



# GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

“Las energías renovables en las Islas Baleares”

Autor: Olivia Manera Reus

Director: Jaime Navarro Ocón

Madrid

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título

“Las energías renovables en las Islas Baleares”

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el

curso académico 2023/24 es de mi autoría, original e inédito y

no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos.

El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido

tomada de otros documentos está debidamente referenciada.



Fdo.: Olivia Manera Reus

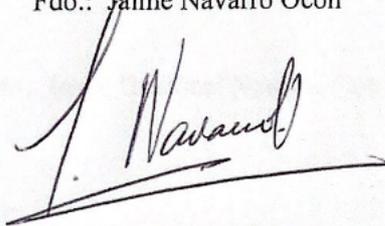
Fecha: 23/06/ 2024

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Jaime Navarro Ocón

Fecha: 4.../ 7.../ 2024







# GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

“Las energías renovables en las Islas Baleares”

Autor: Olivia Manera Reus

Director: Jaime Navarro Ocón

Madrid

# **“LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN LAS ISLAS BALEARES”**

**Autor: Manera Reus, Olivia,**

Director: Navarro Ocón, Jaime.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas.

## **RESUMEN DEL PROYECTO**

Este estudio de investigación, trata de destacar cómo una incorporación eficiente de las energías renovables en el sistema energético de las Islas Baleares es fundamental. Con este propósito, se ha llevado a cabo una revisión crítica de las tecnologías existentes y un análisis de las ventajas relacionadas con la implementación de tecnologías innovadoras en la gestión y eficiencia del sistema eléctrico.

**Palabras clave:** Cambio climático, Energías Renovables, Optimización, Estrategias, Almacenamiento, Inteligencia Artificial, Unión Europea, Islas Baleares.

### **1. Introducción**

Actualmente, es evidente que la dependencia de los combustibles fósiles contribuye al cambio climático, es por ello, que la Unión Europea y España están incrementando su enfoque en la descarbonización, tratando de impulsar la transición energética y priorizándola en su agenda política.

En este contexto, es importante recordar que, en España, tres de cuatro toneladas de gases de efecto invernadero (GEI) provienen del sector energético. Este sector es fundamental en la actualidad, ya que el suministro eléctrico proporciona el elemento clave para el desarrollo económico, ambiental y social español.

En 2019, el gobierno español presentó el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC), con el principal objetivo de no generar ningún tipo de emisión GEI en 2050, y disminuir las emisiones un 20% en 2030, respecto al año 1990. Considerando estas metas, el PNIEC incluye medidas específicas destinadas a facilitar la transición energética en las islas, ya que presentan características relevantes en el sector de la energía, que hacen que sea difícil reducir su dependencia de los combustibles fósiles.

En estos territorios insulares, una matriz energética libre de emisiones es fundamental. En concreto, las Islas Baleares poseen determinadas cualidades, debido a su carácter aislado y su reducido tamaño, que requieren que su descarbonización se adapte a retos particulares y, por tanto suponen un gran desafío energético para el país.

El presente trabajo trata de analizar como alcanzar un sistema energético descarbonizado mediante el uso de las energías renovables, en el que se aproveche al máximo la generación disponible con el uso de técnicas de inteligencia artificial.

En este sentido el proyecto va acorde con los objetivos de reducción de emisiones establecidos en la ley 10/2019 de Cambio Climático y Transición Energética:

- *El Plan de Transición Energética y Cambio Climático deberá prever las medidas necesarias para avanzar hacia la mayor autosuficiencia energética, de manera que en el año 2050 haya la capacidad para generar en el territorio de las Illes Balears, mediante energías renovables, al menos el 70% de la energía final que se consuma en este territorio.*
  
- *El Plan deberá prever cuotas quinquenales de penetración de energías renovables, por tecnologías, con el fin de alcanzar progresivamente los siguientes objetivos, definidos como proporción de la energía final consumida en el territorio balear:*
  - i. El 35% para el año 2030.*
  - ii. El 100% para el año 2050.*

## **2. Definición del Proyecto**

El estudio pretende poner de manifiesto, la importancia de incrementar la participación de las renovables (solar y eólica) en el sistema energético balear, con el fin de conseguir la reducción de la dependencia energética exterior, la estabilización y el decrecimiento de la demanda energética, el fomento de la gestión inteligente de la demanda de energía y, la promoción de la resiliencia y adaptación de la ciudadanía a los efectos del cambio climático. Se expone como estas medidas, conllevan la disminución de las emisiones de gases nocivos, favorecen el surgimiento de empleo, reducen costes energéticos y revitalizan la economía, algo fundamental en la coyuntura española actual.

No obstante, la integración de las energías renovables presenta un principal inconveniente: la falta de gestionabilidad. Es aquí, cuando la inteligencia artificial entra en acción como una solución al optimizar tanto la producción como el consumo de energía renovable. Mediante la intersección entre avances tecnológicos y modificaciones normativas, surgen soluciones que se habían considerado durante años en el sector renovable, pero nunca llevado a cabo.

Específicamente, el análisis predictivo impulsado por algoritmos de inteligencia artificial, permitiría pronosticar las condiciones climáticas y la demanda energética, facilitando realizar ajustes anticipados en la generación y distribución de energía renovable. Lograr un alto nivel de gestión de la demanda a través de estas herramientas, no sólo puede llevar a una reducción en la necesidad de capacidad de almacenamiento, sino también ayudar reducir costes eléctricos y conseguir una mejor estabilidad de la red.

### **3. Conclusiones**

En definitiva, la implicación de las Islas Baleares en la lucha contra el cambio climático debe ser una prioridad. En el presente trabajo de fin de grado se subraya el compromiso de alcanzar la descarbonización del archipiélago balear, mediante una mayor implementación de la energía solar y eólica, uso de tecnologías de almacenamiento y técnicas de inteligencia artificial.

### **4. Referencias**

- [1] Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030 (PNIEC), Ministerio Para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Enero 2020  
<https://www.miteco.gob.es/ca/prensa/pniec.html>
- [2] BOIB, Ley 10/2019 de cambio climático y transición energética, Febrero, 2019.  
<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2019-5579>

# **“RENEWABLE ENERGIES IN THE BALEARIC ISLANDS”.**

**Author: Manera, Olivia.**

Supervisor: Navarro Ocón, Jaime.

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

## **ABSTRACT**

This research study, tries to highlight the importance of how an efficient incorporation of renewable energies in the energy system of the Balearic Islands is crucial. With this purpose, a critical review of the existing and possible future technologies, and an analysis of the advantages of implementing innovative technologies related with the management and efficiency of the balearic energetic system, have been carried out.

**Keywords:** Climate change, Renewable Energies, Optimization, Strategies, Energy Storage, Artificial Intelligence, European Union, Balearic Islands.

## **1. Introduction**

Currently, it's evident that the dependence on fossil fuels contributes to climate change, which is the main reason why the European Union and Spain are increasing their focus on decarbonization, trying to boost the energy transition and prioritizing it in their political agenda.

In this context, it is important to remember that, in Spain, three out of four tons of greenhouse gases come from the energy sector. This sector is fundamental, as electricity supply provides the key element for Spanish economic, environmental and social development.

In 2019, the Spanish government presented the National Integrated Energy and Climate Plan, with the main objective of not generating any greenhouse gas emissions in 2050, and decreasing them by 20% in 2030, compared to 1990. Considering these goals, the plan includes specific measures aimed at facilitating the energy transition in the islands, as they present relevant characteristics in the energy sector, which make more complicated to reduce their dependence on fossil fuels.

In this island territories, an emission-free energy matrix is essential. In particular, the Balearic Islands have certain qualities, due to their isolated nature and small size, which require their decarbonization to be adapted to particular challenges and, therefore, pose a great energy challenge for the country.

The present research tries to analyze how to achieve a decarbonized energy system through the use of renewable energies, in which the available generation is maximized with the use of AI techniques.

In this sense, the project is in line with the emission reduction targets established in the following law, *Ley 10/2019 de Cambio Climático y Transición Energética*:

- *El Plan de Transición Energética y Cambio Climático deberá prever las medidas necesarias para avanzar hacia la mayor autosuficiencia energética, de manera que en el año 2050 haya la capacidad para generar en el territorio de las Illes Balears, mediante energías renovables, al menos el 70% de la energía final que se consume en este territorio.*
  
- *El Plan deberá prever cuotas quinquenales de penetración de energías renovables, por tecnologías, con el fin de alcanzar progresivamente los siguientes objetivos, definidos como proporción de la energía final consumida en el territorio balear:*
  - iii. *El 35% para el año 2030.*
  - iv. *El 100% para el año 2050.*

## **2. Definition of the project**

The study aims to highlight the importance of increasing the participation of renewable energy (solar and wind) in the Balearic energy system, in order to achieve the reduction of foreign energy dependence, the stabilization and decrease of energy demand, the promotion of intelligent management of energy demand and the promotion of resilience and adaptation of citizens to the effects of climate change. It is explained how these measures lead to the reduction of GHG, help the creation of employment, reduce energy costs and revitalize the economy, essential things in the current Spanish situation.

However, the integration of renewable energies has a major drawback: the lack of manageability. This is where artificial intelligence comes into play as a solution by optimizing both, the production and consumption of renewable energy. Through the intersection between technological advances and regulatory changes, solutions emerge that had been considered for years in the renewable sector, but never implemented.

Specifically, predictive analytics driven by AI algorithms would allow forecasting weather conditions and energy demand, facilitating early adjustments to renewable energy generation and distribution. Achieving a high level of demand management through these tools can not

only lead to a reduction in the need for storage capacity, but also help reduce electricity costs and achieve better grid stability.

### **3. Conclusions**

In short, the involvement of the Balearic Islands in the fight against climate change must be a priority. In this thesis we underline the commitment to achieve the decarbonization of the Balearic community, through a greater implementation of solar and wind energy, complemented with storage and artificial intelligence techniques.

### **4. References**

- [1] Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030 (PNIEC), Ministerio Para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Enero 2020  
<https://www.miteco.gob.es/ca/prensa/pniec.html>
- [2] BOIB, Ley 10/2019 de cambio climático y transición energética, Febrero, 2019.  
<https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2019-5579>

## *Índice de la memoria*

<b>Capítulo 1. Introducción.....</b>	<b>6</b>
1.1 Objetivos.....	7
1.2 Enfoque de la investigación.....	7
<b>Capítulo 2. Impacto del Cambio climático en el archipiélago balear.....</b>	<b>9</b>
2.1 Rol del turismo en el contexto energético.....	9
2.1.1 Variabilidad estacional en el consumo energético balear.....	10
2.1.2 Impacto económico del turismo en la energía.....	11
2.1.3 Iniciativas de turismo sostenible y energías renovables.....	12
<b>Capítulo 3. El sistema energético balear.....</b>	<b>16</b>
3.1 Situación actual.....	16
3.1.1 Interconexiones energéticas y sostenibilidad.....	16
3.1.2 Energías renovables en las Islas Baleares.....	20
3.2 Prospectiva de Energías Renovables.....	24
3.3 Combinación Óptima de Energías Renovables en Baleares.....	25
3.3.1 Energía solar fotovoltaica.....	26
3.3.2 Energía Eólica.....	37
<b>Capítulo 4. Almacenamiento de energía.....</b>	<b>47</b>
4.1 Retos y soluciones en el almacenamiento de energías renovables.....	47
4.1.1 Hidrógeno verde.....	47
4.1.2 Baterías de vanadio.....	49
4.1.3 Conclusión del almacenamiento de Energías Renovables.....	50
<b>Capítulo 5. Coste del sistema eléctrico en las Islas Baleares.....</b>	<b>51</b>
5.1 Precio de la producción de electricidad balear.....	51
5.2 Empleo generado mediante la instalación de renovables.....	52
5.3 Inversiones en un sistema renovable.....	53
<b>Capítulo 6. Integración de la inteligencia artificial.....</b>	<b>55</b>
6.1 Previsión futura sobre el sistema energético.....	55
6.2 Ciudades y comunidades sostenibles.....	56

6.3 Aspectos generales de los pronósticos de generación eólica y solar .....	57
6.3.1 <i>Mantenimiento predictivo en la energía eólica</i> .....	58
6.3.2 <i>Gestión de campos solares</i> .....	59
6.4 Inteligencia artificial y los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) .....	59
<b>Capítulo 7. <i>Análisis de Resultados y conclusiones</i> .....</b>	<b>61</b>
<b>Capítulo 8. <i>Bibliografía</i>.....</b>	<b>63</b>

## Índice de figuras

**Figura 1.** *Suministro de energía a partir de energías renovables (a) frente a energías finitas o no renovables (b).*

**Figura 2.** *Evolución de la demanda turística regional europea para distintos escenarios de calentamiento global, comparada con 2019 en términos porcentuales.*

**Figura 3.** *Evolución de la demanda eléctrica por islas en 2023.*

**Figura 4.** *Evolución del producto interior bruto en Baleares.*

**Figura 5.** *Evolución de la demanda eléctrica balear.*

**Figura 6.** *Red de transporte balear.*

**Figura 7.** *Evolución de las emisiones y factor de emisión de CO<sub>2</sub> eq. de la Generación. Sistema eléctrico: Islas Baleares.*

**Figura 8.** *Producción de energía renovable (%) respecto a la total generada en **Formentera** en 2023.*

**Figura 9.** *Ratio generación renovable (% y GWh) por comunidad autónoma en 2023.*

**Figura 10.** *Evolución de la energía renovable generada respecto a la generación total eléctrica balear.*

**Figura 11.** *Evolución de la energía renovable generada respecto a la demanda eléctrica balear.*

**Figura 12.** *Evolución de la energía renovable balear generada (solar y eólica).*

**Figura 13.** *Estructura de la generación balear por tecnologías (%) en 2023.*

**Figuras 14 y 15.** *Capacidad de almacenamiento requerida según el mix de producción renovable.*

**Figura 16.** *Irradiación global anual en la Unión Europea.*

**Figura 17.** *Parques fotovoltaicos en servicio y en tramitación en Mallorca.*

**Figura 18.** *Irradiación solar mensual en Mallorca en 2020.*

**Figura 19.** *Aptitud fotovoltaica (ambiental y territorial) de las Islas Baleares.*

**Figura 20.** *Posible localización de los parques fotovoltaicos en las Islas Baleares.*

**Figura 21.** *Principales tecnologías fotovoltaicas.*

**Figura 22.** *Evolución de eficiencias de células solares en función de la tecnología empleada.*

**Figura 23.** *Gráfica comparativa de eficiencias de células solares y potencias de panel en función de la tecnología empleada.*

**Figura 24.** *Distancia de seguridad entre placas.*

**Figura 25.** *Aptitud eólica terrestre (ambiental y territorial) de las Islas Baleares.*

**Figura 26.** *Potencial eólico ( m/s) de las Islas Baleares a 50m y 100m de altura respecto el nivel del mar.*

**Figura 27.** *Ubicación de los posibles parques eólicos a instalar.*

**Figura 28.** *Curvas de potencia de los aerogeneradores.*

**Figura 29.** *Evolución de la capacidad onshore y offshore instalada en Europa.*

**Figura 30.** *Mapa barimétrico de las Islas Baleares.*

**Figura 31.** *Plan de ordenación del espacio marítimo de la demarcación marina levantino-balear.*

**Figuras 32.** *Evolución de la capacidad de los electrolizadores globales y de la producción de hidrógeno verde.*

**Figuras 33.** *Evolución del precio de la energía solar fotovoltaica.*

**Figuras 34.** *Evolución del precio de la energía eólica.*

**Figura 35.** *Evolución de la población balear 2004-2024.*

**Figura 36.** *Visor de emisión anual de CO<sub>2</sub> del sector de transporte.*

**Figura 37.** *Impactos positivos de la IA.*

## *Índice de tablas*

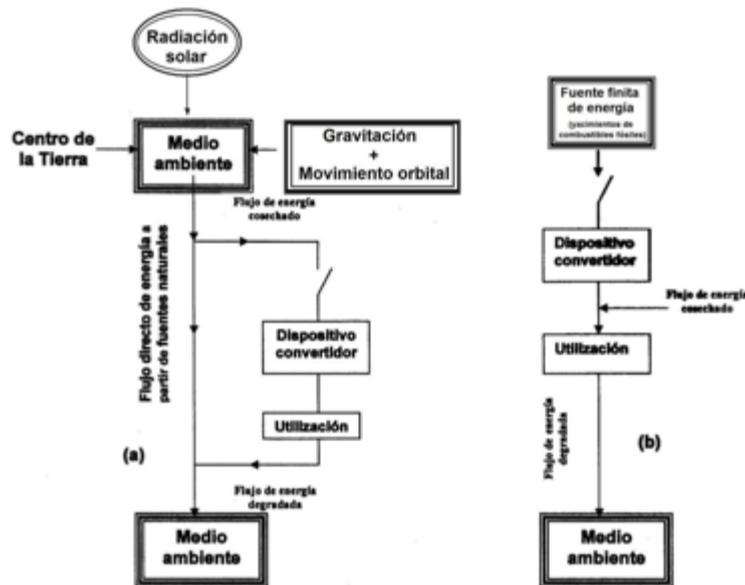
**Tabla 1.** *Energía procedente en MWh del enlace Península-Baleares respecto a la demanda energética balear.*

**Tabla 2.** *Especificaciones eléctricas Panasonic HIT VBHN330SJ53.*

**Tabla 3.** *Grado de inclinación óptimo en función del mes en Mallorca.*

## Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

Las energías renovables son una fuente limpia e inagotable de energía, de acuerdo con importantes autores como J. Twidell o A. Weir se pueden definir como “*flujo energético que se restablece al mismo ritmo al que se utiliza.*” En contraste, la energía no renovable sería aquella energía obtenida a partir de yacimientos finitos, acumulaciones estáticas de energía, que se mantienen fijas hasta que son liberadas por los seres humanos.



**Figura 1.** Suministro de energía a partir de energías renovables (a) frente a energías finitas o no renovables (b). Fuente: UAM [49]

El futuro de las Baleares debe estar enfocado hacia las energías renovables, teniendo en cuenta su ubicación, la radiación solar y el recurso eólico que reciben a lo largo del año es muy elevada. Por tanto, existe una gran oportunidad para cambiar la forma de operar del sistema energético balear. Este trabajo pretende ser una herramienta para facilitar el camino hacia un sistema energético más sostenible.

## ***1.1 OBJETIVOS***

- Analizar la actuación de la Unión Europea y de España respecto a la transición hacia un modelo de energía sostenible y eficiente, para reducir la dependencia de los combustibles fósiles.
- Apoyar el impulso de las políticas medioambientales y energéticas que incentiven la incorporación de las energías renovables a nivel nacional y regional.
- Estudiar y analizar el sector energético balear, y el devenir actual de las energías renovables en las Islas Baleares.
- Presentar un posible modelo energético balear, basado en energías renovables (solar y eólica) que utilice de manera eficiente los recursos, permitiendo al sistema eléctrico alcanzar la sostenibilidad a largo plazo.
- Ajustar la demanda hacia la generación, imprescindible en sistemas pequeños, para reducir significativamente la capacidad de almacenamiento necesaria. Además, promover el desarrollo de técnicas de almacenamiento eficaces para respaldar posibles fallos y apoyar la gestión de la energía renovable.
- Determinar la relación entre la implementación de las energías renovables, técnicas de inteligencia artificial y la resolución de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).
- Aplicar soluciones de inteligencia artificial para optimizar la gestión y operación de infraestructuras energéticas renovables.
- Dar a conocer la existencia de sistemas que facilitan el acceso a la financiación necesaria para incorporar las energías renovables, e impulsar el desarrollo de iniciativas sostenibles en zonas con características climáticas y energéticas parecidas.

## ***1.2 ENFOQUE DE LA INVESTIGACIÓN***

Durante el desarrollo de la investigación, se analizarán varias cuestiones relacionadas con: la garantía de suministro, la adaptabilidad del sistema eléctrico de las Baleares, la gestión del almacenamiento de energía y la gestión inteligente. Con la aportación de datos estadísticos y argumentos, se podrá obtener una visión general de la estructura actual del

sistema eléctrico en las Islas Baleares, así como proyecciones futuras y posibles medidas innovadoras para descarbonizarlo, superando retos asociados a su variabilidad estacional y a las características insulares.

## **Capítulo 2. IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL ARCHIPIÉLAGO BALEAR**

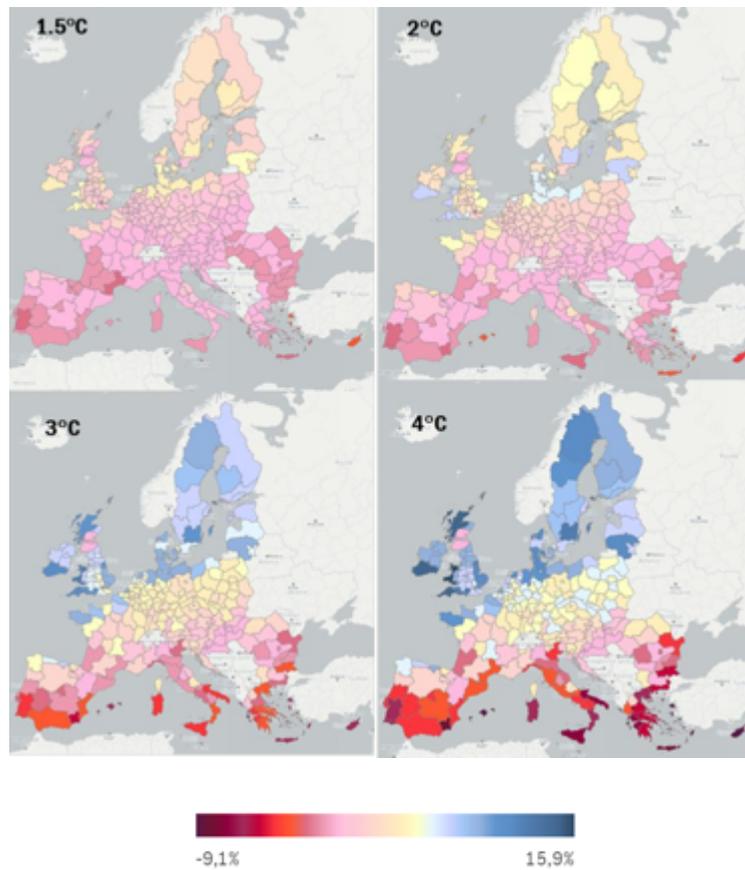
Según la codirectora de la Unidad de Referencia en Cambio Climático, Salud y Medio Ambiente Urbano de la Escuela Nacional de Sanidad, Baleares es de las zonas más afectadas del mundo por el cambio climático. Durante los últimos 40 años, en Baleares la temperatura ha aumentado 0,3°C por década en la temperatura media, datos preocupantes de cara a cumplir con el Acuerdo de París de 2016.

El archipiélago balear, es particularmente vulnerable a los efectos ocasionados por el cambio climático y, si no se toman las medidas adecuadas, se prevé que el territorio quede expuesto a numerosas sequías meteorológicas e hidrológicas, pérdida de ecosistemas costeros, aumento en el riesgo de inundaciones e incendios forestales, merma en los cultivos, aumento en la velocidad de los procesos de desertificación y, como consecuencia de estas condiciones adversas, una disminución en el atractivo turístico.

### ***2.1 ROL DEL TURISMO EN EL CONTEXTO ENERGÉTICO***

La comunidad autónoma de las Islas Baleares es uno de los principales destinos turísticos en el Mediterráneo dentro de la Unión Europea. Considerando la preferencia de un número cada vez mayor de turistas por la sostenibilidad, el territorio balear debe aspirar a ser un referente en el uso de las energías renovables y la eficiencia energética.

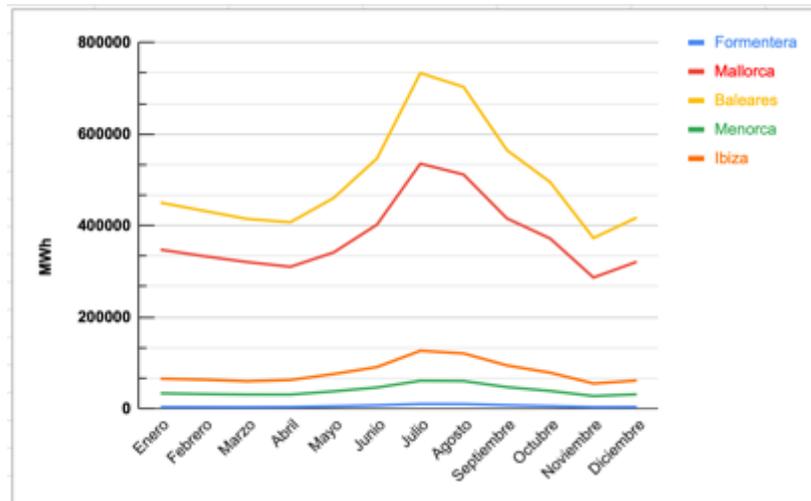
En Julio de 2023, el Centro Común de Investigación (JRC) de la Comisión Europea publicó un informe que señala a algunas áreas de España, entre ellas las Islas Baleares, como las regiones europeas en las cuales el turismo es más susceptible al cambio climático. En los siguientes mapas, se aprecia que en un escenario extremo con un aumento de la temperatura global de 4°C, las Islas Baleares experimentarían una disminución del turismo de más del 5% durante todo el año. Por tanto, el cambio climático supone un desafío de primer orden para el sector turístico en Baleares.



**Figura 2.** Evolución de la demanda turística regional europea para distintos escenarios de calentamiento global, comparada con 2019 en términos porcentuales. **Fuente:** Centro Común de Investigación de la Comisión Europea.

### 2.1.1 VARIABILIDAD ESTACIONAL EN EL CONSUMO ENERGÉTICO BALEAR

En las Islas Baleares, el consumo de energía eléctrica experimenta fluctuaciones muy significativas a lo largo del año. Durante los meses de temporada alta, concretamente en los meses de Julio y Agosto, la cantidad de turistas que visitan las islas es mucho mayor y la demanda de energía eléctrica tiende a alcanzar picos más altos.



**Figura 3.** Evolución de la demanda eléctrica por islas en 2023. **Fuente:** Elaboración propia a partir de datos de IBESTAT. [14]

La gráfica anterior refleja como, en la totalidad de los casos, la punta de demanda anual se alcanza en los meses de verano, ya que conforme a los datos del Instituto de Estadística de las Islas Baleares, el flujo de turistas es muy superior en esta época del año (3.005.577 turistas-Agosto 2023), frente a la temporada de invierno (232.430 turistas-Enero 2023).

Durante estos periodos, las instalaciones turísticas tales como: hoteles, restaurantes, comercios y aeropuertos, deben operar a plena capacidad y suponen un gran desafío para el sistema eléctrico local.

### 2.1.2 IMPACTO ECONÓMICO DEL TURISMO EN LA ENERGÍA

En definitiva, las Islas Baleares destacan, en el ámbito turístico, como una de las regiones más dinámicas de España. Según datos de CaixaBank Research, el Producto Interior Bruto (PIB) del archipiélago experimentó un crecimiento del 3,8% en 2023, cifras por encima de la media nacional y recuperando niveles precrisis. Este impulso económico se debe principalmente a la actividad turística, gracias a la generación de empleo y el consumo que ha ocasionado.



**Figura 4.** Evolución del producto interior bruto en Baleares. **Fuente:** CaixaBank Research. [18]

**Figura 5.** Evolución de la demanda eléctrica balear. **Fuente:** REE. [13]

En las figuras anteriores, se observa la relación entre la demanda eléctrica presente en las Islas Baleares y el crecimiento real medio del PIB en el territorio. Se puede ver cómo antes del 2022, la demanda eléctrica balear iba acorde con el crecimiento real medio del PIB en el archipiélago. En los últimos dos años, las variables no se encuentran tan vinculadas pero aún así se espera que, a largo plazo, sigan resultando directamente proporcionales.

### 2.1.3 INICIATIVAS DE TURISMO SOSTENIBLE Y ENERGÍAS RENOVABLES

A finales de 2023, el archipiélago balear fue seleccionado por la Comisión Europea (CE), para formar parte de una iniciativa aplicada a los territorios insulares, con el principal objetivo de alcanzar la independencia energética en 2030. Mediante el programa comunitario, se pretende que las islas determinen por su cuenta el camino para alcanzar la neutralidad climática, recibiendo posteriormente una asistencia integral para abordar dicho camino. Como resultado, se espera que el proyecto fomente el intercambio de ideas entre islas y las convierta en modelos pioneros para la planificación de sistemas de energía renovable.

Es vital que el desarrollo de las energías renovables en el territorio, se lleve a cabo de manera respetuosa con el medioambiente y sin afectar negativamente al paisaje de las islas, al ser pilares esenciales del modelo económico insular. Por tanto, se subraya la importancia de que

las medidas energéticas que se tomen en Baleares no afecten, en la medida de lo posible, a la competitividad del sector turístico, dado que la actividad económica de las islas está principalmente vinculada a dicho sector.

### ***2.1.3.1 Oportunidades de eficiencia energética en el sector del transporte***

El sector del transporte es el responsable de más de la mitad de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en los territorios no peninsulares (TNP), al predominar el uso de productos petrolíferos, con aproximadamente unos 3,5 MtCO<sub>2eq</sub>/año en el archipiélago balear.

Los vehículos eléctricos, junto con el cambio modal al transporte público y medios no motorizados, como caminar o ir en bicicleta, podrían considerarse una solución viable para lograr la descarbonización.

Las Islas Baleares, al tratarse de territorios relativamente pequeños y no requerir desplazamientos largos, cumplen con las características adecuadas para la posible implantación del coche eléctrico.

Son varios los esfuerzos realizados por el Govern de les Illes Balears para fomentar el uso de este tipo de vehículos. En 2013 se estableció el Plan Piloto, el cual supuso la instalación de más de 2.000 puntos para recargar coches eléctricos, tanto en lugares públicos como privados. Años más tarde, se diseñó un distintivo MELIB (Movilidad Eléctrica en las Islas Baleares) proporcionando ciertas ventajas, tales como, recarga gratuita, incentivos de tipo fiscal, entre otras, para aquellas personas en posesión de un vehículo eléctrico. Sin embargo, estas medidas no son suficientes para lograr que el vehículo eléctrico sea el futuro de la circulación balear.

Algunas de las ventajas que presenta el vehículo eléctrico frente al vehículo convencional:

→ Menor coste completo para clientes particulares, debido al mayor kilometraje anual que los usuarios realizan en las Baleares, se consiguen reducir los costes totales por kilómetro recorrido al explotar su mayor eficiencia, ya que un VE requiere mucha menos energía para

llevar a cabo la misma distancia. Por ejemplo, un vehículo convencional con un consumo real de 8,5 l/100 km presenta un consumo medio de 80 kWh/100 km, mientras que uno eléctrico consumiría de media 15 kWh/100 km.

→ En la mayoría de los modelos comercializados de VE, la autonomía actual ronda los 300 km. Datos esperanzadores debido a que un trayecto completo alrededor de Mallorca, la isla más grande del archipiélago, es de unos 320 km.

→ Las emisiones GEI de un vehículo eléctrico en los TNP, teniendo en cuenta las emisiones derivadas de la producción de electricidad, son casi un 55% inferiores a las emisiones directas causadas por un turismo convencional medio. Estas cifras podrían incluso mejorarse según se avance en la descarbonización del parque de generación. Por lo tanto, se subraya la necesidad de acompañar la penetración del VE con el desarrollo de la generación renovable.

A pesar de todo, siguen habiendo abundantes barreras para que el VE sustituya al convencional a corto plazo, como por ejemplo: insuficiente infraestructura de recarga, un mayor coste inicial de adquisición, que a pesar de poder ser compensado con el ahorro en combustible a lo largo de la vida útil, sigue siendo un impedimento para su adquisición, y especialmente para el sector de alquiler, donde el VE no es más económico, ya que el mayor coste inicial, no es compensado con el menor coste en combustible, al abonarlo el cliente y no la empresa alquiladora.

De otro modo, el cambio modal a transporte público podría considerarse como otra opción para reducir las emisiones GEI y reducir la congestión en las islas, al permitir desplazar en un mismo vehículo 10-20 veces más pasajeros que en un vehículo particular. De la mano del cambio modal, deben ir restricciones en el uso del vehículo privado y la electrificación del transporte público (eléctrico o de hidrógeno), pudiendo ser una tecnología competitiva con la esperada reducción del coste de las baterías, y considerando una futura producción local de hidrógeno. En este contexto, el hidrógeno verde se considera clave para la descarbonización de los autobuses, al sólo emitir vapor de agua como subproducto de la conversión del hidrógeno en electricidad y, por tanto, no dañar la calidad del aire. Además, en comparación con los vehículos eléctricos que funcionan con baterías, el hidrógeno

presenta tiempos de carga más rápidos, una mayor autonomía y se trata de un combustible alternativo que no genera ruido ni vibraciones, ventaja importante de cara a su uso dentro de zonas urbanísticas.

## Capítulo 3. EL SISTEMA ENERGÉTICO BALEAR

### 3.1 SITUACIÓN ACTUAL

#### 3.1.1 INTERCONEXIONES ENERGÉTICAS Y SOSTENIBILIDAD

A causa de su situación geográfica, el sistema balear cuenta con una interconexión con la Península y varias que conectan entre si las islas de Mallorca, Menorca, Ibiza y Formentera vitales para mejorar la eficiencia energética y sostenibilidad del suministro eléctrico.

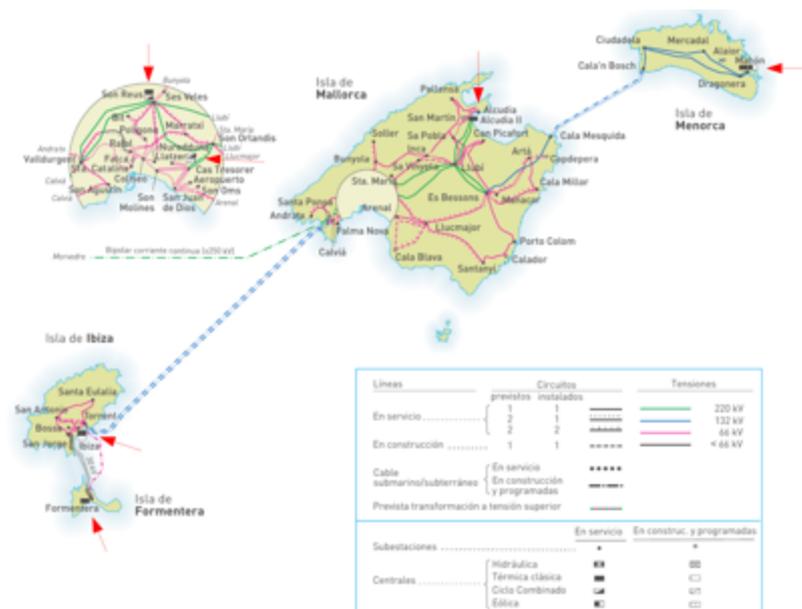


Figura 6. Red de transporte balear. Fuente: Proyecto Rómulo (REE). [1]

##### 3.1.1.1 Interconexión con la Península

Desde el 14 de agosto de 2012, Mallorca se encuentra conectada mediante un enlace eléctrico submarino con la península ibérica. La primera fase proyecto Rómulo, llevada a cabo por la Red Eléctrica Española (REE), conecta la subestación de Santa Ponsa, en Calviá (Mallorca), punto de conexión elegido por estar a menor profundidad, distancia y especificaciones del

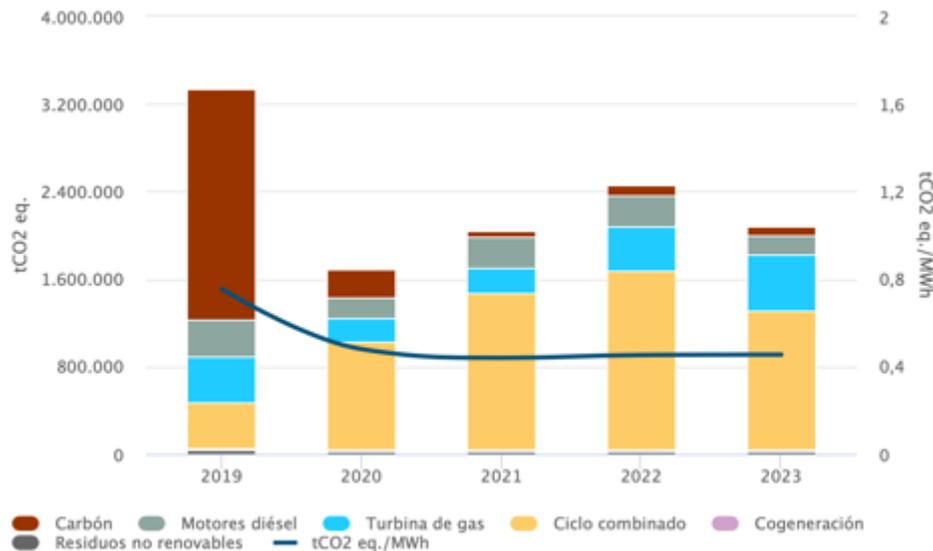
recorrido submarino, con la subestación de Morvedre, en el municipio de Sagunto (Valencia).

La interconexión proporciona una conexión submarina de alta tensión de  $\pm 250$  kV, mediante un enlace bipolar de 400 MW, consta de dos cables de potencia y uno de retorno, de 237 km de largo, con una profundidad máxima de 1485 metros.

El enlace es en corriente continua, debido a las distancias y potencias que se requieren, permitiendo así reducir pérdidas de energía en el transporte y controlar el flujo de potencia. Esta peculiaridad ha requerido la construcción de dos estaciones a cada lado, encargadas de convertir la corriente alterna que circula por ambos sistemas eléctricos en la continua que circula por el cable submarino.

A causa de su funcionamiento, gran parte del consumo global del sistema balear es suministrado por el enlace, ocasionando un ahorro para el conjunto del sistema eléctrico de 100 millones de euros anuales. A su vez, la importación de energía peninsular supone una disminución de las emisiones derivadas de la generación eléctrica, alcanzando una reducción de 500.000 toneladas anuales de CO<sub>2</sub>.

Se evidencia, por tanto, que los ahorros en emisiones de CO<sub>2</sub> en la comunidad van mayoritariamente asociados a la importación de energía renovable proveniente de la interconexión con la península y no al desarrollo de energías renovables en el territorio.



**Figura 7.** Evolución de las emisiones y factor de emisión de CO<sub>2</sub> eq. de la Generación. Sistema eléctrico: Islas Baleares. **Fuente:** REE. [7]

La Red Eléctrica de España (REE), presente en el archipiélago desde julio de 2004, prevé que con el desarrollo de las infraestructuras contempladas en la planificación eléctrica vigente y, en particular, con el refuerzo de la interconexión eléctrica con la Península de hasta 650 MW, los beneficios actuales se dupliquen, consiguiendo una mayor integración de energías renovables, la reducción del funcionamiento de la generación térmica basada en gas, y la mitigación del uso de carbón y gasóleo dentro del mix eléctrico balear.

Sin embargo, aunque resulta evidente que la unificación entre el sistema eléctrico balear y el sistema peninsular es fundamental, lo óptimo sería que las Islas Baleares llegaran a un alto nivel de autosuficiencia en cuanto a generación de energía renovable. Al hacer uso de los abundantes recursos solares y eólicos de los que disponen, se podrían adaptar a cualquier escenario futuro y transformarse en un modelo eficiente y sostenible.

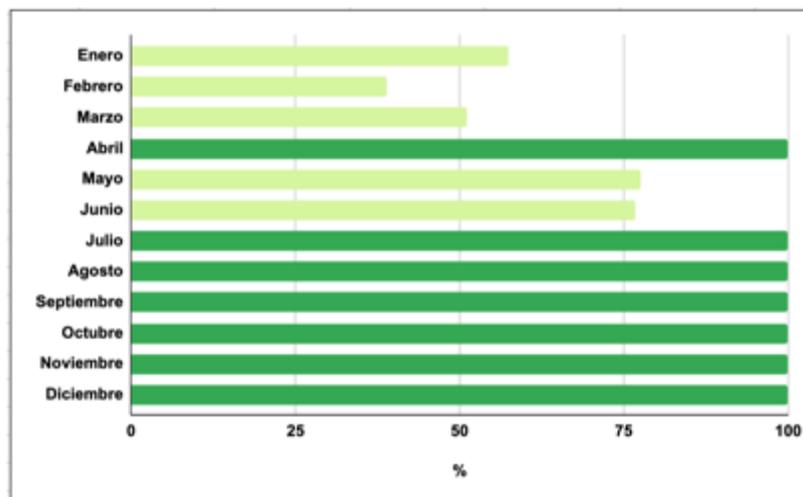
### 3.1.1.2 Interconexión Ibiza y Formentera

El nuevo enlace eléctrico submarino entre Ibiza y Formentera instalado en Junio de 2023, supone un gran avance en la garantía de suministro de Formentera, ya que a pesar de las islas

encontrarse previamente conectadas, los cables anteriores estaban en malas condiciones, superando los treinta y cinco años de antigüedad.

La interconexión consiste en un enlace tripolar de corriente alterna en dos circuitos de 132 kV, con una capacidad de transporte de 53 MVA para cada uno de los circuitos, aportando una mayor robustez al sistema.

Con el desarrollo de la nueva conexión, la totalidad de la demanda energética de la más pequeña de las Pitiüses queda cubierta, complementándose únicamente con la producción local de energía solar fotovoltaica y, por tanto, dejando de lado el uso de combustibles fósiles.



**Figura 8.** Producción de energía renovable (%) respecto a la total generada en *Formentera* en 2023.

**Fuente:** Elaboración propia a partir de datos de IBESTAT. [14]

### **3.1.1.3 Interconexión Mallorca y Menorca**

La instalación de la infraestructura submarina de 132 kV que une eléctricamente a las islas de Mallorca y Menorca, supone una mayor estabilidad y calidad de servicio para el sistema energético balear. A través de este enlace, Cala Mesquida (Artá-Mallorca) y Cala en Bosc (Ciudadela-Menorca) quedan unidas y Menorca aumenta sus capacidades de absorber

energía renovable, pudiendo también así exportar su energía renovable producida al resto del sistema eléctrico balear.

#### ***3.1.1.4 Interconexión Mallorca e Ibiza***

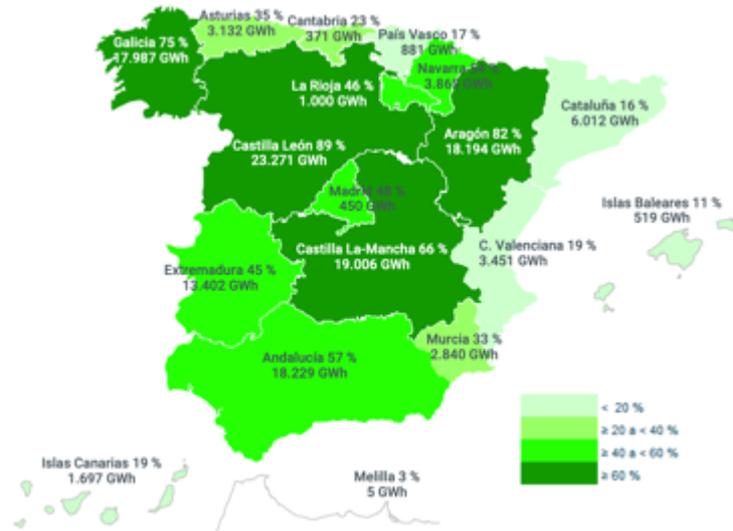
La segunda fase del proyecto Rómulo entró en servicio en 2015 y une los dos subsistemas eléctricos baleares (Mallorca-Menorca y Ibiza-Formentera). Se trata de un doble enlace tripolar de 126 km de largo, en corriente alterna a 132 kV de tensión y 2 x 100 MW de potencia.

Es un hito tecnológico para el transporte eléctrico ya que es el enlace submarino más largo del mundo en corriente alterna y llega a alcanzar profundidades de hasta 800 metros.

Por tanto, mediante la interconexión eléctrica submarina entre Mallorca e Ibiza, se pone fin al aislamiento eléctrico de Ibiza, ocasionándose numerosos beneficios y ahorros para el archipiélago.

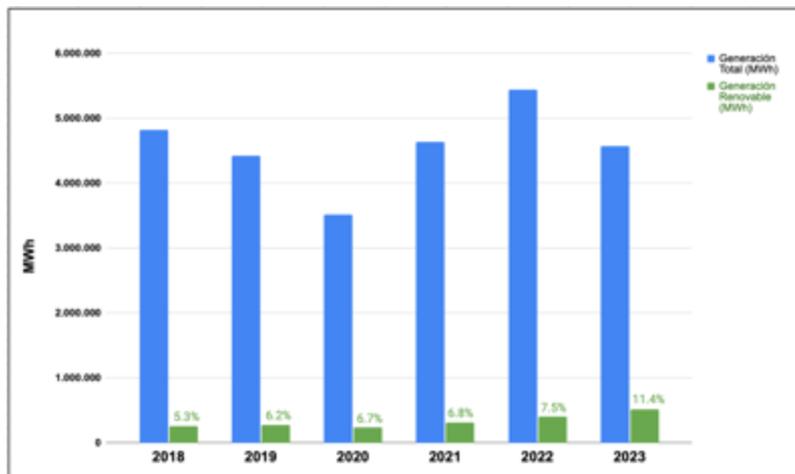
#### **3.1.2 ENERGÍAS RENOVABLES EN LAS ISLAS BALEARES**

Según el documento de Red Eléctrica “Informe de energías renovables 2023”, las Islas Baleares han aumentado en un 28 % la contribución de las tecnologías renovables al conjunto energético del archipiélago respecto al 2022. Aún así, la mayoría de la energía generada en Baleares sigue proviniendo de energías no limpias, resultando así una de las comunidades autónomas con menor producción y penetración de renovables. En 2023, aproximadamente sólo el 11,4%, del total de energía generada localmente, fue renovable, datos que resultan muy preocupantes de cara a la transición de las islas hacia una energía más limpia.



**Figura 9.** Ratio generación renovable (% y GWh) por comunidad autónoma en 2023. Fuente: REE.

[2]



**Figura 10.** Evolución de la energía renovable generada respecto a la generación total eléctrica balear.

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de REE. [2]

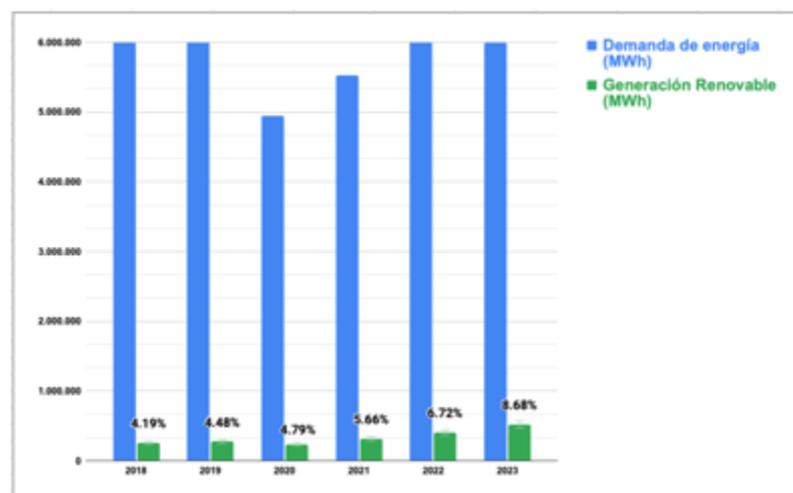
En la gráfica anterior, se aprecia la evolución de la proporción de la energía renovable producida sobre el total de energía eléctrica balear generada. Según los datos mostrados, este incremento de casi el doble con respecto al 2018, se podría asociar a una tendencia creciente de las energías renovables en las islas. Sin embargo, este valor es puramente estadístico y se

debe, mayoritariamente, al progresivo descenso de la producción de energía eléctrica en baleares, ocasionado por la importación de energía peninsular a través del cable submarino.

Año	2018	2019	2020	2021	2022	2023
<b>Demanda</b>	6.057.408	6.115.226	4.941.725	5.528.283	6.041.702	6.002.376
<b>Enlace</b>	1.233.358	1.694.841	1.426.538	890.229	602.734	1.426.060
<b>Enlace (%)</b>	<b>20,36</b>	<b>27,72</b>	<b>28,87</b>	<b>16,1</b>	<b>9,98</b>	<b>23,76</b>

**Tabla 2.** Energía procedente en MWh del enlace Península-Baleares respecto a la demanda energética balear. **Fuente:**Elaboración propia a partir de datos de REE

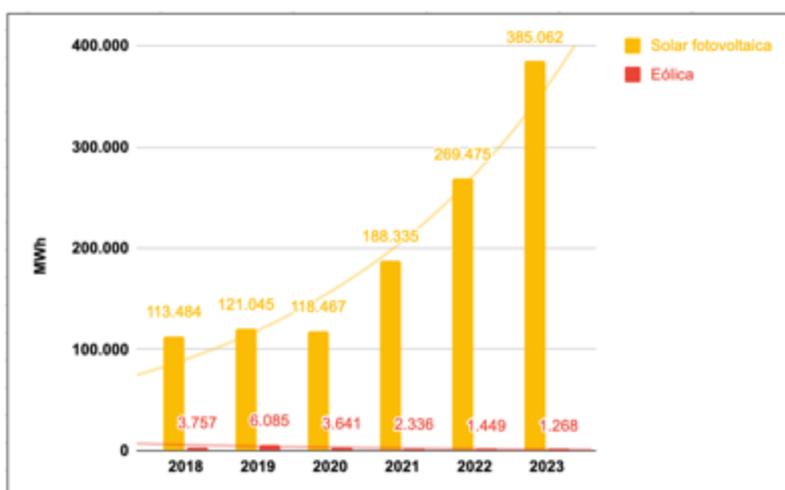
En la figura siguiente se puede observar que, aunque ha habido un gran avance en la generación renovable del territorio, no se aumenta a la par con la demanda de energía eléctrica balear. De cara a analizar la autosuficiencia energética, la demanda es la variable con la que se deben comparar los datos de generación renovable. Un 8,68% de producción de energía renovable respecto a la demanda total, no es suficiente para lograr los objetivos climáticos.



**Figura 11.** Evolución de la energía renovable generada respecto a la demanda eléctrica balear.

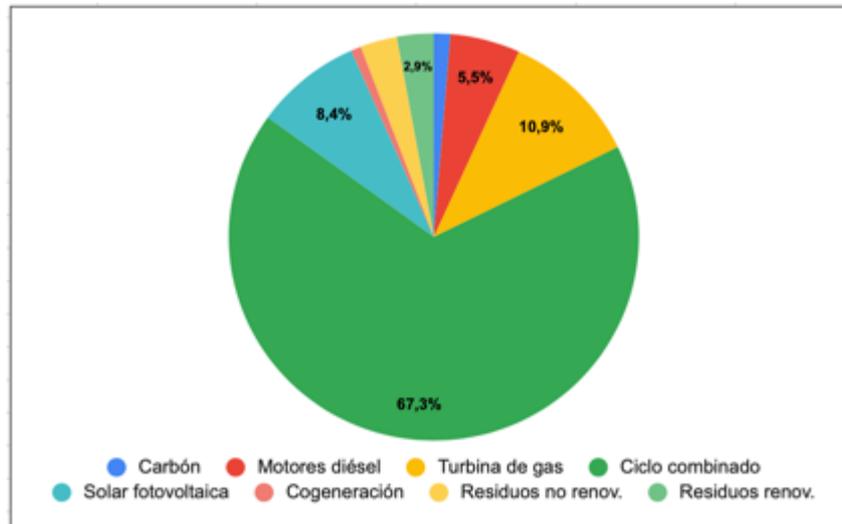
**Fuente:** Elaboración propia a partir de datos de REE. [2]

Tal y cómo se mencionó anteriormente, la Ley 10/2019 establece que en el año 2050, al menos, el 70% de la energía final consumida en la comunidad autónoma, sea generada localmente por renovables. Uno de los principales objetivos de esta ley es progresar hacia la autosuficiencia energética. Sin embargo, sin una mayor penetración de energías renovables, alcanzar estas cifras no resultará una tarea sencilla, debido a que de acuerdo a una investigación realizada por Monitor Deloitte, se estima que la demanda eléctrica en las Islas Baleares siga una clara tendencia creciente, alcanzando los 10 TWh para el año 2040.



**Figura 12.** Evolución de la energía renovable balear generada (solar y eólica). Fuente: Elaboración propia a partir de datos de REE. [13]

Según el gráfico anterior, se puede apreciar que a lo largo de los años, la energía solar fotovoltaica ha ido ganando protagonismo en la generación eléctrica balear. En 2023, la energía solar fotovoltaica generada en el archipiélago aumentó significativamente en comparación con el año anterior, alcanzando los 385,062 MWh. A pesar de este crecimiento, tal y como se observa a continuación en la **figura 13**, la mayor parte de la energía producida en las Islas Baleares sigue proviniendo de plantas de ciclo combinado, aunque su producción haya sido reducida considerablemente, registrándose un 22,9% menos que el año anterior.



**Figura 13.** Estructura de la generación balear por tecnologías (%) en 2023. **Fuente:** Elaboración propia a partir de datos de REE. [13]

### 3.2 PROSPECTIVA DE ENERGÍAS RENOVABLES

A pesar de los esfuerzos realizados para reducir el uso de combustibles fósiles, tanto a nivel estatal como balear, se necesita un impulso adicional y nuevas propuestas con el fin de abordar el desafío climático y revertir la situación actual.

La transformación del sistema energético actual es esencial para evitar importantes impactos negativos de carácter ambiental, social y económico. Estas repercusiones se manifiestan principalmente en perjuicios para la salud humana, la salida de capital hacia el exterior, una mayor contaminación del aire y la intensificación del cambio climático.

A continuación, se expondrán cuáles son las energías renovables con un mayor potencial para ser desarrolladas en las Islas Baleares, qué futuro tienen y la modelización de un posible sistema basado en energías verdes y limpias.

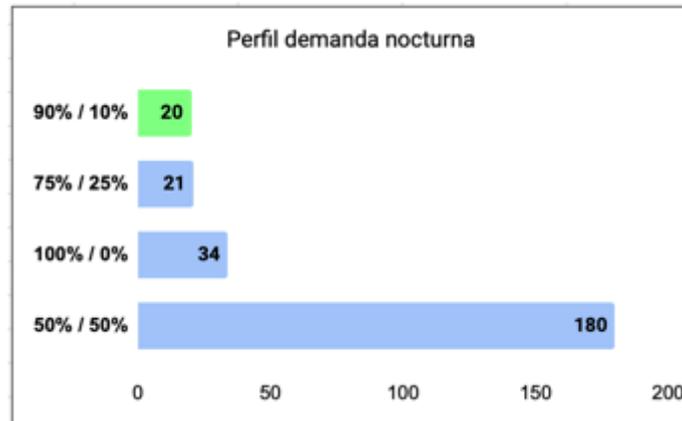
### 3.3 *COMBINACIÓN ÓPTIMA DE ENERGÍAS RENOVABLES EN BALEARES*

Considerando el contexto territorial, económico y ambiental balear, la mejor combinación de fuentes de energías renovables es la energía solar fotovoltaica, junto con la eólica terrestre y marina. El sistema a desarrollar se centra en estas dos principales fuentes de energía renovable. Adicionalmente, se destaca el gran potencial de almacenamiento mediante el hidrógeno verde, con iniciativas como “*Power to Green Hydrogen Mallorca*”, una planta de electrólisis que utiliza la energía de dos plantas fotovoltaicas para generar hidrógeno verde.

En cuanto a otras renovables, la energía hidroeléctrica no se contempla como una opción, debido a que las islas carecen de grandes cursos de agua continuos. Además, dado el alto coste de capital, el bajo rendimiento (de sólo el 3%) y el poco oleaje del mar balear, la energía mareomotriz también ha sido descartada. Finalmente, la energía de la biomasa y la undimotriz tampoco se eligen debido a su baja eficiencia y desarrollo.

Tras seleccionar estos dos tipos de renovables, se debe decidir la cantidad en la que se distribuirá la producción entre ambos, es decir, cuánta potencia instalada se requerirá de cada uno.





**Figuras 14 y 15.** Capacidad de almacenamiento requerida según el mix de producción renovable.

**Fuente:** Elaboración propia a partir de datos de Monitor Deloitte.[11]

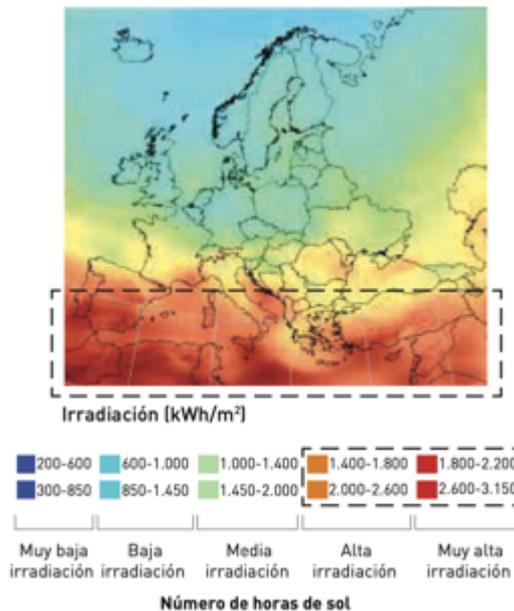
Para encontrar el equilibrio óptimo entre el porcentaje de energía fotovoltaica y eólica, se ha analizado la capacidad necesaria de almacenamiento en (GWh), para cada una de las combinaciones **Solar/Eólica**, basado en los datos del estudio de Deloitte [11] . En la **figura 15**, se observa claramente que la alternativa que menos almacenamiento necesita es establecer un 90% de energía solar fotovoltaica y un 10% de energía eólica, al ser más predecible el funcionamiento de la energía solar. Un mix de generación 50 % energía solar y 50% eólica requeriría 10 veces más capacidad de almacenamiento.

### 3.3.1 ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

La energía solar fotovoltaica es una energía limpia y renovable que se obtiene a partir de la radiación electromagnética del Sol. La principal ventaja de este tipo de energía es que el Sol, es una fuente natural e inagotable de energía.

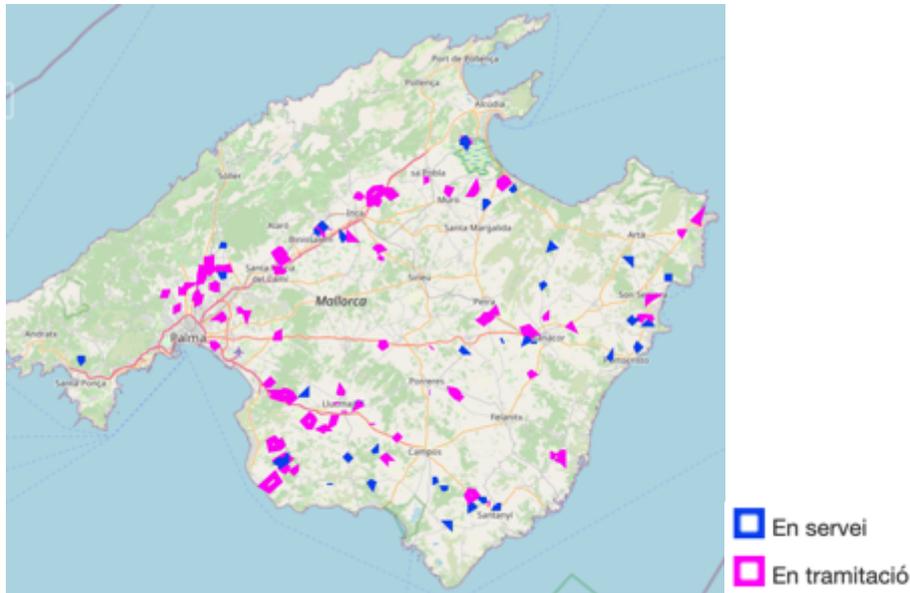
En estos sistemas, la extracción de energía se realiza a través de células fotovoltaicas, encargadas de transformar la luz y el calor proveniente del Sol en electricidad. Los paneles solares captan la luz solar, ocasionando la liberación de energía por parte de los electrones y convirtiéndola posteriormente en electricidad.

España, se posiciona como uno de los países europeos con mayor número de horas de sol registradas a lo largo del año, condiciones que representan una gran ventaja a la hora de instalar sistemas de energía solar.



**Figura 16.** Irradiación global anual en la Unión Europea. Fuente: IDAE-BCG. [30]

Únicamente, sobre el suelo rústico de Mallorca hay alrededor de 300MW fotovoltaicos instalados, **figura 17**, y se prevé que la ocupación del suelo rústico actual se duplique, tras llevar a cabo los proyectos fotovoltaicos en tramitación previstos.



**Figura 17.** Parques fotovoltaicos en servicio y en tramitación en Mallorca. **Fuente:** IDEIB [15]

En la figura anterior, se aprecia como la energía solar fotovoltaica cuenta un potencial muy alto dentro del territorio balear, especialmente en Mallorca, con numerosas plantas en servicio como: el parque de Es Rafalot, con 32 hectáreas destinadas a la generación de energía, 80 MWh de almacenamiento y una potencia instalada de 40 MWp, el parque de Endesa en Sa Caseta, con una potencia instalada de 21,83 MW y BiniPark en Binissalem, el primer parque solar fotovoltaico de Baleares, con una potencia instalada de 2,8 MW.

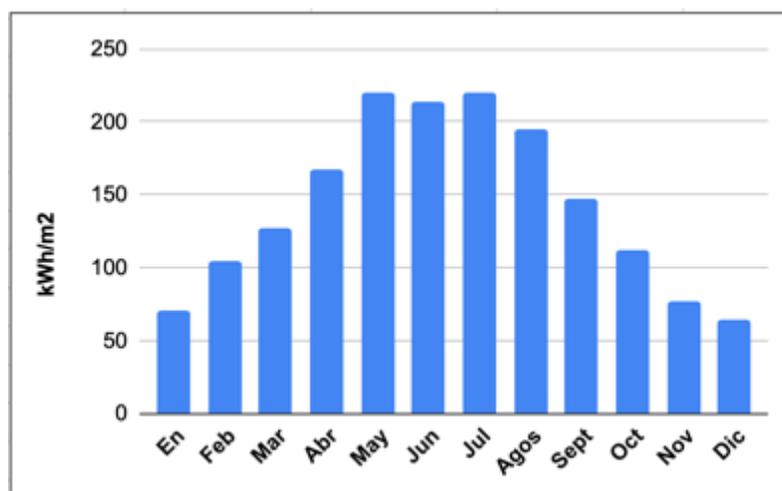
### ***3.3.1.1 Evaluación del recurso solar***

Con el objetivo de calcular el potencial que tiene la energía solar fotovoltaica en las Islas Baleares, es importante evaluar el recurso solar del terreno. Para calcularlo se han empleado distintas herramientas para ejecutar simulaciones y bases de datos como: Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) de la Comisión Europea, Renewables Ninja, datos de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) y POWER Data Access Viewer de la NASA.

Cabe destacar que las principales variaciones en la radiación solar se deben a la época del año, y que de un año a otro, los valores experimentan cambios relativamente pequeños. En los meses estivales y a determinadas horas del día, la producción fotovoltaica es mayor.

Además, a la hora de evaluar el recurso solar, es importante tener en cuenta la influencia de condiciones climáticas que por disposición orográfica y latitud, afectan al archipiélago balear.

Las diferencias en la radiación solar recibida por las diferentes islas del archipiélago balear, son mínimas. Por ello, con el fin de obtener una referencia, se ha establecido un valor medio de radiación anual total sobre el plano horizontal entre todas las islas, obteniéndose un valor de 1750 kWh/m<sup>2</sup> aproximadamente, 1699 ESH/año (horas equivalentes de sol).



**Figura 18.** Irradiación solar mensual en Mallorca en 2020. **Fuente:** Elaboración propia a partir de datos de PVGIS. [3]

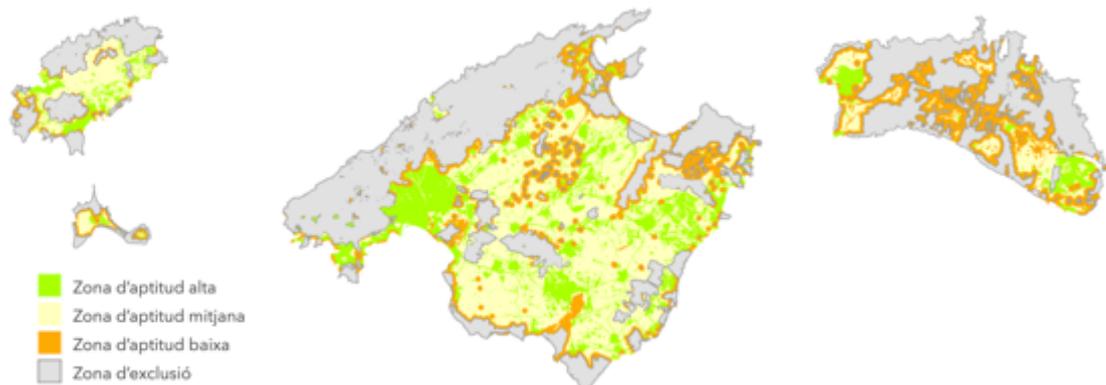
Mediante la herramienta PVGIS del Joint Research Centre de la Comisión Europea, se ha elaborado la gráfica anterior. Las coordenadas que se han introducido son las del centro geográfico de la provincia, ya que se puede comprobar analizando mapas de irradiación, que dentro de una misma provincia, la diferencia de irradiación es limitada.

En igual forma, es necesario evaluar la capacidad fotovoltaica del suelo. El caso de estudio, se centrará en analizar el suelo rústico, con el propósito de generar energía eléctrica a gran escala mediante parques fotovoltaicos. Se prescindirá del análisis del suelo urbano, es decir, de los tejados domésticos, dejando de lado la evaluación del autoconsumo.

### 3.3.1.2 Localización óptima

A la hora de instalar las placas, es de vital importancia elegir el terreno adecuado y apto para ello, asegurándose que la instalación se lleve a cabo respetando el medioambiente y sin afectar negativamente al paisaje de las islas.

En primer lugar, es necesario realizar una evaluación de la cantidad de suelo disponible para la construcción de los parques solares. Este análisis se ha realizado a través de la Infraestructura de Datos Espaciales de las Islas Baleares (IDEIB), proporcionando los siguientes mapas de aptitud fotovoltaica:



**Figura 19.** Aptitud fotovoltaica (ambiental y territorial) de las Islas Baleares. **Fuente:** IDEIB [15]

La isla que mayores zonas de exclusión presenta, a causa de: espacios naturales protegidos, riesgos ambientales, conectividad ecológica, áreas boscosas, entre otros, es Menorca, estando imposibilitado el desarrollo de los parques solares en un 50,41% de la superficie de la isla.

Por otro lado, en cifras relativas, Mallorca es la isla que cuenta con una superficie mayor en áreas de alta y media aptitud fotovoltaica, con un 16,41% y un 32,65 % respectivamente.

Al mismo tiempo, para distribuir y separar correctamente las placas, de manera que no se genere sombra entre ellas, es importante considerar dos aspectos: la orientación y la pendiente del suelo.

Finalmente, teniendo en cuenta estos aspectos, se seleccionan las siguientes zonas:



**Figura 20.** Posible localización de los parques fotovoltaicos en las Islas Baleares. **Fuente:**  
Elaboración propia, mapa IDEIB [15]

### ***3.3.1.3 Elección de placas y características***

- **Eficiencia**

A la hora de hacer una comparativa de placas solares hay varios factores que se deben tener en cuenta, ya que existen varios tipos de placas, y para identificar las más eficientes, es importante no centrarse únicamente en la potencia del panel, sino también en la superficie total del panel solar.

Los tipos de células fotovoltaicas (FV) se dividen en dos grandes grupos, las de capa fina (10% de cuota de mercado a nivel mundial) y las de silicio cristalino (90 %) , incluyendo esta última al silicio policristalino y al silicio monocristalino.

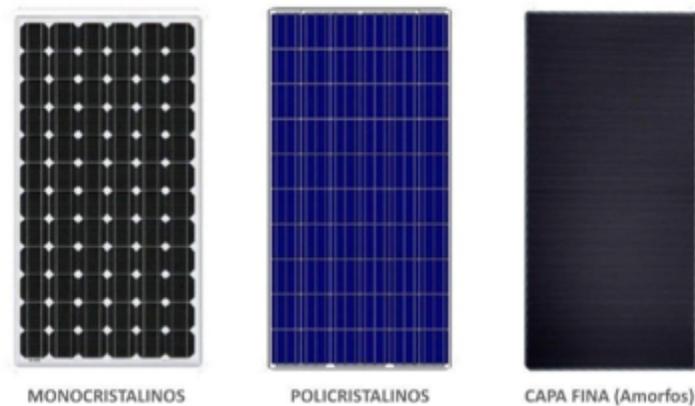


Figura 21. Principales tecnologías fotovoltaicas. Fuente: Ecofener

Las células de mono-Si destacan por su elevado rendimiento comercial, alrededor de 21% y por su precio elevado, al contrario que las células de poli-Si que, en la mayoría de ocasiones, tienen un precio más bajo que su equivalente monocristalino. La eficiencia de las células poli-Si es un poco menor, ya que cuando la iluminación es baja no son capaces de rendir tanto.

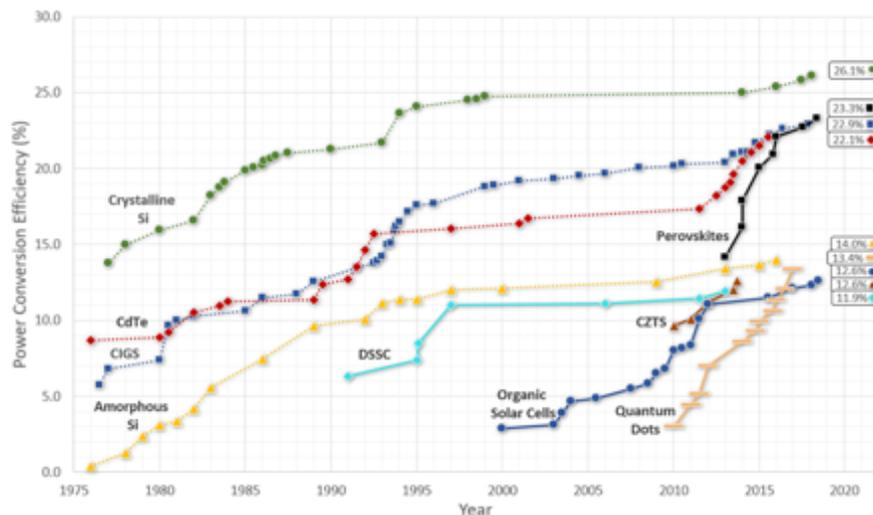
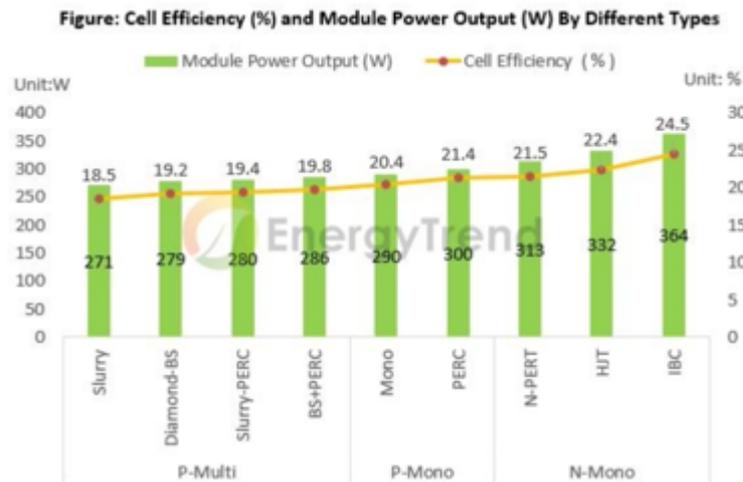


Figura 22. Evolución de eficiencias de células solares en función de la tecnología empleada.

Fuente: National Renewable Energy Laboratory NREL, solar cell efficiency chart

A lo largo de los años, el sector fotovoltaico ha mejorado considerablemente la eficiencia de los paneles solares. Llegando a alcanzar valores teóricos de más de un 25% de eficiencia en

las células de silicio cristalino, seguidas de las fabricadas con diseleniuro de cobre, indio y galio (CIGS), junto con las de cadmio (CdTE), aunque estas últimas parezca que vayan a ser retiradas del mercado, al ser el cadmio un material nocivo para la salud.



**Figura 23.** Gráfica comparativa de eficiencias de células solares y potencias de panel en función de la tecnología empleada. **Fuente:** EnergyTrend 2018 [29]

De acuerdo al estudio realizado por EnergyTrend, las placas solares más eficientes del mercado, son aquellas que incorporan tecnologías monocristalinas IBC y HIT, ambas utilizan silicio tipo N. El silicio tipo N es el más puro dentro de la industria fotovoltaica, estando la pureza directamente relacionada a la eficiencia de la célula.

Las dos marcas que destacan dentro de este tipo de paneles son: Panasonic y SunPower. Tras comparar paneles monocristalinos con potencias muy similares (ej: Panasonic EverVolt EVPV400H y SunPower SPR-A400), se escoge la marca Panasonic, debido a que en general presenta, mayores eficiencias, menor coste y mayor tolerancia al sombreado. En concreto, se podría escoger el modelo Panasonic HIT VBHN330SJ53 con una potencia de 330W y un tamaño de 1590 mm de largo y 1053 mm de ancho, resultando en una eficiencia del 19,7% o lo que es lo mismo  $197 \text{ W}_p / \text{m}^2$  para una irradiancia de  $1000 \text{ W} / \text{m}^2$ , modelo elegido también por no tener un precio muy elevado.

Pmax	Max tensión de potencia	Coficiente de temp. (Pmax)	Voltage en circuito abierto	TONC <sup>1</sup>	Tolerancia de potencia	Peso	Área del módulo	Temperatura de operación
330W	58 V	-0,258 %/°C	69,7 V	44.0 °C	+10%/-0%	19 kg	1,67 m <sup>2</sup>	-40°C a 85°C

**Tabla 2.** Especificaciones eléctricas Panasonic HIT VBHN330SJ53. [33]

<sup>1</sup>TONC= temperatura de operación nominal de la célula. Condiciones: irradiancia 800W/ m<sup>2</sup>, temperatura ambiente 20 °C, velocidad de viento de 1 m/s y masa de aire de 1,5 G.

- **Ángulo óptimo de inclinación y orientación**

En las instalaciones solares, las estructuras para los paneles solares son un elemento muy importante, ya que, gracias a ellas, la producción energética es optimizada. Estos componentes permiten modificar la inclinación y la orientación del sistema, mejorando así el rendimiento del parque.

Analizando la tabla que se muestra a continuación, tomando como referencia la isla de Mallorca, para un uso estable del parque solar, el ángulo óptimo es la media de todo el año, resultando una inclinación de aproximadamente 35 °C.

MES	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Ag.	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
°C	63	55	43	27	15	7	10	22	38	51	61	65

**Tabla 3.** Grado de inclinación óptimo en función del mes en Mallorca. **Fuente:** Elaboración propia a partir de datos de Selectra. [27]

En cuanto a orientación, los paneles fotovoltaicos deben estar en la medida de lo posible orientados hacia el sur, ya que así se garantiza que en los momentos en los que el sol ofrece una mayor radiación solar, los paneles se encuentren situados perpendicularmente.

- **Número de paneles**

El siguiente paso sería el de determinar el número de paneles necesarios para conseguir la mayor semejanza posible entre las curvas de generación y consumo y, al mismo tiempo,

maximizar el ahorro económico tras los años de operatividad de los paneles. Cabe destacar la importancia de conseguir una buena relación entre la configuración eléctrica, el espacio disponible para ubicar los módulos y el beneficio económico neto de la instalación.

El panel elegido cuenta con una superficie total de 1,67 m<sup>2</sup>. Aunque se podría considerar que dividir los m<sup>2</sup> de superficie fotovoltaica necesarios para cubrir una demanda específica ( $E_d$ ), proporcionaría el número de paneles requeridos, esta no es la opción más adecuada. En particular, desde un punto de vista económico, puede no ser la mejor y se deben tener en cuenta otros factores como: eficiencia del módulo que en el caso de estudio permanece con un valor constante de 19,7%, el coeficiente global de rendimiento (PR), que relaciona la energía producida realmente con la energía que se obtendría si el sistema operara en condiciones ideales, y finalmente la irradianza solar (G), que varía según el día y hora elegido, ya que mide la energía solar incidente en una superficie durante un tiempo determinado.

$$m2\ panel = \frac{E_d}{G * \eta_{panel} * PR}$$

Siguiendo la ecuación anterior, es evidente que cuanto más baja es la irradiancia, mayor número de paneles van a necesitarse para satisfacer la demanda.

- **Separación entre los paneles**

La correcta separación de los paneles, es imprescindible para evitar la existencia de sombras y consecuentemente, no dañar los módulos solares, ni disminuir la producción.

Dados los siguientes parámetros:

- Latitud: 39.5 °C
- Ángulo del panel sobre la horizontal: 35°C
- Longitud del panel:  $l=1590$  mm

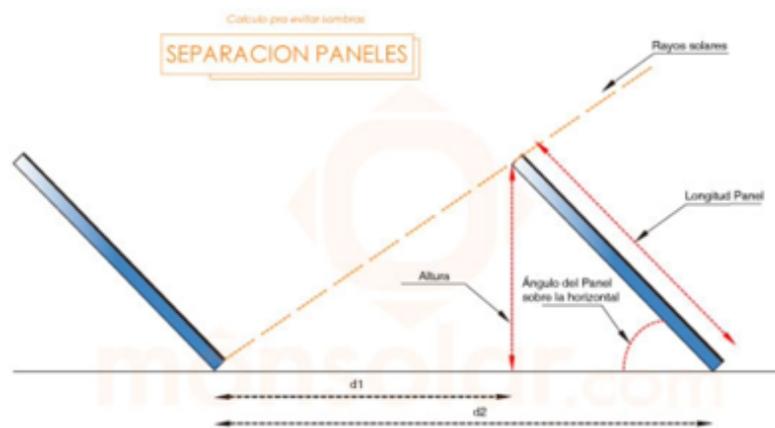
Mediante la calculadora de MonSolar, se han calculado:

→ d1 mínima: 1.79 m

→ d2 mínima: 3.092 m

→ d1 recomendada: 2.563 m.

→ d2 recomendada: 3.865 m



**Figura 24.** Distancia de seguridad entre placas. Fuente: MonSolar [32]

→ Altura:  $h = l * \sin 35 = 1.59 * \sin 35 = 0.912$

→ Coeficiente "k" (en función de la latitud del lugar):  $k = \tan(61 - \text{latitud}) = \tan(61 - 39.5) = 0.3939$

Finalmente, se obtiene un distancia mínima entre las filas de placas solares de:

$$d \geq \frac{h}{k} \geq \frac{0.912}{0.3939} \geq 2.315 \text{ m}$$

### 3.3.2 ENERGÍA EÓLICA

La energía eólica es una fuente de energía renovable, encargada de obtener electricidad a partir de la fuerza del viento. A través de aerogeneradores, la energía cinética del viento es transformada en energía mecánica y posteriormente en eléctrica, consiguiéndose una energía apta para el consumo mediante un generador.

No obstante, los aerogeneradores no son capaces de extraer toda la energía del viento. La eficiencia de la conversión de energía eólica depende de varios factores: los rozamientos mecánicos, el rendimiento del generador eléctrico, y el límite de Betz, entre otros. Esta última limitación establece que, en un escenario ideal, sin ningún otro factor de pérdida, la máxima energía cinética que se pueda extraer del viento sea del 59,3%. En realidad, la combinación de estos factores hace que la eficiencia típica de un parque eólico se encuentre en torno al 40%-50%, valor próximo al máximo teórico.

A nivel nacional, la energía eólica es la primera fuente de generación eléctrica, contribuyendo con un 23,4% a la estructura total de la generación de España en el año 2023, siendo una de las tecnologías renovables más competitivas. Sin embargo, en el territorio balear esta energía es apenas representativa, con sólo un único parque eólico terrestre en Menorca y fuera de funcionamiento.

Las principales causas por las que la energía eólica no ha adquirido importancia en Baleares son principalmente legislativas. La normativa vigente y las restricciones ambientales, junto con el rechazo social debido al impacto paisajístico, dificultan la aprobación de proyectos eólicos. Además, la zona de Mallorca que mayor recurso eólico presenta es la Sierra de Tramuntana. En esta área, al ser un espacio protegido declarado Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO, está prohibida la instalación de infraestructuras eólicas en su territorio.

El Parque Eólico de Es Milà, situado en Mahón, Menorca, tras 19 años de operación ha dejado de estar operativo tras alcanzar el fin de su vida útil y sin cumplir las expectativas de generación deseadas, ni en los periodos más favorables de la instalación. Durante su

funcionamiento, la generación media anual del parque ha sido de 4,611 MWh, un 34% menos de lo previsto.

Inicialmente, los cuatro aerogeneradores de Es Milà estaban diseñados con una altura de 70 metros. Aunque, como resultado de las reclamaciones referentes al impacto visual que generaban, la altura fue limitada a 50 metros, impidiendo así captarse el régimen de vientos adecuado, ocasionándose un mayor número de turbulencias, y consecuentemente favoreciendo las averías.

Por otro lado, el emplazamiento escogido contaba con una excesiva salinidad y humedad y con grandes diferencias de temperatura entre el día y la noche, facilitando así, que el agua se filtrara en los molinos.

En conclusión, el parque eólico menorquín evidencia la importancia de elegir el terreno adecuado y de un buen diseño de los aerogeneradores, para obtener energía limpia de forma eficiente y sin generar grandes costos.

## **Análisis de los dos tipos de energía eólica: terrestre y marina**

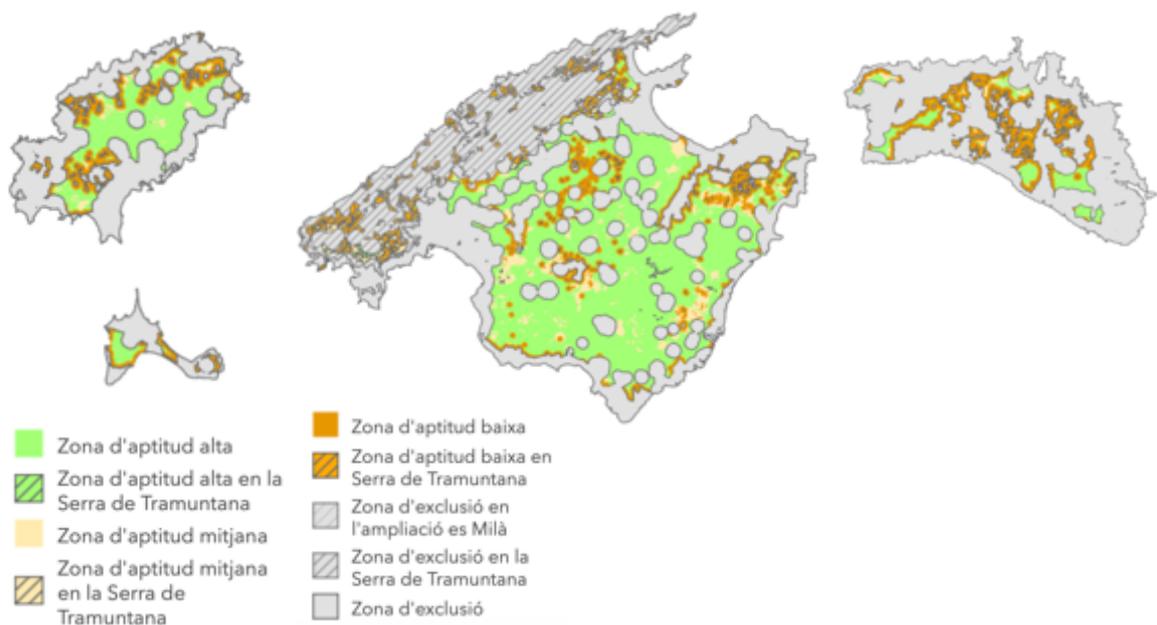
### ***3.3.2.1 Energía eólica onshore***

En las últimas décadas, gracias a avances tecnológicos, el rendimiento de los aerogeneradores emplazados en tierra es cada vez mayor, al ser más eficientes la tecnologías para identificar los lugares óptimos para su instalación. Asimismo, los costes de mantenimiento de la eólica terrestre son relativamente bajos en comparación con otras tecnologías renovables. Con alturas de más de 150 m y diámetros de rotor cada vez más amplios, las turbinas se consiguen adaptar a las condiciones específicas del emplazamiento y aprovechan al máximo el viento.

- **Localización óptima**

En el momento de escoger la ubicación de un parque eólico terrestre, es vital considerar las siguientes cuestiones: potencial energético, impacto ambiental, variación vertical del viento, viabilidad ambiental y legal, y las condiciones geológicas de la zona.

Para realizar el estudio de la instalación de parques eólicos en las Islas Baleares e identificar las áreas de emplazamiento de los aerogeneradores, se han empleado las distintas fuentes de información y softwares eólicos: Agencia Estatal de Meteorología (AEMET OpenData), Atlas Eólico Global y WindEurope.

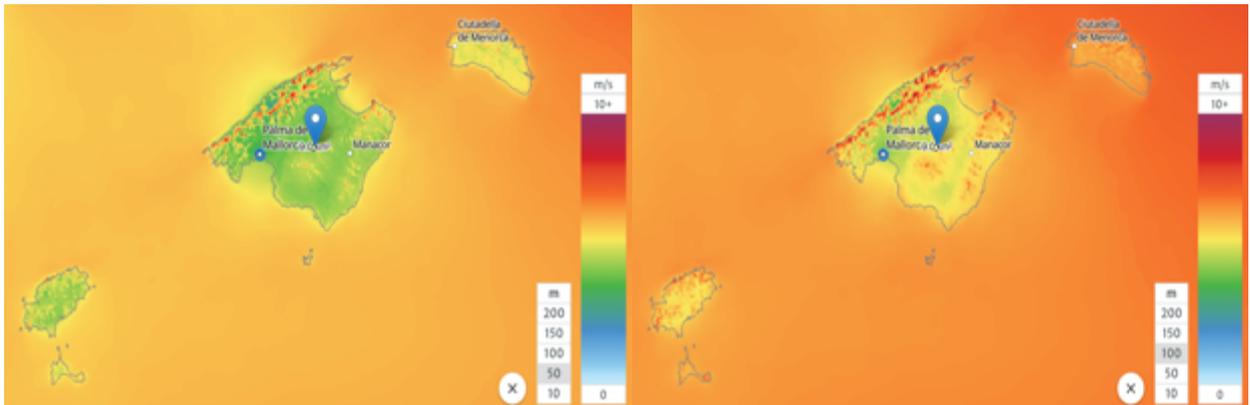


**Figura 25.** Aptitud eólica terrestre (ambiental y territorial) de las Islas Baleares. Fuente: IDEIB

[15]

Según datos del MITECO, en la comunidad autónoma de las Baleares las zonas con alta sensibilidad ambiental constituyen un 60,49%. Por otro lado, las islas que mayores zonas con alta aptitud presentan para instalar los parques eólicos son Mallorca e Ibiza. Al noroeste de la isla de Mallorca es prácticamente imposible instalar ningún parque eólico, esto se debe a la existencia del espacio natural protegido más extenso de las Islas Baleares, la Sierra de Tramuntana, con más de 62.000 hectáreas terrestres y alrededor de 1.000 hectáreas marinas.

Menorca es una isla muy plana, con elevaciones máximas de 358 m en su parte central. La isla, también conocida como la isla del aire, recibe fuertes vientos provenientes de Siberia y del norte de Rusia que barren su superficie sin ningún freno debido a su planicie. No obstante, a pesar de ser la isla con mayores vientos, es también la que tiene más superficie imposibilitada para instalar parques eólicos.



**Figura 26.** Potencial eólico ( m/s) de las Islas Baleares a 50m y 100m de altura respecto el nivel del mar.

**Fuente:** Atlas Eólico mundial [28]

En las figuras anteriores, se aprecia como la altitud contribuye a la aceleración y estabilidad de los vientos. A una mayor altura, la velocidad media del viento es superior y se puede extraer una mayor cantidad de potencia eléctrica, es por ello, que la mayoría de las turbinas son diseñadas con alturas que superan los 50 m. A una altura de 100 m sobre el nivel del mar, la velocidad media del viento en la superficie de las Islas Baleares varía, desde vientos de tan solo 4 m/s en el suroeste de Mallorca hasta alcanzar casi los 8 m/s en el noroeste de Menorca, la isla más ventosa del archipiélago, destacando entre las demás por sus velocidades de viento favorables. Por otro lado, a una altura de 50m las velocidades oscilan entre los 4-5 m/s, llegando a un velocidad máxima de ~6.5 m/s en Menorca.

Finalmente, tras analizar toda la información se seleccionan las siguientes áreas para el posible emplazamiento de los parques eólicos:



**Figura 27.** Ubicación de los posibles parques eólicos a instalar. **Fuente:** Elaboración propia, mapa IDEIB

Las zonas elegidas han sido objeto de múltiples estudios centrados en el potencial de la energía eólica, topografía del terreno, espacios protegidos y otros factores relevantes que afectan a la viabilidad de instalar proyectos eólicos en las Islas Baleares.

- **Elección del modelo de aerogenerador y características**
  - **Generalidades**

Existen varios tipos de aerogeneradores con una gran variedad de configuraciones, pero principalmente podemos encontrar dos tipos: de eje vertical o VAWT, siglas en inglés *Vertical Axis Wind Turbine* y de eje horizontal o HAWT, siglas en inglés *Horizontal Axis Wind Turbine*. La última configuración es la más empleada en España, concretamente, la turbina de eje horizontal con un total de 3 palas en su hélice y será la que se analizará en el caso de estudio.

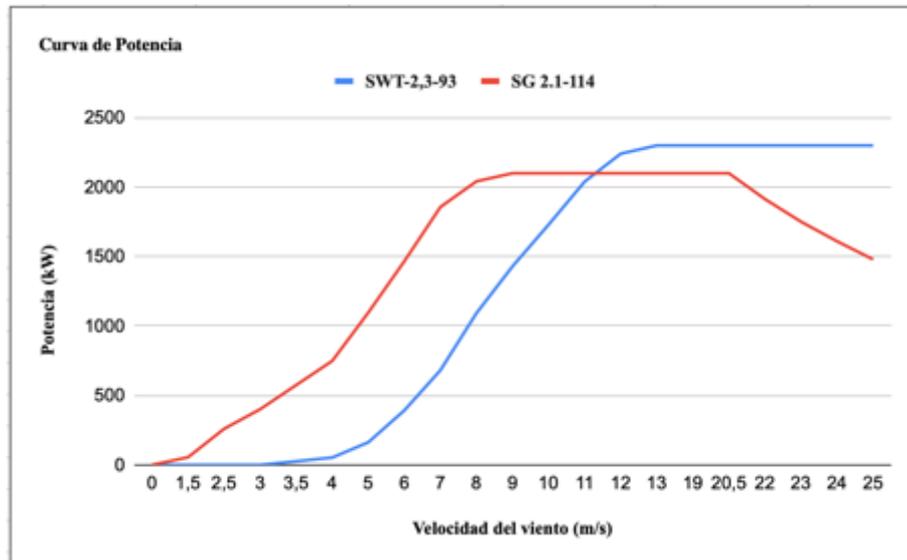
- **Curvas de potencia**

A partir de vientos de entre 3-4 m/s, los aerogeneradores empiezan a funcionar, deteniéndose cuando la velocidad del viento supera los 25 m/s por razones de seguridad. Esto queda reflejado en las curvas de potencia de la mayoría de los aerogeneradores del mercado, las

cuales relacionan la velocidad instantánea del viento con la producción eólica del aerogenerador.

<b>Modelo</b>	<b>Siemens SWT- 2.3-93</b>	<b>Siemens Gamesa SG 2.1-114</b>
<b>Potencia nominal</b>	2,30 MW	2,10 MW
<b>Densidad de potencia</b>	2,96 m <sup>2</sup> /kW	4,87 m <sup>2</sup> /kW
<b>Vel. mínima del viento</b>	3,5 m/s	1,5 m/s
<b>Vel. Nominal del viento</b>	13 m/s	9 m/s
<b>Vel. Max. del viento</b>	25 m/s	25 m/s
<b>Diámetro Hélice</b>	93 m	114 m
<b>Área de barrido</b>	6.793 m <sup>2</sup>	10.207 m <sup>2</sup>
<b>Compatible offshore</b>	Sí	No

**Tabla 3. Comparativa para la elección del aerogenerador onshore. Fuente:Elaboración propia**



**Figura 28.** *Curvas de potencia de los aerogeneradores.* Fuente: Elaboración propia partir de los catálogos de los aerogeneradores.

Analizados los dos tipos distintos de turbinas terrestres, se elegirá el modelo Siemens SWT-2.3-93. El principal motivo de la elección se debe a que a pesar de requerir una velocidad mínima de viento mayor para empezar a generar energía, alcanza una mayor potencia nominal y aguanta vientos más fuertes. A su vez, el modelo elegido está presente en una gran cantidad de parques eólicos, unos 126 frente a los 6 del otro modelo, a nivel mundial.

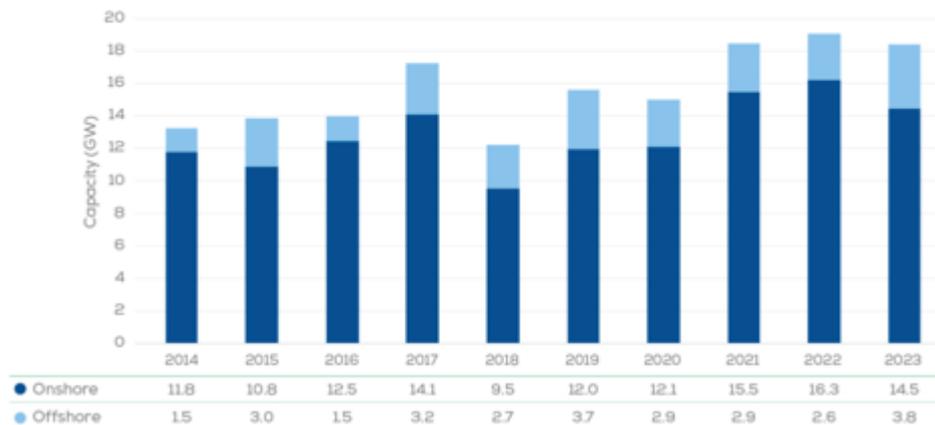
- **Tamaño de la central**

Las turbinas eólicas pueden operar tanto de manera aislada como agrupadas en plantas de generación eólica, siempre y cuando se mantengan ciertas distancias de seguridad, para evitar la interferencia del flujo del aire y las turbulencias generadas entre ellos. El tamaño de la central elegida dependerá de varios factores como el impacto ambiental, la integración con la red eléctrica y la capacidad total deseada del parque.

### 3.3.2.2 Energía eólica offshore

En la última década, las plataformas eólicas offshore están ganando protagonismo en Europa. Este tipo de energía instalada en el mar, presenta numerosas ventajas respecto a la terrestre, ya que a pesar de suponer mayores costes de instalación, mantenimiento y

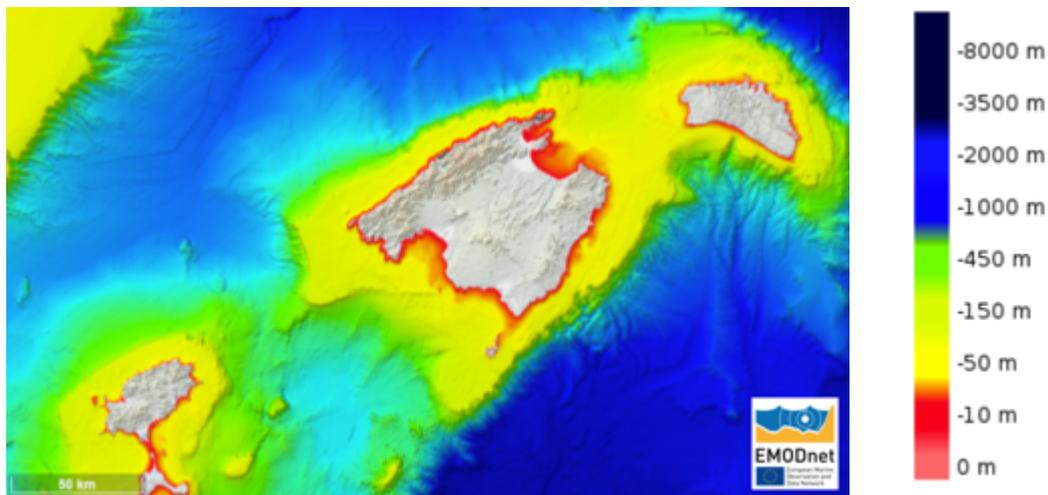
operativos, permite captar vientos más fuertes y tiene un menor impacto visual y acústico. Actualmente en Europa, la energía eólica onshore es la más madura y desarrollada, sin embargo, se están llevando a cabo numerosas iniciativas para consolidar la eólica marina.



**Figura 29.** Evolución de la capacidad onshore y offshore instalada en Europa. Fuente: WindEurope [37]

- **Barimetría y localización óptima**

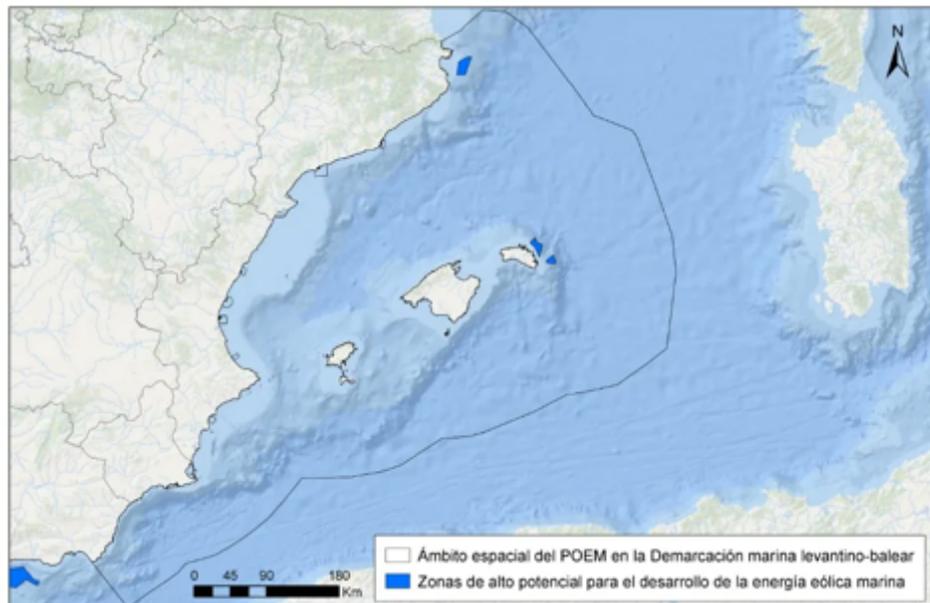
Una de las principales limitaciones para la instalación de la eólica marina a nivel general, es la elevada profundidad del fondo marino a pocos kilómetros de la costa. En la figura siguiente, se puede apreciar como la franja roja, con profundidades que van desde los 0m hasta -40m, que rodea las Islas Baleares es mucho más estrecha que la franja amarilla, con un rango de profundidades mucho mayores, suponiendo una zona donde instalar tecnología *offshore* requiere una mayor inversión en la infraestructura.



**Figura 30.** Mapa barimétrico de las Islas Baleares. Fuente: EMODnet European Marine Observation and Data Network [38]

Los Planes de Ordenación del Espacio Marítimo (POEM) fueron aprobados con el Real Decreto 150/2023, delimitándose así las zonas con un alto potencial para instalar la tecnología eólica offshore. La aprobación de los POEM supone un gran avance para iniciar el despliegue de la eólica marina en diversas zonas de España, significando un paso positivo de cara al desarrollo de la tecnología en las Islas Baleares.

Dentro de las zonas elegidas, se encuentra parte de la costa menorquina. Las localizaciones tienen en cuenta las siguientes características: la disposición del recurso eólico adecuado para generar energía, particularidades técnicas y económicamente viables, tales como la distancia a la costa, profundidad, pendiente y, finalmente, capacidad del proyecto para permitir que el parque eólico y las distintas actividades marinas (pesca, acuicultura, biodiversidad..) coexistan.



**Figura 31.** Plan de ordenación del espacio marítimo de la demarcación marina levantino-balear.

Fuente: POEM [16]

- **Elección del modelo de aerogenerador y características**

El diseño de los aerogeneradores offshore no será objeto de estudio de este proyecto. La inclusión de aspectos como la infraestructura submarina necesaria, el cableado para transmitir la energía generada a la subestación en la costa, el diseño adecuado de aerogeneradores para resistir a condiciones severas de los ambientes marinos, salinidad, entre otros, no serán evaluados por no ser el objetivo principal de este TFG. Por tanto, en este trabajo únicamente se expondrá la posible localización de los parques eólicos marinos en las Islas Baleares.

## **Capítulo 4. ALMACENAMIENTO DE ENERGÍA**

### **4.1 RETOS Y SOLUCIONES EN EL ALMACENAMIENTO DE ENERGÍAS RENOVABLES**

En el contexto de la generación de energía renovable, especialmente en fuentes como la energía eólica y solar, fuentes intermitentes y sin control directo, la hibridación con tecnologías de almacenamiento tiene un papel fundamental.

La importancia del almacenamiento de estas fuentes renovables es aún mayor en territorios insulares, dada su gran dependencia de fuentes de energía externas, como es el caso de las Islas Baleares debido a su gran dependencia del cable con la península.

Al almacenar el exceso de energía limpia durante los períodos de alta producción, se asegura una reserva que puede ser utilizada ante la ausencia de los recursos naturales, solares y eólicos en el caso de estudio, permitiendo, por tanto, aumentar la franja horaria durante la cual se puede generar energía limpia y, de este modo se asegura un suministro más estable y sostenible.

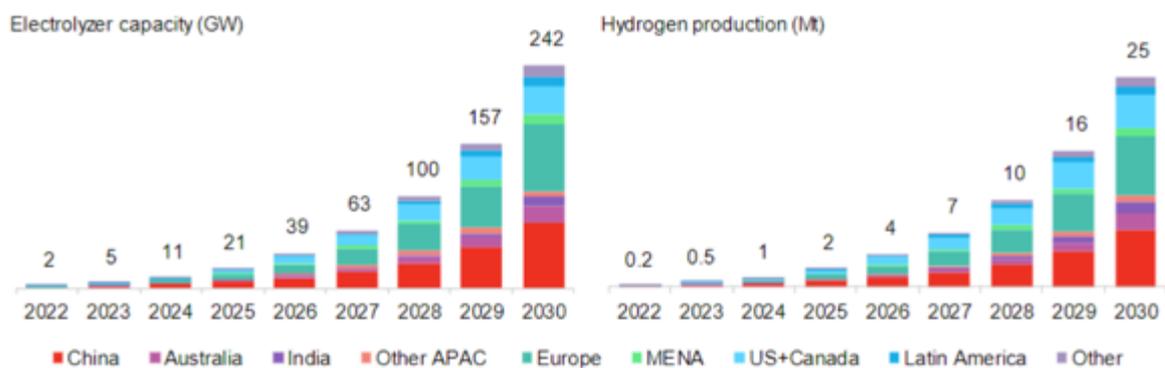
#### **4.1.1 HIDRÓGENO VERDE**

A largo plazo, el hidrógeno verde destaca como uno de los vectores energéticos más prometedores, ya que sus métodos de producción son climáticamente neutros y no generan emisiones contaminantes.

El hidrógeno verde se obtiene como resultado de la electrólisis del agua. Tal como su nombre indica, la energía aplicada en el procedimiento es 100% renovable. La electrólisis tiene como objetivo extraer hidrógeno de la molécula del agua; al aplicarle una corriente eléctrica a la molécula ( $H_2O$ ), se consigue separar el hidrógeno del oxígeno.

La integración del hidrógeno verde con las energías renovables, resulta una solución esperanzadora para lograr la descarbonización del sector energético, siendo un medio de

almacenamiento de energía a gran escala. Durante períodos de alta producción de energía renovable, el exceso de energía puede ser empleado para generar hidrógeno verde, que luego se almacena y se emplea en momentos de baja producción renovable o de alta demanda energética. Este enfoque ayudaría a alcanzar el balance entre la oferta y la demanda de energía y, a su vez, a optimizar el uso de fuentes renovables.



**Figuras 32.** Evolución de la capacidad de los electrolizadores globales y de la producción de hidrógeno verde. **Fuente:** BloombergNEF [22]

El último informe publicado por BloombergNEF Electrolyzer, estima que los electrolizadores globales sufrirán un aumento significativo en sus capacidades, alcanzando los 240 GW para el año 2030, logrando producirse durante ese año, un total de 25 millones de toneladas de hidrógeno verde. Según las proyecciones, Europa será una de las principales regiones, junto con China, que experimentará este crecimiento y dominará el mercado global de esta forma de energía. A su vez, según los pronósticos de la organización Det Norske Veritas (DNV), para 2030 se espera una baja significativa del precio del hidrógeno verde, con un coste de alrededor de 2€/kgH<sub>2</sub>, más de la mitad del precio actual. Esta reducción del coste va asociada mayoritariamente, a la futura disminución de los precios los paneles solares y las turbinas, con un 40% y un 27%, respectivamente.

En el país, se están llevando a cabo numerosos proyectos para la expansión de esta fuente de energía limpia, pues es el aliado idóneo para descarbonizar ciertos sectores. Una de las

iniciativas fue llevada a cabo en Mallorca a finales de 2022, en el municipio de Lloseta, donde se lanzó el proyecto “Power to Green Hydrogen”. El proyecto apostaba por integrar el hidrógeno verde en el mix eléctrico balear con la construcción de la primera planta de hidrógeno renovable en España, alimentada con energía procedente de dos plantas fotovoltaicas en los municipios de Lloseta y Petra.

Con la planta de electrólisis plenamente operativa, se esperaban producir unas 300 toneladas de hidrógeno verde al año, consiguiendo así reducir más de 21.000 toneladas de emisiones de CO<sub>2</sub> anuales, pero después de la fase de pruebas, el parque cesó su actividad sin llegar a generar moléculas de hidrógeno.

A largo plazo, se espera que la producción y el uso del hidrógeno renovable alcancen niveles más significativos, convirtiéndose España en el principal exportador europeo de hidrógeno verde. Sin embargo, esto no será posible sin desarrollar estrategias efectivas para su fortalecimiento. Algunas de estas estrategias se están llevando a cabo en Baleares. Con el despliegue de GreenHysland, proyecto de subvención europeo, se pretende elaborar una Hoja de Ruta 2050 para implantar un ecosistema de hidrógeno verde en la isla europea.

A pesar de los importantes avances logrados en las últimas décadas, su adopción generalizada aún enfrenta numerosos desafíos, como se refleja en el caso de Lloseta en Mallorca, y su contribución a la matriz energética sigue siendo muy limitada en comparación con otras fuentes de energía.

#### **4.1.2 BATERÍAS DE VANADIO**

Otra posible solución viable para almacenar la energía renovable en las islas es a través de baterías de flujo de vanadio y desde 2023, en el suroeste de Mallorca se encuentra una planta que incorpora esta tecnología. La planta de Son Orlandis es una solución prometedora e innovadora para afrontar el desafío de almacenar energía limpia a largo plazo.

El sistema de baterías consiste en la mayor instalación de almacenamiento de energía renovable en baterías de flujo de vanadio en Europa, con una potencia de 1.1 MW y una capacidad de 5.5 MWh.

Esta instalación integra tecnologías de flujo reducción-oxidación con una planta fotovoltaica de 3.34 MWp. A través de un sistema de gestión especializado, las operaciones de carga y descarga se ajustan según la producción renovable solar y en función de las demandas de la red. A través de su funcionamiento los picos de demanda son atendidos de manera satisfactoria, evitándose interrupciones del servicio.

Entre sus ventajas, se encuentra la larga duración de sus baterías, con una vida útil que puede llegar a superar los 20 años sin apenas degradarse. Además, en las baterías de flujo, la capacidad de almacenamiento viene mayoritariamente determinada por el tamaño de los depósitos de electrolito, por lo que esta innovación ofrece una mayor flexibilidad en el diseño y en la dimensión de las baterías con un almacenamiento de mayor capacidad. Al utilizar flujo redox de vanadio, se deja a un lado el litio y se permiten ilimitados ciclos de carga y descarga sin impactar negativamente sobre el medioambiente.

Por tanto, la adopción del vanadio como medio para almacenar energía renovable, representa un paso significativo hacia los sistemas de almacenamiento de larga duración, fundamental para afrontar la demanda energética balear.

#### **4.1.3 CONCLUSIÓN DEL ALMACENAMIENTO DE ENERGÍAS RENOVABLES**

En conclusión, son varias las iniciativas tanto a nivel nacional como en las Islas Baleares que intentan expandir y fomentar el uso de estas tecnologías de almacenamiento. El despliegue del hidrógeno verde y de las baterías de flujo de vanadio puede suponer el progreso hacia un futuro libre de carbono. El desarrollo de estas tecnologías de almacenamiento es vital para enfrentarse, tanto a posibles fallos en la interconexión Península-Baleares, como para cumplir con los objetivos de autosuficiencia de la Ley 10/2019.

## Capítulo 5. COSTE DEL SISTEMA ELÉCTRICO EN LAS ISLAS BALEARES

### 5.1 *PRECIO DE LA PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD BALEAR*

Hasta que las energías renovables alcancen mayores niveles de eficiencia, el coste de la electricidad seguirá representando una parte significativa de los gastos de un hogar. En particular, en Baleares el coste actual de producir electricidad es más elevado que en la península, con un precio de generación que puede llegar a alcanzar los 120-150 €/MWh comparados con los 55 €/MWh de la península.

Este mayor precio energético va asociado al posible sobrecoste del combustible o al transporte de energía hacia las islas para satisfacer la totalidad de la demanda eléctrica, así como a la necesidad de contar con lo que se denomina como garantía de potencia. Consecuentemente, esta gran diferencia de precios realza la importancia de implementar una mayor producción de energía mediante renovables en las islas. Respecto a lo último mencionado, en las Islas Baleares, al tratarse de un sistema insular y aislado de grandes sistemas eléctricos, es necesario contar con centrales de reserva para funcionar como garantía de potencia en caso de que falle un centro de producción. A diferencia de un sistema más grande, como es el peninsular, donde la caída de una central eléctrica puede ser compensada por otros centros activos, en las islas la falta de esa ventaja puede ocasionar graves impactos y consecuencias.

A su vez, en cada subsistema, el precio horario de venta de energía debe reflejar su casuística particular. En el sistema propuesto, al tratarse de un parque de generación fundamentalmente renovable, se reducen los costes de generación y este efecto no se ve reflejado en el presente precio horario de venta de energía.

El precio actual no se ve influenciado por la estructura de la generación, debido a que este depende únicamente del apuntamiento de la demanda. En el presente sistema de elección de precios, cuando el coste de generación es muy bajo el precio de venta de electricidad puede

seguir siendo elevado, o viceversa. Esto afecta negativamente al sistema renovable propuesto, ya que la producción fotovoltaica es mayor en las horas centrales del día, momentos en los que hay una mayor demanda eléctrica.

Por tanto, caben destacar los principales inconvenientes del precio actual: incentiva el desplazamiento de consumos de energía hacia las horas que hay menos producción renovable, lleva también a almacenar energía cuando la demanda es baja, y da una señal equivocada de en qué horas del día se requiere más generación, ocasionándose así una instalación de renovables ineficiente.

Finalmente, llevar a cabo ciertas medidas como la implementación de una tarifa eléctrica y señales de precio por hora que incentiven el consumo, cuando hay una mayor producción de energías renovables, pueden ocasionar numerosos beneficios relacionados con el almacenamiento o la gestión de la demanda y, consecuentemente, lograr un futuro energético más sostenible y verde.

## ***5.2 EMPLEO GENERADO MEDIANTE LA INSTALACIÓN DE RENOVABLES***

El cambio hacia una nueva forma de energía representa una oportunidad crucial, no sólo desde el punto de vista social y medioambiental, sino también económico. Diversas investigaciones revelan el gran potencial para la generación de empleo vinculado a este cambio, así como una mayor capacidad competitiva derivada de los costos energéticos y ambientales del nuevo modelo.

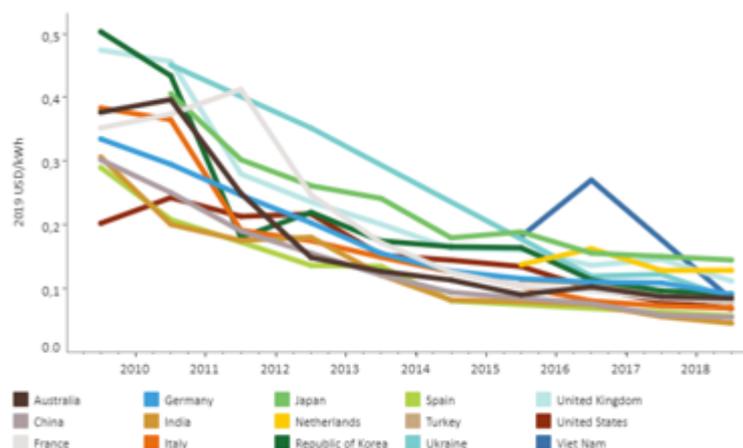
Los empleos verdes son definidos por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) como "los trabajos en agricultura, actividades de fabricación, investigación y desarrollo, administración y servicio que contribuyen sustancialmente a preservar o restaurar la calidad medioambiental". La Organización Internacional del Trabajo (OIT) prevé que los cambios en el sector energético para alcanzar el Acuerdo de París pueden crear unos 18 millones de puestos de trabajo "verdes" a nivel mundial.

En el territorio balear, se estima el desarrollo de las energías renovables a gran escala, basado en el análisis de Monitor Deloitte [11], pueda lograr la creación de unos 15-30 mil puestos de trabajo (directos e indirectos) de manera acumulada en el período 2020-2040. Adicionalmente, habría que añadir los empleos asociados a la incorporación del vehículo eléctrico en la flota balear, al almacenamiento y a las redes eléctricas. Por tanto, desde el Gobierno Balear se debe elaborar un plan de formación profesional para que la fuerza laboral tenga las competencias necesarias, y cumpla con las exigencias que estas iniciativas necesitan.

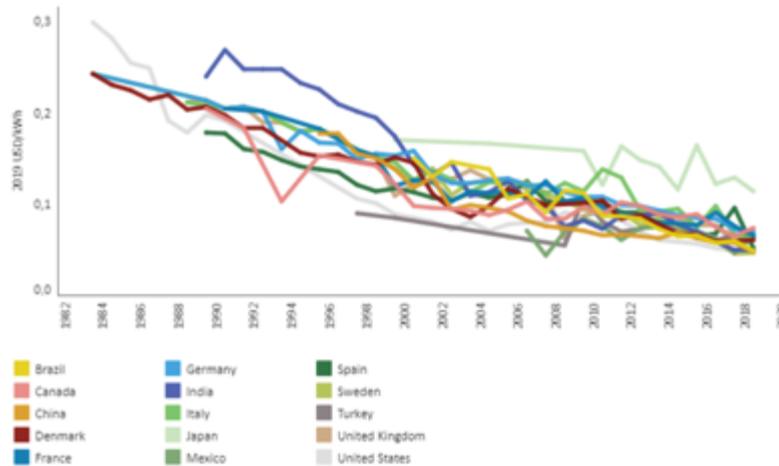
Además, la transición hacia una economía del hidrógeno verde generará oportunidades de empleo relacionadas con: producción de equipos y sistemas de hidrógeno, construcción de infraestructuras de almacenamiento y exportación, pudiendo esto último convertirse en una gran fuente de ingresos para España, al ser un país con un gran potencial para la generación de energía renovable.

### 5.3 INVERSIONES EN UN SISTEMA RENOVABLE

Al instalar un sistema renovable, hacer una estimación de la inversión necesaria es esencial. Según IRENA, los precios de la energía solar fotovoltaica y de la eólica han disminuido considerablemente en los últimos 12 años. Tal y como se puede observar en las siguientes **figuras 33 y 34**, el coste competitivo de ambas energías es mucho menor que hace unos años.



Figuras 33. Evolución del precio de la energía solar fotovoltaica. Fuente: IRENA



Figuras 34. Evolución del precio de la energía eólica Fuente: IRENA

En 2019 el coste energético nivelado (LCOE) promedio de los parques fotovoltaicos, fue un 82% menor con respecto al 2009, pasando de 0,31 €/kWh a 0,056 €/kWh y el de los parques eólicos *onshore*, pasó de 0,071 €/kWh a 0,044 €/kWh, disminuyendo un 39% entre el 2009 y el 2019, a diferencia de la *offshore* que a pesar de disminuir, al seguir en plena evolución, sólo logró un 29% de reducción. Esta disminución del LCOE en la energía eólica, se debe principalmente a avances significativos en la tecnología de los aerogeneradores, ya que se han logrado alcanzar mayores alturas del eje del rotor y construir turbinas más seguras y grandes.

## **Capítulo 6. INTEGRACIÓN DE LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL**

### **6.1 PREVISIÓN FUTURA SOBRE EL SISTEMA ENERGÉTICO**

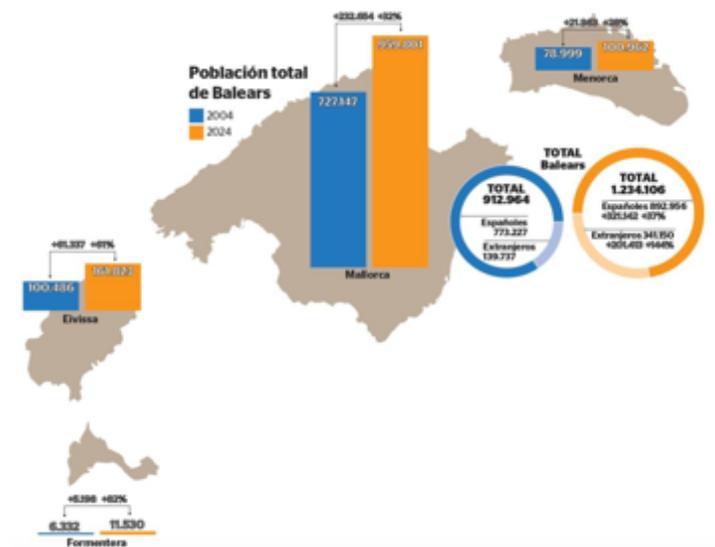
Un creciente interés público en el cambio climático y el futuro del planeta, combinado con avances en las energías renovables (EERR), ha impulsado notablemente el sector energético en la última década. No obstante, la naturaleza intermitente de fuentes como la solar y la eólica plantea un gran desafío. Al no ser su disponibilidad continua, realizar pronósticos precisos sobre la generación diaria de energía renovable tiene una gran importancia para su integración efectiva en el sistema eléctrico, especialmente en regiones insulares como las Islas Baleares.

En este escenario, el campo de la inteligencia artificial (IA) ofrece varias soluciones, ya que abarca una amplia gama de categorías que se pueden clasificar en función de la tarea a realizar, como optimización, aprendizaje automático no supervisado para buscar patrones, segmentación de imágenes, etc. Con estas herramientas se pueden llevar a cabo infinidad de pronósticos y predicciones, que van desde identificar las mejores ubicaciones para paneles solares (China, LightGBM), diseñar parques eólicos eficientes (software WindFarmer), hasta mejorar la gestión de la generación, distribución y consumo de la energía (AmpereEnergy) para mantener el sistema eléctrico estable. Por tanto, la IA podría llegar a desempeñar un papel clave en la transición hacia un sistema energético menos dependiente del carbono.

Las redes neuronales artificiales, son un ejemplo destacado de las capacidades de la IA, herramientas con un gran potencial, ya que lo que las distingue de los métodos tradicionales de predicción de series temporales, es su capacidad de hacer predicciones sin restricciones en cuanto al número de muestras o atributos que pueden ser utilizados como datos de entrada. Por tanto, gracias a esta ventaja se pueden llegar a encontrar relaciones entre variables, probablemente impensables por el ser humano.

## 6.2 CIUDADES Y COMUNIDADES SOSTENIBLES

La sobrepoblación en las áreas urbanas del archipiélago balear resulta de cada vez más preocupante e insostenible para el sistema energético, siendo insuficientes los recursos y las infraestructuras de las islas. El último informe publicado por el Instituto Nacional de Estadística (INE), confirma un aumento de más de 300.000 personas en la población de Baleares en 20 años, un crecimiento global del 37%. Como consecuencia, las zonas urbanas tienden a estar más aglomeradas, generándose una mayor polución del aire, acumulación de residuos y mayor contaminación acústica y lumínica.

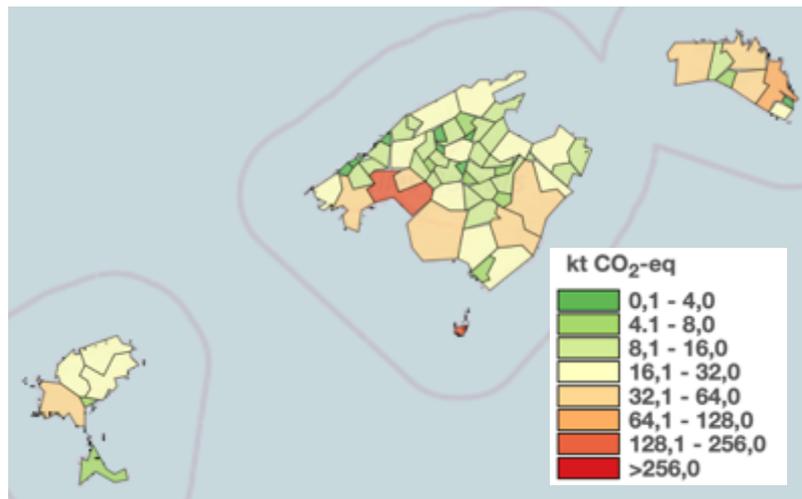


**Figura 35.** Evolución de la población balear 2004-2024. Fuente: INE.

Visto el creciente aumento de la población balear en los últimos años, la demanda y producción energética futura en las Islas Baleares deben modificarse. Es aquí cuando la maximización de la generación renovable se convierte en fundamental.

Al permitir gestionar grandes cantidades de datos, la IA puede agilizar y hacer más eficientes los procesos de emparejar la oferta con la demanda, maximizando el valor energético y financiero de la energía renovable, así como su integración en la red.

No obstante, en las Islas Baleares son pocos los esfuerzos por integrar la IA en la mitigación de problemas medioambientales y energéticos. Para cumplir con los objetivos de la ley 10/2019, los sistemas inteligentes se deberían plantear como una solución viable.



**Figura 36.** Visor de emisión anual de CO<sub>2</sub> del sector de transporte. **Fuente:** AEMA (2011). [46]

En la figura anterior, se muestra un ejemplo de aplicación en el que se analiza la energía consumida y se identifican las áreas con mayor producción de gases, debido al sector del transporte balear.

Sin embargo, a pesar de las innumerables ventajas que la IA presenta, es importante ser prudentes con su uso, debido a que el entrenamiento de los algoritmos requiere una cantidad considerable de energía y supone una gran inversión. Una posible medida que se podría tomar para hacer frente a este problema, sería usar CodeCarbon [43], un software que permite calcular, divulgar y reducir la huella de CO<sub>2</sub> que generan los sistemas informáticos.

### **6.3 ASPECTOS GENERALES DE LOS PRONÓSTICOS DE GENERACIÓN EÓLICA Y SOLAR**

Como se ha señalado antes, hay numerosas aplicaciones de la IA en relación a las renovables. Planificar futuras acciones energéticas en base al pronóstico de energía eólica y/o solar, es

uno de los muchos potenciales de la IA. Los operadores de red y otros usuarios, incluidos los hogares y las industrias, al contar con un pronóstico preciso de generación de energía renovable podrían por ejemplo, planificar el uso de electrodomésticos de alta demanda, optimizar procesos de producción y alinearlos con períodos de generación renovable más alta, etc.

Según el horizonte temporal, estas predicciones se pueden dividir en: pronóstico de muy corto plazo (PMCP), que puede fluctuar entre minutos y 6 horas, seguido de pronóstico de corto plazo (PCP), entre 6 y 48 horas y, finalmente el pronóstico de mediano plazo (PMP) con un horizonte entre los 2 y los 20 días. Los gestores de parques solares y eólicos emplean el PCP para planificar los recursos de generación e incluso para organizar tareas de mantenimiento de las centrales.

Para generar pronósticos de energía renovable no basta sólo con predecir las condiciones meteorológicas. En el contexto de un parque eólico, la capacidad de generación de cada turbina, además de depender de la velocidad del viento y la densidad del aire, también está influenciada por otros factores. Algunos de estos factores incluyen la variación de la velocidad y dirección del viento con la altura y la existencia de turbulencias. En el caso de un parque fotovoltaico, el simple hecho de que una nube pase por encima de las placas, puede ocasionar que la radiación solar disminuya un 75 % e incluso más. Por tanto, es de vital importancia que la precisión de un PMCP sea lo más exacta posible.

### **6.3.1 MANTENIMIENTO PREDICTIVO EN LA ENERGÍA EÓLICA**

En un ambiente tan húmedo como es el balear, optimizar la operatividad de los parques eólicos es primordial. La implementación de técnicas derivadas del Machine Learning (ML) para un correcto mantenimiento de los aerogeneradores tiene numerosos beneficios. Al prevenir posibles fallos en las turbinas se consigue: evitar problemas más graves, conseguir una operación más constante de los aerogeneradores y, minimizar los periodos de inactividad.

### **6.3.2 GESTIÓN DE CAMPOS SOLARES**

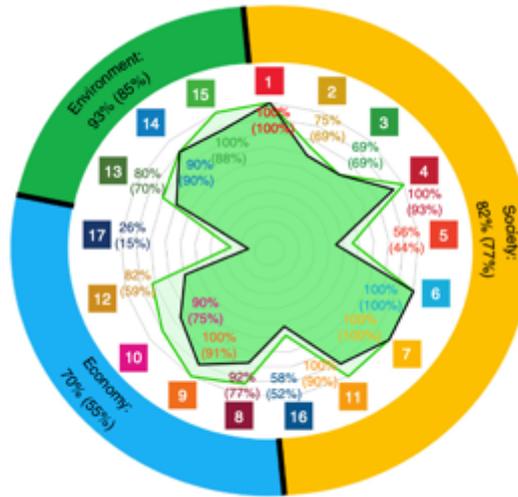
Para ver otros usos de aplicación, es interesante el modelo de IA desarrollado por la Universidad de Sevilla en 2023, para mejorar la gestión de campos solares. El modelo trata a cada panel solar por separado, de forma individual y con la ayuda de técnicas de teoría de juegos optimiza su configuración. Por medio de simulaciones competitivas, los parámetros de cada panel son ajustados y así, se logra una eficiencia mayor que cuando los paneles solares son tratados como un todo.

La red neuronal creada va cambiando los parámetros de un modelo de control predictivo en el parque solar hasta conseguir la mejor configuración, pudiendo así considerar las fluctuaciones diarias y estacionales de la radiación solar que incide en el parque.

En suma, aunque la IA esté influyendo de cada vez más en los sistemas de energía, todavía está lejos de gestionar completamente una red automatizada. Mientras sigan existiendo barreras significativas para su implementación, como la resistencia al cambio y preocupaciones de ciberseguridad, seguiremos en las etapas iniciales de la adopción de la IA en los sistemas operativos de energía.

## ***6.4 INTELIGENCIA ARTIFICIAL Y LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE (ODS)***

Anteriormente, se han analizado casos concretos de como la inteligencia artificial puede servir de gran utilidad para resolver problemas y mejorar la eficiencia del sistema eléctrico balear. Ahora bien, el potencial de la IA va mucho más allá de la resolución de problemas de determinadas regiones, puesto que puede servir para acelerar la resolución del 79% de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) establecidos por las Naciones Unidas en 2015 [50] a nivel mundial.



**Figura 37.** Impactos positivos de la IA. Fuente: Nature (2020). [51]

Actualmente, se percibe una demanda social para incrementar los esfuerzos en el cuidado del planeta. Conforme con el estudio publicado por Nature, la IA puede actuar como facilitadora de 25 (93%) de los ODS relacionados con el medioambiente. En este sentido, la inteligencia artificial tiene un amplio abanico de aplicaciones y se puede aprovechar con el fin de resolver problemas de carácter ambiental, social y económico.

## Capítulo 7. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y

### CONCLUSIONES

El trabajo de investigación revela una significativa oportunidad en el sector energético y eléctrico del archipiélago balear. Asimismo, también expone la creciente preocupación global y nacional por el cambio climático y las repercusiones que tienen las emisiones contaminantes de varios sectores, destacando la contaminación del sector energético.

La transformación de las Islas Baleares en una comunidad sostenible, puede atraer a otras zonas con características similares a imitar sus éxitos energéticos y su forma de abordar el cambio climático. En un mundo tan globalizado, las iniciativas dirigidas a una región específica pueden llegar a ser replicadas en otros lugares, fomentando un cambio positivo a nivel global.

Con la intención de abordar la crisis medioambiental y preservar el atractivo turístico, se propone un modelo realista y viable para el archipiélago balear basado en energías renovables, principalmente la solar y la eólica, debido a su gran potencial de desarrollo. Respecto al hidrógeno verde, dado que se puede almacenar y no es contaminante, es muy importante reconocer su papel clave en el modelo energético propuesto. Este sistema debe entenderse como una orientación flexible que precisa una revisión continua, ya que las tecnologías e infraestructuras expuestas están sujetas a novedades y ajustes.

A su vez, es urgente modificar la señal de precio actual para incentivar el consumo de energía en horas con una mayor cantidad de recurso solar y almacenar energía cuando el coste marginal de producción es más bajo, traduciéndose en períodos de alta producción renovable.

Por último, adoptar tecnologías avanzadas en el modelo propuesto, va a facilitar considerablemente el camino hacia la sostenibilidad. El almacenamiento con hidrógeno

verde o con las baterías de vanadio y la correcta gestión de datos climatológicos, energéticos, y geográficos mediante la IA, pueden llevar a una plena garantía de suministros, crucial en un sistema eléctrico tan variable como el balear, debido a los picos de consumo que presenta durante las temporadas altas.

## Capítulo 8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Red Eléctrica de España (REE), “*Interconexión Eléctrica Península-Baleares. Proyecto Rómulo*”, REE, 2011.
- [2] REE, “REData,” [En línea]. Disponible en: <https://www.ree.es/es/datos/generacion/estructura-generacion>
- [3] Comisión europea, “Simulador PVGIS,” 2020. [En línea]. Disponible en: [https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_tools/en/](https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/)
- [4] BOE 10/2019, “Boletín Oficial del Estado,” Boletín Oficial del Estado, Octubre, 2019.
- [5] Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, “*Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030*,” Gobierno de España, p. 25, 2020.
- [6] CAIB, “Marco general del cambio climático en las Illes Balears” <https://www.caib.es/sites/canvclimatic2/es/introduccion/>
- [7] REE, “Emisiones y factor de emisión de CO<sub>2</sub> eq. de la generación. Sistema eléctrico: Balear,” Red eléctrica. <https://www.ree.es/es/datos/generacion/no-renovables-detalle-emisiones-CO2>
- [8] Iberdrola Sostenibilidad, “¿Qué es la energía eólica terrestre?” Ventajas de los parques eólicos. <https://www.iberdrola.com/conocenos/nuestra-actividad/energia-eolica-terrestre-:~:text=¿Qué es la energía eólica,de aerogeneradores emplazados en tierra.>
- [9] ESIOS, Red Eléctrica Española. [En línea] Disponible en: <https://www.esios.ree.es/es/mercados-y-precios?date=18-08-2020>
- [10] Naciones Unidas, “Acuerdo de París de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático” Cap21, vol. 21930, p.18, 2015.
- [11] Deloitte, “Los Territorios No Peninsulares 100% descarbonizados en 2040: La Vanguardia de la Transición Energética en España,” Endesa: Madrid, España, 2020.
- [12] Ralón, P., “Las Renovables: una solución climática económica,” FEDEA, Madrid, Octubre 2019.
- [13] REE, Sistema Eléctrico Balear, [En línea] Disponible en: <https://www.ree.es/es/actividades/sistema-electrico-balear/singularidades-del-sistema>
- [14] Institut d’Estadística de les Illes Balears (IBESTAT), “Demanda de energía eléctrica por periodo e isla” [En línea] <https://intranet.caib.es/ibestat-jaxi/tabla.do?px=2ffa08c6-62f6->

- [4cfd-91ac-12d9ae66a942&pag=1&nodeId=887047df-4c1c-4922-9179-669edcf62213&pxName=ree\\_1001.px&terr=CCAA\\_ILLES\\_BALEARS](https://www.comillas.edu/4cfd-91ac-12d9ae66a942&pag=1&nodeId=887047df-4c1c-4922-9179-669edcf62213&pxName=ree_1001.px&terr=CCAA_ILLES_BALEARS)
- [15] Infraestructura de datos espaciales de las Islas Baleares, “IDEIB Visor general” [En línea]. <https://ideib.caib.es/visor/>
- [16] Ministerio Para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO), “Planes de Ordenación del Espacio Marítimo (POEM),” Febrero, 2023.
- [17] MITECO, “Hoja de Ruta para el desarrollo de la Eólica Marina y de las Energías de Mar en España,”. Cap 5, pp. 84-92. Madrid, Diciembre, 2021
- [18] *CaixaBank Research*, “El impacto del cambio climático en el turismo en España: análisis y perspectivas,” Enero, 2024. <https://www.caixabankresearch.com/es/analisis-sectorial/turismo/impacto-del-cambio-climatico-turismo-espana-analisis-y-perspectivas>
- [19] Matei, N., García, L.D., Dosio, A., Batista, E. S. F., Ribeiro, B. R., “Regional impact of climate change on European tourism demand,” JRC Publications Repository, Mayo, 2023. <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC131508>
- [20] Forbes, “Applications of Artificial Intelligence Across Various Industries,” Enero, 2023. <https://www.forbes.com/sites/qai/2023/01/06/applications-of-artificial-intelligence/>
- [21] Microsoft, “The future computed. Artificial intelligence and its role in society,” 2018. [https://news.microsoft.com/uploads/2018/02/The-Future-Computed\\_2.8.18.pdf](https://news.microsoft.com/uploads/2018/02/The-Future-Computed_2.8.18.pdf)
- [22] Bloomberg NFE, “Hydrogen Supply Outlook 2024: A Reality Check,” Mayo, 2024. <https://about.bnef.com/blog/hydrogen-supply-outlook-2024-a-reality-check/>
- [23] IRENA, “*Global Hydrogen Trade to Meet the 1.5°C Climate Goal*” Part I, July 2022.
- [24] IRENA, “*World Energy Transition Outlook, 1.5°C Pathway*”, 2021.
- [25] Real Instituto Elcano, “España aprovecha la crisis energética para redoblar su apuesta europea por el hidrógeno verde,” Octubre, 2022. <https://www.realinstitutoelcano.org/comentarios/espana-aprovecha-la-crisis-energetica-para-redoblar-su-apuesta-europea-por-el-hidrogeno-verde/>
- [26] IEA, “The Future of Hydrogen”, IEA, París, Francia, 2019.
- [27] Selectra, “Ángulo óptimo de inclinación de las placas solares”, 2024.
- [28] Atlas Eólico Global, [En línea]. Disponible en: <https://globalwindatlas.info/es>
- [29] *EnergyTrend*, “Los modelos de placas solares de mayor eficiencia,” 2024.
- [30] BCG, “Evolución tecnológica y prospectiva de costes de las energías renovables,” p.152. Instituto para la diversificación y Ahorro de la energía, Madrid, 2011.

- [31] Agencia Estatal de Meteorología, “AEMET OpenData” [En línea] Disponible en: <https://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/datosclimatologicos/valoresclimatologicos>
- [32] MonSolar, “Calculadora separación entre paneles solares,” <https://www.monsolar.com/separacion-paneles-solares>
- [33] Panasonic, “Panasonic VBHN330SJ53 solar panel” [https://www.shew.com.hk/media/437651/vbhn330\\_325sj53\\_asean\\_1900304.pdf](https://www.shew.com.hk/media/437651/vbhn330_325sj53_asean_1900304.pdf)
- [34] Roca, R. Francisco Lehuede (Ampere Energy): “El almacenamiento de energía es clave para garantizar la descarbonización,” El Periódico de la Energía, Febrero, 2024. <https://elperiodicodelaenergia.com/francisco-lehuede-ampere-energy-el-almacenamiento-de-energia-es-clave-para-garantizar-la-descarbonizacion/>
- [35] RenewablesNinja, [Online] Disponible en: <https://www.renewables.ninja/>
- [36] Gilabert, J. “Balance del parque eólico de es Milà: más de 84.000 toneladas de CO2 ahorradas en Menorca,” Menorca- Es Diari, Octubre, 2023. <https://www.menorca.info/menorca/local/2023/10/12/2029225/balance-del-parque-eolico-mila-mas-84000-toneladas-co2-ahorradas.html>
- [37] WindEurope, “Wind energy in Europe: 2023 Statistics and the outlook for 2024-2030,” WindEurope, Febrero, 2024.
- [38] EMODnet, *Bathymetry Viewing*, [Online] Available: <https://emodnet.ec.europa.eu/geoviewer/>
- [39] *CaixaBank Research*, “Fichas comunidades autónomas: Islas Baleares,” Enero, 2024. <https://www.caixabankresearch.com/es/publicaciones/fichas-comunidades-autonomas/islas-baleares>
- [40] Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA), “Limpieza de placas solares con robot,” Marzo, 2022. <https://aema.info/limpieza-de-placas-solares-con-robot/>
- [41] GOIB, “Aprobado el plan director sectorial de movilidad de les Illes Balears 2019-2026,” Mayo, 2019. <https://www.caib.es/pidip2front/jsp/es/ficha-convocatoria/strongspan-stylecolornavyconsell-de-govern-spanaprobado-el-plan-director-sectorial-de-movilidad-de-las-illes-balears-2019-2026strongnbsp>
- [42] Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, “Zonificación ambiental para la implantación de energías renovables: eólica y fotovoltaica,” 2020.
- [43] BCG GAMMA, “Expertos en IA crean CodeCarbon, una herramienta para rastrear y reducir las emisiones de CO2 generadas por la tecnología informática,” Febrero, 2021.

- <https://www.bcg.com/press/24february2021-experts-create-codecarbon-a-tool-to-track-and-reduce-co2-emissions>
- [44] NASA, *Data Access Viewer*, GISS Surface Temperature Analysis (GISTEMP v4) [En línea] Disponible en: <https://data.giss.nasa.gov/gistemp/> NASA: Washington, DC, USA, 2023.
- [45] DNV, “*Energy Transition Outlook 2023 to new power systems*” pp. 41-47, 2023.
- [46] Fundación Matrix, “*Huella de carbono de los municipios de España: influencia del transporte y las áreas edificadas.*” Noviembre, 2021. <https://fundacionmatrix.es/huella-de-carbono-de-los-municipios-de-espana-influencia-del-transporte-y-las-areas-edificadas/>
- [47] GOIB, “*Estat del medi ambient a les Illes Balears*” Cap10, Canvi climàtic, Marzo 2023.
- [48] El Periódico de la Energía, “*La CE selecciona a Baleares, La Palma y La Graciosa para ser 100% renovables en 2030.*” El Periódico de la Energía, Noviembre, 2023. <https://elperiodicodelaenergia.com/ce-selecciona-baleares-la-palma-la-graciosa-ser-100-renovables-2030/>
- [49] González, J. “Energías renovables: una revisión sistémica en clave social,” UAM, Agosto, 2012. <http://www.encuentros-multidisciplinares.org/revista-71/jaime-gonzalez..pdf>
- [50] Naciones Unidas, “*Nuestra agenda común y los Objetivos de Desarrollo Sostenible.*” Naciones Unidas, Mayo, 2022. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- [51] Vinuesa, R., Nerini, F. “*The role of artificial intelligence in achieving the Sustainable Development Goals.*” Nature Communications, Enero, 2020. <https://www.nature.com/articles/s41467-019-14108-y>
- [52] A., J., “*La inteligencia artificial andaluza que convierte la energía solar en un 'juego de mesa' para ahorrar costes.*” El Español, Mayo, 2023. [https://www.lespanol.com/invertia/disruptores-innovadores/autonomias/andalucia/20230512/inteligencia-artificial-andaluza-convierte-energia-ahorrar-costes/762923894\\_0.html](https://www.lespanol.com/invertia/disruptores-innovadores/autonomias/andalucia/20230512/inteligencia-artificial-andaluza-convierte-energia-ahorrar-costes/762923894_0.html)
- [53] ACCIONA, “*Power to Green Hydrogen Mallorca.*” ACCIONA, Noviembre, 2022. [https://www.accionacom.es/proyectos/power-to-green-hydrogen-mallorca/?\\_adin=11734293023](https://www.accionacom.es/proyectos/power-to-green-hydrogen-mallorca/?_adin=11734293023)
- [54] Green Hysland, “*Acerca del proyecto GreenHysland.*” GreenHysland, Octubre, 2023. <https://greenhysland.eu/acerca-de-green-hysland/>