.

	PRECIO (€)
Instalación aerogeneradores	377.963,52
Instalación paneles fotovoltaicos	949.511,2
Instalación elementos auxiliares	188.659,84
<b>TOTAL</b>	<b>1.516.132,56</b>

Tabla 27. Presupuesto total de la instalación híbrida. (Fuente: elaboración propia).

El coste total del sistema de obtención de electricidad para autoabastecer la isla de Tabarca mediante energías renovables es de **UN MILLÓN QUINIENTOS DIECISEIS MIL CIENTO TREINTA Y DOS CON CINCUENTA Y SEIS EUROS.**

## 10. ESTUDIO DE VIABILIDAD

En este capítulo se estudia la rentabilidad del proyecto propuesto. Para ello, vamos a evaluar la viabilidad económica analizando si es posible o no la amortización del sistema híbrido implantado en la isla de Nueva Tabarca. Para su cálculo se requieren los datos obtenidos a lo largo de todo el estudio de la instalación con el objetivo de hallar el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa Interna de Rendimiento (TIR) mediante la herramienta RETScreen. Estos conceptos se referencian en [59].

- El Valor Actual Neto es una forma de cálculo que analiza los pagos y cobros de una instalación para conocer si la inversión se va a amortizar o no. Si es mayor que 0, el proyecto será rentable.
- La Tasa Interna de Rendimiento representa el porcentaje de interés o de rentabilidad de la inversión propuesta. El proyecto será rentable cuando este sea mayor al coste de oportunidad.

Principalmente, nuestro sistema se trata de una central de generación eléctrica de múltiples tecnologías adaptada a la isla de Tabarca. Esta se compone de placas fotovoltaicas y aerogeneradores de eje horizontal de baja potencia.

Por una parte, la **tecnología solar** cuenta con una potencia total instalada de 825 kW, la cual requiere una inversión inicial de 1.115.069,83 € contando con la instalación de los paneles fotovoltaicos y de los 43 inversores solares. Así pues, el coste por kW sería de 1.351,6 €. Para amortizar la central solar, se exporta la sobreproducción de electricidad a la red. De 1.195,4 MWh generados al año, se exportan 685,57 MWh teniendo una tarifa de 100 €/MWh, por lo tanto, los ingresos anuales por exportación a la red son de 68.657 €. En esta operación se ha contado con un costo de operación y mantenimiento de 47,2 €/kW·año [60].

Por la otra parte, en cuanto a la **tecnología eólica**, esta tiene una potencia instalada de 120 kW y su inversión inicial contando con los 6 inversores es de 401.064,72 €. Por ello, su precio por kW es de 3.342,2 € a parte del costo de operación y mantenimiento que es de 45 €/kW·año [60]. En lo que respecta a la exportación a red, no hay por parte de esta tecnología ya que toda la electricidad obtenida mediante los aerogeneradores se destina al suministro de la isla. Por consecuencia, no hay ingresos.

Dentro de los ahorros anuales, es fundamental indicar que se está aportando una cantidad de electricidad a la red porque hay sobreproducción, es decir, la cantidad sobrante no se va a consumir en la isla. Si se exporta 685,57 MWh/año a la red siendo el precio medio de consumo de 57,29 €/MW·año [61], anualmente hay un ahorro adicional de 39.276,3 €.

La venta de emisiones de CO<sub>2</sub> puede suponer un ingreso que beneficia al sistema. Se ha considerado la media de los últimos 12 meses que es de 24,64 € por tonelada de CO<sub>2</sub> [62]. Debido a la envergadura del sistema desarrollado, se puede clasificar como un ingreso insignificante, pero se tiene en cuenta.

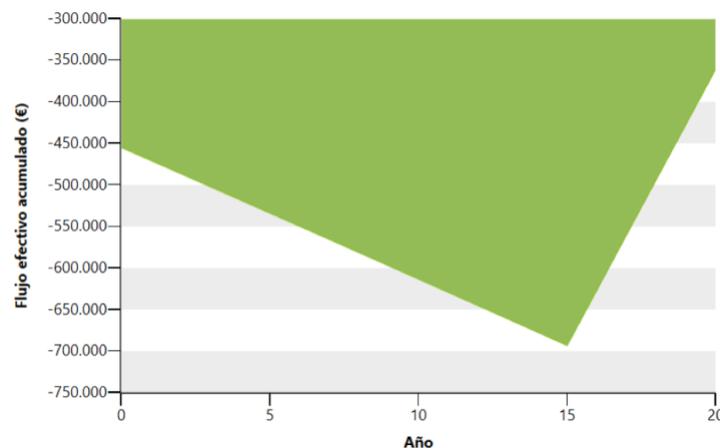
En total, los ingresos y ahorros anuales totales se aproximan a 115.000 €.

Por otra parte, también hay que considerar unos parámetros (Tabla 28) que determinan la viabilidad del proyecto:

Parámetros financieros	Valor
Tasa de escalamiento de combustibles (%)	0
Tasa de inflación (%)	1
Tasa de descuento (%)	3
Tasa de reinversión (%)	0
Vida útil (años)	20
Incentivos y donaciones (€)	0
Relación de deuda (%)	70
Tasa de interés de deuda (%)	2
Duración de deuda (años)	15

**Tabla 28.** Parámetros financieros introducidos en RETScreen. (Fuente: elaboración propia).

Por lo tanto, contemplando todas las variables, el TIR se sitúa en un valor negativo del 4,9% en cuanto al capital y en -9,7% en cuanto a activos. Por otra parte, el VAN es de -448,679 € siendo los ahorros anuales en ciclo de vida de -30.158 €/año. Por todo ello, la inversión realizada no es rentable con 20 años de vida útil. En la Figura 34 se puede observar el flujo efectivo acumulado (€) respecto al año.



**Figura 34.** Flujo efectivo acumulado de nuestro sistema híbrido. (Fuente: [RETScreen]).

En conclusión, la inversión realizada no sería viable económicamente. En cambio, de acuerdo con los objetivos de este trabajo, se ha buscado una medida sostenible para electrificar la isla de Nueva Tabarca. Por ello, este sistema sí que es viable desde el punto de vista medioambiental, tecnológico y social ya que fomenta un desarrollo sostenible dando una imagen a todo el mundo de compromiso con las nuevas tecnologías y con la naturaleza.

## 11. CONCLUSIONES

A través de la Agenda 2030, se está promoviendo un cambio hacia un desarrollo sostenible mediante los 17 ODS propuestos por la ONU. Para unirse al cambio, se han de reducir las emisiones contaminantes que generan los combustibles fósiles. Una medida eficiente es la obtención de electricidad a partir de las energías renovables como se especifica en el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima.

En el presente TFG se estudia la posibilidad de adaptación de tecnologías comprometidas con el medio ambiente a la isla de Tabarca. El desarrollo de este proyecto para hacer de Tabarca una isla 100% sostenible y autosuficiente eléctricamente resulta de la necesidad de reducir el cambio climático, apoyar la evolución tecnológica, crear una concienciación social, y alcanzar los créditos necesarios para obtener el título de GITI.

El objetivo principal de esta investigación es evaluar la posibilidad de implantar una tecnología de obtención de electricidad mediante las energías renovables en la isla de Tabarca, siendo esta independiente mediante un sistema eléctrico de autoconsumo.

Hoy en día existe una gran variedad de islas alrededor de la Unión Europea que tienen o están en proceso de adaptar medidas sostenibles para su propio autoabastecimiento como El Hierro o Samsø, las cuales son modelos a seguir. Años atrás, Tabarca impulsó medidas para convertirse en una isla sostenible mediante placas solares, pero el intento fracasó debido a que estas eran de primera generación y no eran lo suficientemente eficaces. Actualmente, la isla se encuentra conectada con la península mediante un cable submarino para su suministro eléctrico.

Tabarca o Isla Plana se encuentra a 4,3 kilómetros del cabo de Santa Pola y cuenta con 55 habitantes en sus 1.800 metros de largo y 450 de ancho. La caracteriza su clima mediterráneo con elevadas temperaturas y gran cantidad de radiación solar en los meses de verano, sus escasas precipitaciones, y su velocidad media del viento. La reserva marina que la rodea y su clima hacen que la afluencia de visitantes sea considerable durante todo el año. Al ser una isla pequeña, cuenta con las instalaciones justas para garantizar el bienestar de los ciudadanos.

La sociedad de Tabarca debe velar por el cuidado de su naturaleza y a la vez poder disfrutar del necesario suministro eléctrico. Por lo tanto, para modelar un sistema sostenible adaptado a sus características, se han estudiado las necesidades eléctricas de la isla identificando los consumos mensuales de cada instalación. El cálculo ha concluido que se necesita una generación eléctrica de 119,02 MWh/mes en los meses de junio, julio, agosto y septiembre, y de 38,8 MWh/mes durante el resto del año.

Debido a la escasa superficie y población de la isla de Tabarca, el abanico de tecnologías capaces de abastecer esta demanda energética disminuye. Por lo tanto, a pesar de haber considerado todas las fuentes de energías renovables como son la solar, la eólica, la biomasa, la hidráulica, la mareomotriz y la geotérmica, se concluye que las placas fotovoltaicas y los aerogeneradores de eje horizontal de baja potencia son las tecnologías más adecuadas de acuerdo con los recursos naturales de la isla y sus características.

Como se ha expuesto anteriormente, en verano la demanda eléctrica es considerablemente mayor. Por ello, el sistema híbrido de tecnología solar y eólica, se ha modelado para que todos los meses del año puedan suministrar la cantidad que se requiere en un mes de temporada alta. Al ser muy abundantes los rayos solares en verano, y la velocidad del viento siempre la misma, se ajusta el sistema para que los módulos fotovoltaicos obtengan un 83,7% de la demanda eléctrica total, mientras que los aerogeneradores un 16,3%. Así pues, los paneles fotovoltaicos obtendrán una cantidad de 1195,44 MWh/año mediante 2038 placas del modelo Hiku cuya instalación ocupará 9.004,6992 m<sup>2</sup>, y los aerogeneradores E200 generarán un total de 232,8 MWh/año en una central eólica de 6 aerogeneradores la cual ocupa 3.600 m<sup>2</sup>.

Tanto para la instalación eólica como para la solar, se requieren 49 inversores que convierten la corriente continua generada en alterna para aportarla a la micro red que suministra a todos los puntos de consumo. En el caso de sobreproducción, es decir, que la demanda sea menor que la cantidad de energía generada, se venderá la electricidad a la red local ya que un almacenamiento de baterías en la isla no es viable. En resumen, si hay demanda y generación, la electricidad va a la micro red, si no hay demanda y hay generación, la electricidad va a la red local, y si hay demanda, pero no hay generación, la red local suministra a los puntos de consumo.

En cuanto a los presupuestos, según la estimación realizada para calcular el coste de la instalación total, la inversión inicial sería de 1.516.132,56 € siendo 377.963,52 € para la instalación eólica, 949.511,2 € para la instalación fotovoltaica y 188.659,84 € para los elementos auxiliares.

La inversión realizada ha sido estudiada para analizar su viabilidad económica. Considerando todas las variables que conforman el sistema híbrido del trabajo, ha resultado no ser viable económicamente con un VAN de -448,679 € y un TIR de -4,9% en cuanto al capital y de -9,7% en cuanto a activos. De acuerdo a la Agenda 2030, el sistema propuesto sí que sería rentable ya que fomenta el desarrollo sostenible mediante una energía no contaminante, una comunidad sostenible, una producción responsable y una acción por el clima comprometiéndose con la industria y la innovación.

## 12. REFERENCIAS

- [1] Organización de las Naciones Unidas (ONU). (10 de septiembre de 2019). Obtenido en la página web de la ONU: <http://onu.org.gt/objetivos-de-desarrollo/>
- [2] Ministerio para la transición ecológica. (10 de septiembre de 2019). Obtenido en la página web del Gobierno de España: [www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/el-proceso-internacional-de-lucha-contr-el-cambio-climatico/naciones-unidas/elmentos-acuerdo-paris.aspx](http://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/el-proceso-internacional-de-lucha-contr-el-cambio-climatico/naciones-unidas/elmentos-acuerdo-paris.aspx)
- [3] Ministerio para la transición ecológica. *Plan Nacional de Energía y Clima 2019*. Instituto de la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE).
- [4] Acciona. (13 de septiembre de 2019). *Desarrollo sostenible*. Obtenido en página la web de Acciona: [www.acciona.com/es/desarrollo-sostenible/](http://www.acciona.com/es/desarrollo-sostenible/)
- [5] Ministerio de Industria, Energía y Turismo en España. (13 de septiembre de 2019). Obtenido en la página web del Gobierno de España: <http://transparencia.gob.es/transparencia/dam/jrc:6244fdc3-a6a5-4eec-acd1-bddc598a8898/La-energia-en-Espana-2014>
- [6] Factor energía. (13 de septiembre de 2019). Obtenido en la página web de Factor Energía: [www.factorenergia.com/es/blog/autoconsumo/ventajas-del-autoconsumo/](http://www.factorenergia.com/es/blog/autoconsumo/ventajas-del-autoconsumo/)
- [7] Alicante turismo. (10 de septiembre 2019). Obtenido en la página web de Alicante Turismo: [www.alicanteturismo.com/isla-tabarca-alicante/](http://www.alicanteturismo.com/isla-tabarca-alicante/)
- [8] Instituto Nacional de Estadística (INE). (15 de septiembre de 2019). Obtenido en la página web del INE: [www.ine.es/buscar/searchResults.do?searchString=tabarca&Menu\\_botonBuscador=Buscar&searchType=DEF\\_SEARCH&startat=0&L=0](http://www.ine.es/buscar/searchResults.do?searchString=tabarca&Menu_botonBuscador=Buscar&searchType=DEF_SEARCH&startat=0&L=0)
- [9] Servicios técnicos de investigación. (15 de septiembre de 2019). Obtenido en la página web de la Universidad de Alicante: [ssti.ua.es/es/infraestructuras-de-apoyo/planta-solar.html](http://ssti.ua.es/es/infraestructuras-de-apoyo/planta-solar.html)
- [10] La foguera de Tabarca. (15 de septiembre de 2019). Obtenido en la página web de la foguera de Tabarca: <https://lafogueradetabarca.blogspot.com/2013/06/un-cable-submarino-de-santa-pola-tabarca.html>
- [11] European Small Islands Federation (ESIF). (17 de septiembre 2019). Obtenido en la página web de European small islands: <https://europeansmallislands.com/members/>
- [12] La energía de Luzía. (17 de septiembre). *Las islas como laboratorio de autosuficiencia energética en España*. Obtenido en la página web de La energía de Luzía: <http://laenergiadeluzia.es/islas-autosuficiencia-energetica-espana/>

- [13] Foro coches eléctricos. (18 de septiembre de 2019). Obtenido en la página web de foro coches eléctricos: <https://forococheselectricos.com/2019/06/la-isla-de-arousa-comienza-su-transicion-para-su-independencia-energetica-energias-renovables-barcos-electricos-puntos-de-recarga-y-autobuses-electricos.html>
- [14] Alicante. (15 de septiembre de 2019). Obtenido en la página web del Ayuntamiento de Alicante: <https://www.alicante.es/es/contenidos/reserva-marina-tabarca>
- [15] La Foguera de Tabarca. (15 de septiembre de 2019). Obtenido en la página web de La Foguera de Tabarca: <http://lafogueradetabarca.blogspot.com/>
- [16] EcuRed. (20 de septiembre de 2019). *Clima mediterráneo*. Obtenido en la página web de EcuRed: [https://www.ecured.cu/Clima\\_Mediterr%C3%A1neo](https://www.ecured.cu/Clima_Mediterr%C3%A1neo)
- [17] Cuandovisitar.com.ar. (20 de septiembre 2019). Obtenido en la página web de cuandovisitar.com.ar: [https://www.cuandovisitar.com.ar/espana/tabarca/#Clima\\_Tabarca](https://www.cuandovisitar.com.ar/espana/tabarca/#Clima_Tabarca)
- [18] Sailandtrip. (20 de septiembre de 2019). Obtenido en la página web de Sailandtrip: <https://sailandtrip.com/escala-beaufort/>
- [19] Global Wind Atlas. (20 de septiembre de 2019). Obtenido en la página web de Global Wind Atlas: <https://globalwindatlas.info/>
- [20] Aemet. (22 de septiembre de 2019). Atlas de radiación solar en España. Obtenido en la página web de Aemet: [http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/datosclimatologicos/atlas\\_radiacion\\_solar](http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/datosclimatologicos/atlas_radiacion_solar)
- [21] Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. *Atlas de Radiación Solar en España utilizando datos del SAF de Clima de EUMETSAT 2012*. Agencia Estatal de Meteorología (Aemet).
- [22] ABC. (23 de septiembre de 2019). Obtenido en la página web de ABC: [https://www.abc.es/espana/comunidad-valenciana/abci-sesenta-habitantes-y-230000-turistas-isla-poblada-mas-pequena-espana-lanza-201807301124\\_noticia.html](https://www.abc.es/espana/comunidad-valenciana/abci-sesenta-habitantes-y-230000-turistas-isla-poblada-mas-pequena-espana-lanza-201807301124_noticia.html)
- [23] EPSAR. (25 de septiembre de 2019). Obtenido en la página web de la Generalitat Valenciana: <http://www.epsar.gva.es/instalaciones/edar.aspx?id=3>
- [24] Los faros del mundo. (25 de septiembre de 2019). *Faro de Tabarca (Alicante)*. Obtenido en la página web de los faros del mundo: <https://www.losfarosdelmundo.com/faro-de-tabarca-2/>
- [25] Semana de la arquitectura de la Comunidad Valenciana 2007. *La iglesia de San Pedro y San Pablo*. Santiago Varela Botella.
- [26] Alicante. (25 de septiembre de 2019). Obtenido en la página web del Ayuntamiento de Alicante: <https://www.alicante.es/es/equipamientos/museo-nueva-tabarca>

- [27] Asociación cultural Alicante Vivo. (25 de septiembre de 2019). *El cementerio de Tabarca*. Obtenido en la página web de Alicante Vivo: <http://www.alicantevivo.org/2009/01/el-cementerio-de-tabarca.html>
- [28] Conselleria de Política Territorial, Obras Públicas y Movilidad. (26 de septiembre de 2019). Obtenido en la página web de la Generalitat Valenciana: <http://politicaterritorial.gva.es/es/web/puertos/puertos-cv/puertos-gv/isla-de-tabarca/informacion-general>
- [29] Ministerio de Industria, Energía y Turismo. *Consumos del Sector Residencial en España 2017*. Instituto de la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE).
- [30] *Guía de Ahorro y Eficiencia Energética en Establecimientos Hoteleros de la Comunidad Valenciana 2003*. Plan de Ahorro y Eficiencia Energética.
- [31] Mediterráneo Señales Marítimas (MSM). (30 de septiembre de 2019). Obtenido en la página web de Mediterráneo Señales Marítimas: [https://mesemar.com/wp-content/uploads/2016/06/MLL-1000\\_Lampara-LED-para-faros-historicos.pdf](https://mesemar.com/wp-content/uploads/2016/06/MLL-1000_Lampara-LED-para-faros-historicos.pdf)
- [32] Ministerio para la transición ecológica. *Informe sintético de indicadores de eficiencia energética en España 2017*. Instituto de la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE).
- [33] Es eficiencia. (1 de octubre de 2019). Obtenido en la página web de Es eficiencia: <https://www.eseficiencia.es/2018/09/28/olfer-cambia-la-iluminacion-una-iglesia-reduce-consumo-energetioc-600w>
- [34] Regenera. *Auditoría energética de edificios municipales de Alhama 2016*. Instituto de fomento Región de Murcia.
- [35] Ministerio para la transición ecológica. *Guía técnica de eficiencia energética de iluminación 2001*. Instituto de la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE).
- [36] Sheperd, W (2003). *Energy Studies*. Imperial College Press.
- [37] Energía solar. (6 de octubre de 2019). Obtenido en la página web de Energía solar: <https://solar-energia.net/energia-solar-termica/alta-temperatura>
- [38] Solarwatt. (6 de octubre de 2019). Obtenido en la página web de Solarwatt: <https://www.solarwatt.es/productos/produciendo-energia/modulos-fv/>
- [39] Enaltia solar. (6 de octubre de 2019). Obtenido en la página web de Enaltia solar: <https://enaltiasolar.es/ventajas-autoconsumo-solar/>
- [40] Isla renovable proyecto. (7 de octubre de 2019). Obtenido en la página web de Proyecto isla renovable: <http://proyectoislarenovable.iter.es/recursos/imagenes/>
- [41] Ortega, M (2000). *Energías renovables*.

- [42] Ministerio para la transición ecológica. (10 de octubre de 2019) *Eólica de pequeña potencia*. Obtenido en la página web del Instituto de la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE): <https://www.idae.es/tecnologias/energias-renovables/uso-electrico/eolica/eolica-de-pequena-potencia>
- [43] Ministerio de Industria, Energía y Turismo. *Minicentrales hidroeléctricas 2006*. Instituto de la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE).
- [44] La Nación. (10 de octubre de 2019). Obtenido en la página web de La Nación: <https://www.lanacion.com.ar/tecnologia/una-central-hidroelectrica-personal-y-amigable-con-el-medio-ambiente-nid1442087>
- [45] Eba S. L. (12 de octubre de 2019). Obtenido en la página web de Eba: <http://ebasl.es/producir-energia-con-la-biomasa/>
- [47] Power oil and gas. (12 de octubre de 2019). Obtenido en la página web de Power, oil and gas: <http://www.poweroilandgas.sener.es/proyecto/central-de-biomasa-en-merida>
- [46] Acciona. (12 de octubre de 2019). Obtenido en la página web de Sostenibilidad: <https://www.sostenibilidad.com/energias-renovables/que-es-y-como-funciona-la-biomasa/>
- [48] Universidad Católica de Chile. (14 de octubre de 2019). Obtenido en la página web de hrudnick: [http://hrudnick.sitios.ing.uc.cl/alumno12/costosernc/D.\\_Mare.html](http://hrudnick.sitios.ing.uc.cl/alumno12/costosernc/D._Mare.html)
- [49] Ecomanía blog. (14 de octubre de 2019). Obtenido en la página web de Ecomanía blog: <http://ecomaniablog.blogspot.com/2011/08/grandes-centrales-mareomotrices.html>
- [50] Geotermia vertical. (17 de octubre de 2019). Obtenido en la página web de Geotermia vertical: <https://www.geotermiavertical.es/energia-geotermica/>
- [51] Enair. (25 de octubre de 2019). Obtenido en la página web de Enair: <https://www.enair.es/es/aerogeneradores/e200l>
- [52] Ministerio de Industria, Energía y Turismo. *Energía eólica 2006*. Instituto de la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE).
- [53] Institut cartogràfic Valencià. (26 de octubre de 2019). Obtenido en la página web de la Generalitat Valencia: <http://visor.gva.es/visor/>
- [54] Albasolar. (29 de octubre de 2019). Obtenido en la página web de Albasolar: <https://albasolar.es/productos-energia-solar/paneles-fotovoltaicos/>
- [55] Global Solar Atlas. (30 de octubre de 2019). Obtenido en la página web de Global Solar Atlas: <https://globalsolaratlas.info/detail?c=38.193672,-0.515671,11&s=38.164255,-0.474472&m=site&pv=medium,180,32,825>
- [56] Teknosolar. (5 de noviembre de 2019). Obtenido en la página web de Teknosolar: <https://www.teknosolar.com/inversor-de-conexion-a-red-fronius-symo-20-0-3-m-20kw/>

[57] Apuntes de Proyectos (2015, Ref. 370, Publicaciones UPV)

[58] Sotysolar. (10 de noviembre de 2019). Obtenido en la página web de Sotysolar:  
<https://sotysolar.es/placas-solares/instalar>

[59] Economipedia. (20 de noviembre de 2019). Obtenido en la página web de Economipedia: <https://economipedia.com/definiciones>

[60] Ministerio para la transición ecológica. *Plan de Energías Renovables 2011-2020*. Instituto de la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE).

[61] Omie. (23 de noviembre de 2019). Obtenido en la página web de Omie: [www.omie.es](http://www.omie.es)

[62] Sendeco2. (23 de noviembre de 2019). Obtenido en la página web de Sendeco2:  
<https://www.sendeco2.com/es/>