



COMILLAS

UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS
INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

ANÁLISIS TÉCNICO, ECONÓMICO Y DE
SENSIBILIDAD DE UNA PLANTA DE GENERACIÓN
DE PLACAS FOTOVOLTAICAS FLOTANTES

Autor: Arturo Orea Sánchez

Director: Jaime Navarro Ocón

Madrid

Junio 2023

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
**Análisis técnico, económico y de sensibilidad de una planta de generación de placas
fotovoltaicas flotantes**

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

curso académico 2022/23 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.: Arturo Orea Sánchez

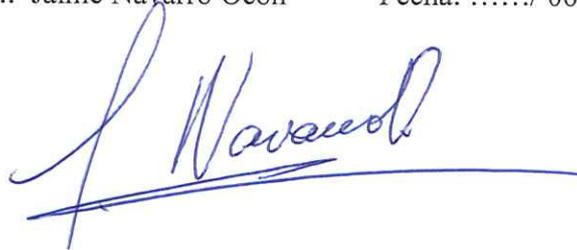
Fecha: 23/ 06/ 2023

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO

Fdo.: Jaime Navarro Ocón

Fecha: 30/ 06/ 2023





COMILLAS

UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS DE TELECOMUNICACIÓN

TRABAJO FIN DE GRADO

ANÁLISIS TÉCNICO, ECONÓMICO Y DE SENSIBILIDAD DE UNA PLANTA DE GENERACIÓN DE PLACAS FOTOVOLTAICAS FLOTANTES

Autor: Arturo Orea Sánchez

Director: Jaime Navarro Ocón

Madrid

Junio 2023

Agradecimientos

A todos los que han formado parte en mayor o menor medida de este viaje que comencé hace 5 años y, en especial, a los que me han acompañado durante este último año más complicado para mí.

A Jaime Navarro Ocón por haberme dado la oportunidad de acabar el grado realizando este trabajo.

A mi familia, en especial a mis padres y mi hermana por acompañarme en el día a día, apoyarme en los momentos más difíciles y siempre mirar por mi bien.

A mis amigos Adrián e Irene por haber estado ahí desde el día uno apoyándome y escuchándome.

A mis amigos Kiko y Julia por haber sido dos apoyos muy importantes sobre todo este último año para escapar de la rutina.

A mi amigo Don Manuel, por ser mi confidente en la lejanía.

ANÁLISIS TÉCNICO, ECONÓMICO Y DE SENSIBILIDAD DE UNA PLANTA DE GENERACIÓN DE PLACAS FOTOVOLTAICAS FLOTANTES

Autor: Orea Sánchez, Arturo.

Director: Navarro Ocón, Jaime.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

RESUMEN DEL PROYECTO

En el presente trabajo se realizará el análisis técnico, económico y de sensibilidad general de las plantas de placas fotovoltaicas flotantes con el objetivo de analizar sus ventajas y desventajas y poder proponer soluciones a los problemas presentes hoy en día en esta industria. Dicho análisis se complementará con un análisis del presente y futuro de la situación en España y en Europa respecto a dicha industria y el de las energías renovables en general.

Palabras clave: Energía solar, energía fotovoltaica, efecto fotovoltaico, vatios, descarbonización, agenda 2030, ELP 2050.

1. Introducción

Dentro de la energía solar, que consiste en cualquier forma de obtención de energía proveniente de la radiación electromagnética del sol ya sea en forma de luz, calor o rayos ultravioleta, destaca la energía fotovoltaica. La energía fotovoltaica consiste en la conversión de la luz del sol en electricidad mediante el uso de paneles fotovoltaicos y empleando el principio físico del efecto fotovoltaico por el cual ciertos materiales pueden absorber fotones (radiación electromagnética) y liberar electrones (electricidad).

La energía fotovoltaica flotante es un método de obtención de energía limpia y renovable que surge a mediados de la década del 2000 en Japón, Asia. Surge como prototipo para investigar una alternativa a uno de los problemas más importantes que presentan las placas fotovoltaicas convencionales que consiste en la pérdida de rendimiento a medida que estas se calientan, por eso, se pretende colocar las placas lo más cerca posible de la superficie del agua para que este constante contacto con un entorno húmedo y de temperatura más baja que el ambiente pueda refrigerar las placas y la pérdida de rendimiento no sea tan notable.

Los estudios llevados a cabo en Japón son un éxito por lo que se prosigue con la investigación en distintas zonas de Europa destacando Italia y Estados Unidos hasta que los

americanos llevan a cabo la construcción y puesta en funcionamiento de la primera planta de placas solares flotantes para abastecimiento de un complejo en las bodegas Far Niente de California.

Tras esto la globalización de las placas solares flotantes comienza a darse expandiéndose y estandarizándose de manera masiva en regiones varias sobre todo de Asia. Europa y en concreto España y Portugal van más rezagados respecto a esta industria.

En los últimos años debido a los objetivos de descarbonización parcial propuestos por Europa para 2030, y de descarbonización global para 2050 (ELP 2050) la inversión en investigación, desarrollo y construcción de este tipo de plantas está aumentando considerablemente a cada día que pasa y se espera que esta sea la tónica para seguir de una manera creciente y constante tanto para el continente como para nuestro país.

2. Definición del proyecto

La principal carga del proyecto está en el análisis técnico, económico y de sensibilidad de las plantas de placas fotovoltaicas flotantes.

De cara a realizar el análisis técnico de una manera ordenada primero se va a mostrar y explicar que una planta fotovoltaica convencional y una flotante no son tan distintas como se podría pensar.

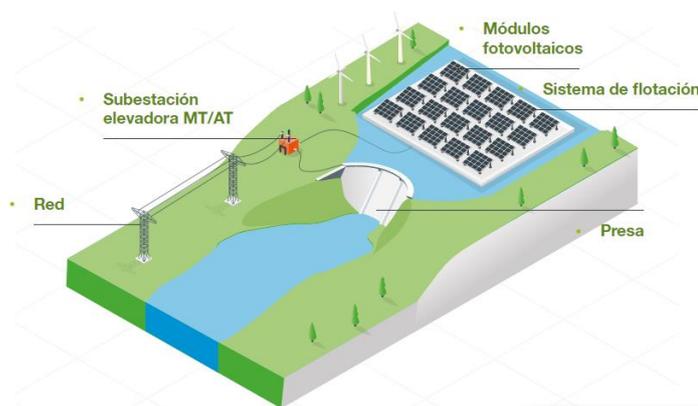


Figura 1: Esquema de una planta fotovoltaica flotante (Iberdrola)

Después se explicarán los componentes de una planta fotovoltaica convencional entrando en detalles de cómo funcionan y lo que implica su presencia en el funcionamiento global de la planta para después entrar en los componentes específicos de las plantas fotovoltaicas flotantes y explicar de nuevo su funcionalidad concreta y global en el conjunto de la planta.

Para el análisis económico se van a estudiar los distintos costes e ingresos que pueden tener este tipo de plantas aportando cifras cuando sea posible aunque, al ser un análisis generalista que habla de las plantas a nivel global y no se centra en una planta concreta, obtener cifras exactas o incluso un rango es muy complejo ya que las cantidades varían enormemente dependiendo de las dimensiones de la planta, si van a tener un uso de abastecimiento de poblaciones o empresas, la localización donde se desee construir o incluso el país o región en el que nos encontremos.

El análisis de sensibilidad estará centrado en los impactos medioambientales de este tipo de plantas tanto positivos como negativos y descritos de una manera objetiva. El objetivo del análisis será hacer ver las diferencias que aporta el factor flotante en este tipo de plantas para el cuidado del medio ambiente, así como las consecuencias negativas que trae consigo.

Finalmente, para el análisis de futuro se estudiarán distintas fuentes europeas y nacionales para analizar como ha evolucionado la situación respecto a las energías renovables a lo largo de la historia y como se pretende que evolucionen en los años próximos en el continente.

3. Resultados

Los resultados a destacar salen del análisis de sensibilidad y el análisis de futuro.

Del análisis de sensibilidad se puede extraer que a pesar de que la energía fotovoltaica no posee impactos medioambientales directos, sus impactos indirectos son muy graves e importantes, el proceso de fabricación de las placas solares es muy contaminante además de que emplea materiales tóxicos y peligrosos; como añadido, cuando las placas terminan su vida útil y se separan en sus distintos componentes y materiales, éstos poseen una escasa reutilización y reciclaje.

Por otro lado, las plantas fotovoltaicas flotantes, aunque traen beneficios innegables para la calidad del agua y su uso eficiente, y se realizan estudios exhaustivos para asegurarse de que se contamina lo menos posible en la ubicación de construcción elegida, siempre van a afectar a la flora y a la fauna locales a parte de reducir considerablemente las actividades de recreo de los lugares donde se ubican.

En el análisis de futuro en cambio, los resultados que se extraen son muy positivos a nivel nacional. Europa se encuentra en horas bajas respecto al sector de la energía en general debido a la gran guerra entre Rusia y Ucrania; países que anteriormente eran potencias y referentes en el sector energético se encuentran en momentos de crisis e incertidumbre como por ejemplo Alemania por su fuerte dependencia del gas ruso. En esta situación, España se posiciona como la indiscutible líder de Europa para guiar a ésta hacia los objetivos marcados para 2030 y 2050 liderando la transición energética hacia las energías limpias y siendo de los países que un mayor crecimiento experimente en los años próximos en este sector.

País	2022 Potencia total (en gigavattios)	Potencia total Escenario medio Horizonte 2026	2023-2026 Nueva capacidad (en GW)	Ratio de crecimiento compuesto anual 2022-2026	Perspectivas de apoyo político
Germany	68,5	131,0	62,6	18%	
Spain	26,4	77,7	51,2	31%	
Poland	12,5	34,4	21,8	29%	
Italy	24,7	45,5	20,9	17%	
Netherlands	18,0	37,2	19,3	20%	
France	16,1	34,6	18,4	21%	
Greece	5,6	15,9	10,4	30%	
Portugal	4,2	14,5	10,3	36%	
Sweden	2,7	10,5	7,8	41%	
Austria	3,8	10,4	6,7	29%	
Romania	1,8	8,0	6,1	44%	
Ireland	0,5	6,5	6,0	90%	
Denmark	3,9	9,5	5,6	25%	
Belgium	7,9	13,1	5,1	13%	
Hungary	3,9	9,0	5,1	23%	

Tabla 1: Previsión de la evolución fotovoltaica europea (Solar Power Europe)

4. Conclusiones

- Respecto al análisis técnico se extrae que, en cuanto a componentes y método de construcción de las plantas fotovoltaicas, tanto convencionales como flotantes, el sector se encuentra más que estandarizado siguiendo siempre los mismos diseños de montaje, en este aspecto, se verá poca innovación en los años siguientes.
- Respecto al análisis económico se extrae que por fin políticos y empresas son conscientes del punto crítico en el que se encuentra nuestro planeta en el que o se actúa ya con urgencia o no habrá marcha atrás. El cada vez más elevado número de subvenciones tanto europeas como nacionales y apoyo por parte de empresas privadas a proyectos del sector de la energía renovable es claramente el camino para seguir durante los próximos años.
- Del análisis de sensibilidad se extrae la inminente urgencia que requiere el encontrar materiales que tengan un mayor reciclaje y reutilización, así como procesos de

fabricación menos contaminantes. Por otro lado, se puede decir que a día de hoy no existe una energía 100% limpia y es muy poco probable que algún día exista ya que siempre se va a afectar a algún sector del medioambiente, si no es en forma de emisión de gases a la atmósfera, será perjudicando a flora y fauna locales o incluso a residentes y propietarios de negocios próximos.

- Por último, del análisis de futuro se extrae que España, por mucho que se quiera pensar lo contrario, es un país con un gran potencial en lo que a innovación se refiere, con los fondos adecuados destinados a la gente adecuada se puede lograr ser pioneros en lo que el futuro de la energía nos depara y ser líderes de Europa e incluso mundiales.

5. Referencias

[1] *International Journal of Scientific & Engineering Research*. Vol 8, June 2017.

[2] Iberdrola, “¿Cómo funcionan las plantas fotovoltaicas?”. Última visita: 19/06/2023

<https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/que-es-energia-fotovoltaica>

[3] Comisión Europea, “Programas de Financiación de la UE”. Última visita: 19/06/2023

https://commission.europa.eu/funding-tenders/find-funding/eu-funding-programmes_es

[4] IRENA, “El Futuro de la Energía Solar Fotovoltaica”. Última visita: 19/06/2023

[https://www.irena.org/-](https://www.irena.org/)

[/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Nov/IRENA_Future_of_Solar_PV_summary_2019_ES.pdf?la=en&hash=DE82F7DC53286F720D8E534A2142C2B8D510FB0B#:~:text=La%20energ%C3%ADa%20solar%20FV%20generar%C3%ADa,generaci%C3%B3n%20m%C3%A1s%20importantes%20para%202050.&text=ESTA%20TRANSFORMACI%C3%93N%20SOLO%20SER%C3%81%20POSIBLE,EN%20LAS%20TRES%20PR%C3%93XIMAS%20D%C3%89CADAS.](https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Nov/IRENA_Future_of_Solar_PV_summary_2019_ES.pdf?la=en&hash=DE82F7DC53286F720D8E534A2142C2B8D510FB0B#:~:text=La%20energ%C3%ADa%20solar%20FV%20generar%C3%ADa,generaci%C3%B3n%20m%C3%A1s%20importantes%20para%202050.&text=ESTA%20TRANSFORMACI%C3%93N%20SOLO%20SER%C3%81%20POSIBLE,EN%20LAS%20TRES%20PR%C3%93XIMAS%20D%C3%89CADAS.)

TECHNICAL, ECONOMIC AND SENSITIVITY ANALYSIS OF A FLOATING PHOTOVOLTAIC PANEL GENERATION PLANT

Author: Orea Sánchez, Arturo.

Supervisor: Navarro Ocón, Jaime.

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia Comillas

ABSTRACT

In the present work, the technical, economic and general sensitivity analysis of floating photovoltaic panel plants will be carried out with the aim of analyzing their advantages and disadvantages and being able to propose solutions to the problems present today in this industry. Said analysis will be complemented with an analysis of the present and future of the situation in Spain and in Europe with respect to said industry and that of renewable energies in general.

Keywords: Solar energy, photovoltaic energy, photovoltaic effect, watts, decarbonization, 2030 agenda, ELP 2050.

1. Introduction

Within solar energy, which consists of any form of obtaining energy from the sun's electromagnetic radiation, whether in the form of light, heat or ultraviolet rays, photovoltaic energy stands out. Photovoltaic energy consists of the conversion of sunlight into electricity using photovoltaic panels and using the physical principle of the photovoltaic effect by which certain materials can absorb photons (electromagnetic radiation) and release electrons (electricity).

Floating photovoltaic energy is a method of obtaining clean and renewable energy that emerged in the mid-2000s in Japan, Asia. It arises as a prototype to investigate an alternative to one of the most important problems that conventional photovoltaic panels present, which consists of the loss of performance as they heat up, for this reason, it is intended to place the plates as close as possible to the surface of the water so that this constant contact with a humid environment and with a lower temperature than the environment can cool the plates and the loss of performance is not so noticeable.

The studies carried out in Japan are a success, so research continues in different areas of Europe, highlighting Italy and the United States, until the Americans carry out the

construction and commissioning of the first plant of floating solar panels to supplying a complex at the Far Niente wineries in California.

After this, the globalization of floating solar panels begins to expand and standardize massively in various regions, especially Asia. Europe and specifically Spain and Portugal lag further behind in this industry.

In recent years, due to the partial decarbonization objectives proposed by Europe for 2030, and global decarbonization for 2050 (ELP 2050), investment in research, development, and construction of this type of plant is increasing considerably with each passing day and He hopes that this will be the keynote to continue in a growing and constant way both for the continent and for our country.

2. Project definition

The main burden of the project is in the technical, economic and sensitivity analysis of floating photovoltaic panel plants.

To carry out the technical analysis in an orderly manner, it will first be shown and explained that a conventional photovoltaic plant and a floating one are not as different as one might think.

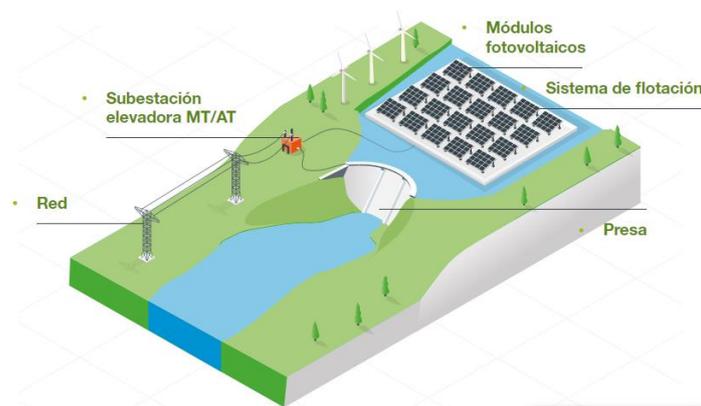


Illustration 2: Diagram of a floating photovoltaic plant (Iberdrola)

Afterwards, the components of a conventional photovoltaic plant will be explained, going into detail about how they work and what their presence implies in the overall operation of the plant, to then go into the specific components of floating photovoltaic plants and explain again their specific and global functionality. in the whole plant.

For the economic analysis, the different costs and income that this type of plants may have will be studied, providing figures when possible, although, as it is a general analysis that speaks of plants at a global level and does not focus on a specific plant, obtaining Exact figures or even a range is very complex since the quantities vary enormously depending on the dimensions of the plant, if they are going to have a supply use for populations or companies, the location where you want to build or even the country or region in which that we meet

The sensitivity analysis will be focused on the environmental impacts of this type of plants, both positive and negative, and described in an objective manner. The objective of the analysis will be to show the differences that the floating factor contributes in this type of plants for the care of the environment, as well as the negative consequences that it brings with it.

Finally, for the analysis of the future, different European and national sources will be studied to analyze how the situation regarding renewable energies has evolved throughout history and how they are expected to evolve in the coming years on the continent.

3. Results

The results to be highlighted come from the sensitivity analysis and the future analysis.

From the sensitivity analysis it can be extracted that despite the fact that photovoltaic energy does not have direct environmental impacts, its indirect impacts are very serious and important, the manufacturing process of solar panels is very polluting, as well as using toxic and dangerous materials; As an addition, when the plates end their useful life and are separated into their different components and materials, they have little reuse and recycling.

On the other hand, floating photovoltaic plants, although they bring undeniable benefits for the quality of water and its efficient use, and exhaustive studies are carried out to ensure that the least possible contamination is polluted in the chosen construction location, they will always affect the local flora and fauna apart from considerably reducing recreational activities in the places where they are located.

In the analysis of the future, on the other hand, the results that are extracted are very positive at the national level. Europe is in low hours regarding the energy sector in general due to the great war between Russia and Ukraine; Countries that were previously powers and leaders

in the energy sector are in moments of crisis and uncertainty, such as Germany, for example, due to its strong dependence on Russian gas. In this situation, Spain is positioned as the undisputed leader in Europe to guide it towards the objectives set for 2030 and 2050, leading the energy transition towards clean energy and being one of the countries that will experience the greatest growth in the coming years in this sector.

País	2022 Potencia total (en gigavatios)	Potencia total Escenario medio Horizonte 2026	2023-2026 Nueva capacidad (en GW)	Ratio de crecimiento compuesto anual 2022-2026	Perspectivas de apoyo político
Germany	68,5	131,0	62,6	18%	
Spain	26,4	77,7	51,2	31%	
Poland	12,5	34,4	21,8	29%	
Italy	24,7	45,5	20,9	17%	
Netherlands	18,0	37,2	19,3	20%	
France	16,1	34,6	18,4	21%	
Greece	5,6	15,9	10,4	30%	
Portugal	4,2	14,5	10,3	36%	
Sweden	2,7	10,5	7,8	41%	
Austria	3,8	10,4	6,7	29%	
Romania	1,8	8,0	6,1	44%	
Ireland	0,5	6,5	6,0	90%	
Denmark	3,9	9,5	5,6	25%	
Belgium	7,9	13,1	5,1	13%	
Hungary	3,9	9,0	5,1	23%	

Table 2: Forecast of the European photovoltaic evolution (Solar Power Europe)

4. Conclusions

- Regarding the technical analysis, it can be concluded that, in terms of components and method of construction of photovoltaic plants, both conventional and floating, the sector is more than standardized, always following the same assembly designs, in this aspect, little innovation will be seen. in the following years.
- With respect to the economic analysis, it can be concluded that politicians and companies are finally aware of the critical point at which our planet finds itself, in which either urgent action is taken or there will be no turning back. The increasing number of both European and national subsidies and support from private companies for projects in the renewable energy sector is clearly the way to go in the coming years.
- From the sensitivity analysis, the imminent urgency required to find materials that have greater recycling and reuse, as well as less polluting manufacturing processes, is extracted. On the other hand, it can be said that today there is no 100% clean energy and it is very unlikely that one day it will exist since some sector of the environment

will always be affected, if not in the form of gas emissions. to the atmosphere, it will be harming local flora and fauna or even nearby residents and business owners.

- Lastly, from the analysis of the future, it can be concluded that Spain, no matter how much one wants to think otherwise, is a country with great potential in terms of innovation. With the right funds allocated to the right people, it is possible to be pioneers in what the future of energy brings us and be leaders in Europe and even worldwide.

5. References

[1] *International Journal of Scientific & Engineering Research*. Vol 8, June 2017.

[2] Iberdrola, “¿Cómo funcionan las plantas fotovoltaicas?”. Last visit: 19/06/2023

<https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/que-es-energia-fotovoltaica>

[3] Comisión Europea, “Programas de Financiación de la UE”. Last Visit: 19/06/2023

https://commission.europa.eu/funding-tenders/find-funding/eu-funding-programmes_es

[4] IRENA, “El Futuro de la Energía Solar Fotovoltaica”. Last Visit: 19/06/2023

[https://www.irena.org/-](https://www.irena.org/)

[/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Nov/IRENA_Future_of_Solar_PV_summary_2019_ES.pdf?la=en&hash=DE82F7DC53286F720D8E534A2142C2B8D510FB0B#:~:text=La%20energ%C3%ADa%20solar%20FV%20generar%C3%ADa,generaci%C3%B3n%20m%C3%A1s%20importantes%20para%202050.&text=ESTA%20TRANSFORMACI%C3%93N%20SOLO%20SER%C3%81%20POSIBLE,EN%20LAS%20TRES%20PR%C3%93XIMAS%20D%C3%89CADAS.](https://www.irena.org/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Nov/IRENA_Future_of_Solar_PV_summary_2019_ES.pdf?la=en&hash=DE82F7DC53286F720D8E534A2142C2B8D510FB0B#:~:text=La%20energ%C3%ADa%20solar%20FV%20generar%C3%ADa,generaci%C3%B3n%20m%C3%A1s%20importantes%20para%202050.&text=ESTA%20TRANSFORMACI%C3%93N%20SOLO%20SER%C3%81%20POSIBLE,EN%20LAS%20TRES%20PR%C3%93XIMAS%20D%C3%89CADAS.)

Índice de la memoria

Capítulo 1. Introducción	6
1.1 Motivación del proyecto	7
1.2 Objetivos del proyecto.....	8
1.3 Alineación con los objetivos de desarrollo sostenible	10
Capítulo 2. Descripción de las Tecnologías	12
Capítulo 3. Estado de la Cuestión	13
3.1 Trabajos previos	13
3.2 Estado del arte.....	14
3.3 Contexto.....	18
3.3.1 Energía solar.....	19
3.3.2 Placas solares convencionales vs placas solares flotantes	23
3.3.3 El futuro de la energía solar fotovoltaica	27
Capítulo 4. Definición del Trabajo	30
4.1 Justificación	30
4.2 Metodología	32
4.3 Planificación del proyecto.....	33
Capítulo 5. Análisis técnico	34
5.1 Análisis de tecnologías	35
5.2 Plantas en el mundo.....	43
5.3 Plantas en España	47
Capítulo 6. Análisis Económico	49
6.1 Análisis de costes	50
6.2 Posibles financiaciones	53
6.3 Posibles costes de explotación	56
6.4 Posibles ingresos	58
Capítulo 7. Análisis de sensibilidad	61
7.1 Impactos en el entorno y efectos en el medioambiente	62

<i>Capítulo 8. Análisis de futuro</i>	<i>68</i>
<i>Capítulo 9. Conclusiones</i>	<i>72</i>
<i>Capítulo 10. Referencias y bibliografía.....</i>	<i>77</i>

Índice de figuras

<i>Figura 1: Esquema de una planta fotovoltaica flotante (Iberdrola)</i>	<i>9</i>
<i>Illustration 2: Diagram of a floating photovoltaic plant (Iberdrola).....</i>	<i>14</i>
<i>Figura 3: Objetivos de desarrollo sostenible de las Naciones Unidas (ONU)</i>	<i>11</i>
<i>Figura 4: Instalación de las Bodegas Far Niente, Oakville, California (Autoconsumo, 2013) 15</i>	
<i>Figura 5: “Proyecto Lotus”, Solarolo, Italia [PATI17]</i>	<i>16</i>
<i>Figura 6: Sistema FTCC de Petra’s Winery, Suvereto, Italia [PATI17].....</i>	<i>16</i>
<i>Figura 7: Sistema FTCC en Pisa, Italia (ResearchGate).....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 8: Planta Solar Fotovoltaica Núñez de Balboa, Extremadura, España (Eiffage) 20</i>	
<i>Figura 9: Planta Gemasolar, Sevilla, España (Structuralia)</i>	<i>21</i>
<i>Figura 10: Distintos usos de la energía solar (Greenteach).....</i>	<i>22</i>
<i>Figura 11: Construcción de un parque eólico híbrido por parte de Iberdrola (Iberdrola) 22</i>	
<i>Figura 12: Esquema de eutrofización en el agua (Tiloom).....</i>	<i>25</i>
<i>Figura 13: Cronograma del proyecto (Elaboración propia)</i>	<i>33</i>
<i>Figura 14: Efecto Fotoeléctrico (Área Tecnología)</i>	<i>35</i>
<i>Figura 15: Celda Fotovoltaica (Esenergía).....</i>	<i>36</i>

<i>Figura 16: Panel Fotovoltaico (Wikipedia).....</i>	<i>37</i>
<i>Figura 17: Inversor de un panel fotovoltaico (Ecosolaris)</i>	<i>38</i>
<i>Figura 18: Esquema de conexión de un panel solar con batería y regulador (Monsolar)</i>	<i>39</i>
<i>Figura 19: Diagrama de funcionamiento de las placas fotovoltaicas (EfectoLED).....</i>	<i>39</i>
<i>Figura 20: Planta fotovoltaica flotante (Iberdrola)</i>	<i>40</i>
<i>Figura 21: Tipos de amarres (Iberdrola)</i>	<i>42</i>
<i>Figura 22: Planta fotovoltaica flotante de Umenoki (El periódico de la energía).....</i>	<i>43</i>
<i>Figura 23: Granja fotovoltaica flotante Dezhou Dingzhuang (Innovando news).....</i>	<i>44</i>
<i>Figura 24: Instalación fotovoltaica flotante del embalse de Alqueva (pv magazine España)</i>	<i>45</i>
<i>Figura 25: Instalación fotovoltaica flotante de la granja Sheeplands [RUIZ23_2].....</i>	<i>46</i>
<i>Figura 26: Planta fotovoltaica flotante de Sierra Brava (Acciona)</i>	<i>48</i>
<i>Figura 27: Prototipo de invernadero del proyecto “Green Ocean” (N-Ark).....</i>	<i>60</i>
<i>Figura 28: Planta fotovoltaica flotante en mar abierto (El Periódico de la energía).....</i>	<i>63</i>

Índice de tablas

<i>Tabla 1: Previsión de la evolución fotovoltaica europea (Solar Power Europe).....</i>	<i>11</i>
<i>Table 2: Forecast of the European photovoltaic evolution (Solar Power Europe).....</i>	<i>16</i>
<i>Tabla 3: Evoluciones previstas para 2050 por IRENA (IRENA).....</i>	<i>29</i>
<i>Tabla 4: Objetivos de Relevancia que persigue la ELP 2050 (Ministerio transición ecológica y reto demográfico, 2020).....</i>	<i>69</i>
<i>Tabla 5: Datos del mix energético español en mayo y en todo el año 2023 (pv magazine España) </i>	<i>70</i>
<i>Tabla 6: Escenario fotovoltaico europeo de 2022 a 2026 (Solar Power Europe).....</i>	<i>71</i>

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

El trabajo fin de grado que se va a realizar consiste en un estudio detallado de aspectos técnicos, económicos y de sensibilidad medioambiental de las plantas alrededor del mundo que obtienen energía mediante la tecnología de placas solares flotantes.

Es un análisis puramente teórico, con la intención de ser lo más completo y detallado posible; tanto de factores importantes a tener en cuenta previo a construir una planta de esta índole como de los distintos factores positivos y negativos que pueden afectar a la planta una vez operativa.

A pesar de que el título del propio proyecto así lo indica, en lugar de tomar una planta real de algún lugar del mundo como ejemplo o modelo y realizar todo el trabajo como un estudio concreto de ésta simplemente limitándonos a hablar sobre los impactos que genera y los factores que la afectan se ha optado por realizar un estudio genérico, sin tener en cuenta plantas o lugares específicos del mundo, pero en el que se estudiarán todo lo mencionado anteriormente de manera completa haciendo diferenciaciones claras sobre el país o región en el que nos encontremos, sobre el tipo de lugar en el que la planta esté construida, etc.

De todas formas, de cara a realizar un estudio lo más claro y sencillo posible ciertos apartados del trabajo requerirán centrarse en una planta o región concreta, en cuyo caso quedará perfectamente aclarado al inicio de dicho apartado.

1.1 MOTIVACIÓN DEL PROYECTO

Desde que la escuela ofreció la oportunidad de elegir tema para el proyecto de fin de grado, tenía en mente que no quería realizar un proyecto “práctico” o “de diseño” ya que según han ido sucediéndose los años me he dado cuenta de que me apasiona la ingeniería, pero desde el punto de vista más teórico y de investigación.

Sea o no el tema de las energías renovables del agrado del lector, nunca está de más conocer la actualidad del mundo en el que vivimos y no hay tema de mayor actualidad e innovación que éste.

El mundo de hoy asolado por una guerra y una de las peores crisis económicas y energéticas globales que se hayan conocido exige de la cooperación de todos para encontrar soluciones debido al punto de inflexión global en el que se encuentra toda la humanidad. Las placas solares flotantes son una tecnología prácticamente nueva y de reciente explotación con un potencial increíble de cara a un futuro sostenible y lograr la descarbonización total global; por eso, la principal motivación de este proyecto es el poder conocer a fondo todas sus características, pros y contras y qué se necesita para tener plantas de estas características operativas, realmente rentables y que ayuden a solventar la delicada situación en la que el mundo se encuentra. A parte, motiva enormemente el tener la oportunidad de, una vez caracterizadas dichas plantas en sus aspectos técnicos, económicos y de impacto ambiental, el poder dar un punto de vista subjetivo a toda la investigación y ser capaz de proponer alguna solución realista a alguno de los impactos o aspectos negativos que tienen este tipo de plantas y de esa forma aportar al sector y dar pasos con el objetivo de solventar la delicada situación en la que se encuentra el mundo actualmente.

1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO

Los objetivos principales que se persiguen con este proyecto de fin de grado son los siguientes:

- Conocimiento general sobre la tecnología:

Las placas solares flotantes son una forma de obtención de energía de reciente implantación en nuestro país por lo que hoy en día todavía hay mucho desconocimiento general sobre ellas a pesar de que en regiones de Europa, Asia y Estados Unidos sí que llevan unos cuantos años implantadas y siendo una manera de obtención de energía de gran uso y relevancia. Por eso, se busca que este proyecto sirva como una guía introductoria para todo aquel que no se dedica al sector y quiera obtener un conocimiento completo a todos los niveles sobre esta tecnología.

- Estudio concreto en España respecto a la tecnología:

España es un país en el que hoy en día las placas solares flotantes no están establecidas como una forma de obtención de energía a gran escala, uno de los puntos importantes del trabajo consiste en explicar y entender la situación energética actual en España y como ésta hace que mientras en algunos países del mundo las placas solares flotantes se encuentran más que establecidas en España, no es el caso aunque se verá que poco a poco se está comenzando a implementar debido a la necesidad de cumplir objetivos como la famosa “Agenda 2030”.

- Ventajas de las placas solares flotantes frente a las convencionales:

A parte de explicar todos los posibles factores que afectan a plantas de placas solares flotantes, se busca la comparación de estos factores frente a los que afectan a plantas de placas solares convencionales para dejar claro las ventajas y desventajas concretas que aportan el factor flotante.

- Análisis de futuro:

Una parte con mucha carga en el proyecto es la de realizar un análisis de futuro centrado sobre todo en España y la Unión Europea ya que son las regiones en las que nos encontramos. Se explicarán conceptos como la famosa “Agenda 2030” y los objetivos de descarbonización total comunes a toda la Unión Europea para 2050. También se explicarán las implicaciones de todas estas medidas a nivel global y los objetivos que se persiguen de cara a entender porque las placas solares flotantes juegan un papel tan importante en todo esto y cómo se espera que su presencia en España aumente de manera considerable en los próximos años.

Por último, un objetivo personal que se persigue con este proyecto es:

- Resolución de algún problema actual:

No sólo se persigue explicar los pros y contras de las placas flotantes de una manera superficial y teórica, sino también intentar contribuir en la medida de lo posible y siempre de una manera realista tratando de encontrar posibles soluciones o alternativas a los problemas reales de hoy en día producidos por las placas solares flotantes ya sean económicos, ambientales, de eficiencia energética, etc.

1.3 ALINEACIÓN CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE

Los 17 objetivos de desarrollo sostenible de las Naciones Unidas son una propuesta de medidas interrelacionadas entre sí y que suponen desafíos globales para alcanzar la paz, la justicia y la prosperidad para todas las personas, junto con la lucha contra la degradación ambiental y el cambio climático para el año 2030.

En este proyecto se pretenden abarcar 4 de los objetivos que son los siguientes:

- ODS 7. Energía asequible y no contaminante:

Desde la propia web de la ONU [ONU__] se dice que “tres mil millones de personas no tienen acceso a tecnologías ni combustibles limpios para cocinar”. Las placas solares flotantes son una manera limpia y sostenible para conseguir y abastecer de energía a poblaciones de muchas personas a la vez que no suponen un desembolso económico tan masivo por parte de los países como otras formas de energías renovables. A través de la instalación de plantas de placas solares flotantes, se puede hacer que ese número tan dramático de personas sin acceso a energía limpia se reduzca exponencialmente.

- ODS 8. Trabajo decente y crecimiento económico:

En [ONU__] se hace referencia a que “una quinta parte de la población joven no estudia ni trabaja”. La implantación de esta tecnología a unos niveles que supongan la estandarización de las placas solares flotantes como forma renovable de conseguir energía tanto en España como en Europa supondría el crecimiento económico de dicho país a la vez que permitiría la creación de un gran número de puestos de trabajo con salarios decentes para las nuevas generaciones a los que se podría acceder con una mayor o menor formación.

• ODS 9. Industria, innovación e infraestructura:

Este objetivo de desarrollo sostenible está enfocado sobre todo a la financiación de proyectos. Si se logra que el interés por esta clase de plantas crezca, se comenzará a contar con la financiación adecuada tanto por vías privadas como por parte del gobierno para su proyección, construcción y puesta en funcionamiento. Además, como se verá a lo largo de este proyecto, las placas solares flotantes y las placas solares convencionales beben de los mismos orígenes y principios por lo que se puede aprovechar la gran infraestructura e industria con la que se cuenta no solo en España, sino en Europa y en todo el mundo lo que supondría un impulso enorme para la industria nacional, un paso claro hacia la innovación de los países y un enorme salto en el valor de las infraestructuras nacionales.

• ODS 13. Acción por el clima:

Las placas solares flotantes son una forma de obtención de energía limpia y sostenible que juega un papel crucial y fundamental en los objetivos de la Agenda 2030 y la descarbonización global de la Unión Europea de cara a 2050 por lo que claramente toman cartas en el asunto sobre cuidar y proteger el medio ambiente y luchar contra el cambio climático. Con la implantación de este tipo de plantas junto con la gran infraestructura de otro tipo de energías renovables con la que ya se cuenta en todo el mundo se pueden reducir considerablemente los niveles de las emisiones de CO2 que “han aumentado casi un 50% desde 1990” [ONU__]



Figura 3: Objetivos de desarrollo sostenible de las Naciones Unidas (ONU)

Capítulo 2. DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS

A lo largo del trabajo siempre se va a tratar de explicar todo primero a unos niveles básicos de comprensión previo a la continuación de lo que se esté tratando en los apartados o puntos para que el presente documento pueda ser de uso en su lectura tanto para lectores familiarizados con el tema o que se dedican a dicho sector como para lectores novatos que no están familiarizados con el sector fotovoltaico, pero quieren aprender sobre este tema de innovación y relevancia.

Algunos conceptos para tener en cuenta debido a que se repetirán con frecuencia a lo largo del trabajo son:

- Energía fotovoltaica:

Método de obtención de energía que aprovecha la radiación del Sol para generar electricidad mediante el efecto fotoeléctrico (se explicará más adelante).

- Energía renovable:

Energías que se obtienen o derivan empleando recursos naturales prácticamente ilimitados o que se reponen más rápido de lo que se consumen.

- Wattios o Vatios (W):

Medida del Sistema Internacional que cuantifica la potencia o cantidad de energía que se utiliza. Equivale a $[J/s] = [Kg \cdot m^2/s]$.

- Descarbonización:

Reducción progresiva de las emisiones de carbono a la atmósfera, si se habla de descarbonización total implica lograr unas emisiones de carbono nulas.

Capítulo 3. ESTADO DE LA CUESTIÓN

3.1 TRABAJOS PREVIOS

En la búsqueda de información para este trabajo se han recabado muchos artículos y estudios de distintos orígenes sobre la cuestión a tratar.

En cuanto a artículos, ya sean de periódicos generalistas, de compañías energéticas, de revistas especializadas en el tema de las energías renovables, etc; se ha encontrado información muy diversa y completa con el hándicap de tener que ser muy cuidadoso con el año de publicación ya que los datos acerca de potencia con la que se cuenta a nivel global o nacional, o las dimensiones de las plantas más grandes en países determinados o a nivel global ha cambiado mucho en los últimos años, también diversas plantas y planes que se han proyectado y nunca se han llegado a llevar a cabo, etc. Pero, en los aspectos técnicos, económicos y de impacto generales, la información y conocimiento actuales está toda disponible y muy accesible cosa que se valora positivamente.

En el aspecto de trabajos de fin de grado o máster similares al que se va a llevar a cabo no se ha encontrado mucha variedad. En España hay publicados diversos trabajos fin de máster con el mismo título que se han centrado en plantas concretas del mundo y han llevado a cabo el estudio completo de dicha planta teniendo en cuenta el aumento considerable de carga y horas de trabajo que supone que sea un trabajo fin de máster y no un trabajo fin de grado.

Por tanto, el objetivo del presente trabajo y el aporte que se pretende hacer con él es que toda la información más general y concreta acerca del tema fotovoltaico flotante esté disponible en un solo artículo para que no haya que realizar exhaustivas búsquedas en internet y en las distintas revistas sobre los temas de los que se quiere tener conocimiento. Así como contar en este mismo trabajo con un análisis del futuro de las placas flotantes a nivel global por lo que no sólo estará centrado en la situación actual, así como posibles soluciones a los problemas presentes, cosa no tan disponible en ningún sitio actualmente.

3.2 ESTADO DEL ARTE

Las placas solares flotantes son una tecnología de reciente creación e implantación en el mundo que, en el caso de muchos países europeos como es el caso de España, no cuentan con historia usando esta tecnología y es ahora cuando se empieza a implementar.

La primera planta de placas solares flotantes de la que se tiene constancia apareció en 2007 en Aichi, Japón, tal y como se comenta en [TRAC__] no fue una planta al uso ya que consistió en una pequeña instalación construida con el objetivo de la investigación por el Instituto Nacional de Ciencia y Tecnología Avanzadas en Japón para estudiar el concepto de la placa solar flotante y sus posibles ventajas como el hecho de que al estar al nivel del agua, las temperaturas son más bajas y podrían ayudar enormemente al rendimiento del módulo.

En los años siguientes hasta 2014, otros países como Estados Unidos o en Europa, Italia se unieron a la prueba y demostración de pequeños sistemas de placas solares flotantes.

En Estados Unidos, la primera planta solar flotante al uso y significativa fue construida en las bodegas Far Niente de California, en [AGRI22] se comenta que estas bodegas encontraron un problema al pasarse a la energía solar, ya que su edificio principal se encuentra en el Registro Nacional de Lugares Históricos de EEUU, esto, hacía que diseñar una instalación de placas solares convencional resultara todo un desafío ya que el edificio se encuentra protegido por muchas regulaciones, a parte, se ubican en una zona con suelos de alto valor económico por lo que la instalación diseñada costaba un precio desorbitado a parte de las tierras cultivables que tendrían que destruir para poder abastecer la necesidad energética de la bodega. En aquel momento, decidieron tomar una decisión arriesgada y construir la que hoy en día es la primera planta de placas solares flotantes conectada a la red.



Figura 4: Instalación de las Bodegas Far Niente, Oakville, California (Autoconsumo, 2013)

El proyecto fue instalado por SPG Solar y cuenta con aproximadamente 1000 paneles instalados en un estanque a parte de otros 1300 más en tierras no aptas para el cultivo. Los paneles flotantes en esta instalación no sólo se refrigeran gracias a las temperaturas del estanque, sino que contribuyen a reducir la evaporación del agua ayudando a mantener niveles de agua óptimos para otros usos de la bodega como el riego.

Por otro lado, en Italia cabe mencionar tres proyectos significativos.

Tal y como se dice en [PATI17] en el año 2009 el “Proyecto Lotus” en Solarolo, Italia diseñado para estar sobre un estanque de riego, introdujo conceptos como el cambio en la inclinación de los paneles para poder usar más en un mismo espacio dado y, el acceso a la planta mediante una estructura flotante que conecta tierra con la instalación para facilitar tareas de mantenimiento.



Figura 5: "Proyecto Lotus", Solarolo, Italia [PATI17]

En el año 2010 se instaló un sistema de enfriamiento conocido como Floating Tracking Cooling System (FTCC) en inglés y Sistema de Concentración de Enfriamiento de Seguimiento Flotante en español en las bodegas "Petra's Winery", en Suvereto, Italia, el cual introdujo un sistema de seguimiento para que los paneles se puedan mover de acuerdo con el movimiento del sol.



Figura 6: Sistema FTCC de Petra's Winery, Suvereto, Italia [PATI17]

Finalmente, el grupo de investigación encargado del proyecto anterior también creó una instalación en Pisa, Italia en la que se colocaron los paneles en forma de V, el resultado de disponer los paneles así fue la maximización de la cantidad de radiación solar captada por

los paneles lo que provocaba que tuvieran que soportar temperaturas más altas, pero la solución a esto, fue disponer los paneles más cerca del agua logrando el objetivo de hacer la instalación más eficiente que la dispuesta en Suvereto.



Figura 7: Sistema FTCC en Pisa, Italia (ResearchGate)

A partir del año 2013 comenzó el crecimiento masivo de las plantas convencionales que abastecen de energía a hogares e instalaciones que conocemos hoy en día a lo largo de todo el mundo siendo Asia claramente la líder en el uso de la tecnología que se discute con más del 85% de la generación global en países como China y Singapur, Japón la pionera de la tecnología actualmente cuenta con una cuota del 15% de esta generación global.

3.3 CONTEXTO

El objetivo de este capítulo es el de realizar una introducción acerca de todo lo que rodea a las placas solares flotantes para una vez entendido todo este contexto, poder realizar un estudio técnico, económico y de sensibilidad completo en el que el lector parta con la base necesaria para poder pasar directamente a la explicación de los distintos conceptos que el estudio requiera sin hacerlo tampoco muy lento o repetitivo explicando una y otra vez las distintas bases necesarias para entender todo de manera completa.

Primero se realizará la explicación de los distintos tipos de energía solar y en concreto la fotovoltaica, ligada a las placas solares que es una de las soluciones renovables más famosas e implementadas a nivel global, se resolverán y aclararán preguntas tales como de dónde viene, cómo se “recoge” o cómo se transforma en energía útil para el día a día del ser humano.

Se explicarán las ventajas y desventajas generales de las placas solares convencionales y las placas solares flotantes con el objetivo de ir realizando una comparación y que el propio lector vaya extrayendo sus conclusiones de una manera general acerca de qué tecnología es mejor usar según en qué situación nos encontremos.

Por último, se hablará concretamente sobre el aporte de la placa solar flotante y el posicionamiento de IRENA (Agencia Internacional de las Energías Renovables) respecto a esta tecnología y cómo encaja en sus conclusiones e ideas para la reducción de costes en el área de las energías renovables de cara a un futuro sostenible y descarbonizado.

3.3.1 ENERGÍA SOLAR

La energía solar es aquella proveniente de la radiación electromagnética del sol ya sea en forma de luz, calor o rayos ultravioleta. Es una energía renovable debido a que se obtiene del sol, fuente natural e inagotable.

Es una de las tecnologías clave hoy en día en la transición energética debido a su utilidad, como se recoge en [ACCI__] a la energía solar todavía le quedan muchos años de uso ya que el Sol todavía tiene por delante 6.500 millones de años de vida aproximadamente. En cuanto a eficiencia, la superficie de la Tierra recibe 120.000 TW (teravatios) de irradiación solar, estimándose que el Sol irradia a la Tierra por hora la suficiente energía para satisfacer nuestras necesidades globales durante más de un año; según un estudio de la Union of Concerned Scientists “la radiación solar que le llega a la Tierra durante 18 días es equivalente energéticamente hablando a la de las reservas globales de carbón, petróleo y gas natural”.

Todo esto, ha hecho que sea un sector que llama la atención de empresas y grandes inversores convirtiéndolo así en una de las energías renovables que más avances tecnológicos ha presentado en los últimos años haciendo que sea una solución factible contra las fuentes de energía convencionales en ciertos países impulsando así economías más limpias y sostenibles.

Existen distintos usos para la energía solar implicando así la existencia de distintos métodos y tipos de placas solares para cada uno de ellos.

- Energía solar fotovoltaica:

La más conocida y en la que nos centraremos en este trabajo. Este método consiste en convertir la luz del sol directamente en electricidad mediante el uso de paneles solares fotovoltaicos; en la siguiente sección se estudiará más en profundidad el proceso, pero la clave es el uso de módulos fotovoltaicos y el denominado efecto fotovoltaico mediante el cual ciertos materiales son capaces de absorber fotones (radiación electromagnética) con una cierta energía, ionizarse y liberar electrones (electricidad). Las placas fotovoltaicas se

pueden usar tanto en grandes instalaciones conocidas como plantas fotovoltaicas como la de la figura, y a nivel doméstico para abastecer viviendas o comunidades de vecinos.



Figura 8: Planta Solar Fotovoltaica Núñez de Balboa, Extremadura, España (Eiffage)

- Energía solar térmica:

Otra forma de energía solar bien conocida que emplea el calor del Sol para obtener calor y electricidad por lo que se divide en dos tipos de usos. El primero es a nivel doméstico en el que se usan captadores solares para recoger la radiación solar y convertirla en calor que puede ser almacenado y posteriormente ser utilizado para los usos habituales de un hogar como sistemas de calefacción o calentamiento de agua.

Por otro lado, a nivel industrial se trabaja con espejos que concentran toda la luz en colectores solares más potentes que trabajan a mayores temperaturas y que de nuevo transforman la radiación del sol en calor, pero esta vez, el calor se emplea para calentar ciertos líquidos y generar vapor que mueven turbinas de generadores eléctricos produciendo así energía eléctrica que se podrá usar en un radio mucho mayor como, por ejemplo, la planta de la figura.



Figura 9: Planta Gemasolar, Sevilla, España (Structuralia)

- Energía solar pasiva:

La energía solar pasiva se caracteriza por usar la energía del sol de una manera “bruta” sin ningún mecanismo de por medio que la transforme en otro tipo de energía. Se suele usar en soluciones constructivas con objetivos diversos como maximizar la luz natural de una vivienda que acaba repercutiendo tanto en facturas de electricidad como calefacción o en el conocido como diseño bioclimático de edificios en los que se aprovechan ciertos materiales y orientaciones de éstos en la propia arquitectura de la vivienda para mantenerla cálida por la noche gracias a la energía captada durante las horas de sol.

En la siguiente figura se muestra una imagen sencilla para ver los distintos usos de los tres tipos de energías solares previamente descritos de manera gráfica.



Figura 10: Distintos usos de la energía solar (Greenteach)

- Energía solar híbrida:

Por último, la energía solar híbrida consiste en la combinación de cualquier tipo de energía solar visto hasta ahora con otro tipo de fuente de energía ya sea renovable o no. El uso más habitual de esta práctica en lo que a energía solar se refiere suele ser la combinación con la energía eólica mediante el uso de aerogeneradores junto con las placas solares.



Figura 11: Construcción de un parque eólico híbrido por parte de Iberdrola (Iberdrola)

3.3.2 PLACAS SOLARES CONVENCIONALES VS PLACAS SOLARES FLOTANTES

Una vez vista la energía solar como concepto y los distintos métodos de explotación de ésta, procedemos a ver sus ventajas y por qué es una renovable que llama la atención de tantas empresas y países a nivel global.

Como ya se ha dicho en el apartado anterior, la fuente de dónde se recoge dicha energía a día de hoy se puede considerar inagotable y su transformación en energía útil para el ser humano no es contaminante ya que no genera residuos, no emite ningún tipo de ruido, no genera emisiones de dióxido de carbono u otros gases de efecto invernadero hacia la atmósfera, no emite sustancias tóxicas al aire ni contaminantes al agua y por tanto afecta en una medida minúscula a la biodiversidad del planeta, cosa que otras energías renovables, aunque en una medida pequeña, si pueden llegar a afectar.

Es una energía accesible que se puede instalar en cualquier lugar y zona de una manera muy fácil y económica generando así una gran cantidad de empleo y riqueza para todo tipo de zonas en un mismo país.

Su gran inversión y desarrollo tecnológico ha provocado que sea una energía reaprovechable, lo que quiere decir que mientras otras tecnologías como la eólica dependen de que sople el viento o la hidroeléctrica de que corra caudal por los ríos, la energía solar es capaz de almacenar los excedentes de calor almacenados para aprovecharlos cuando se necesiten sin reducir de esta forma los niveles de generación de energía.

Por último, otra consecuencia de todo esto es que hoy en día es una energía barata en gran parte del mundo haciendo que sea perfectamente competitiva con las formas de energía convencionales, esto, sumado a que es relativamente barato instalar placas solares en una vivienda particular hace que cada vez más gente se incline por esta tecnología contribuyendo a crear una sociedad y economía cada vez más sostenible.

En cuanto a por qué surge la energía solar flotante y qué cosas le aporta a la industria solar que lleva ya unos cuantos años establecida y siendo referencia en el área de las energías renovables cabe destacar lo siguiente.

En el aspecto técnico y de funcionamiento de las placas lo más importante es que tienen una producción mayor que los paneles solares convencionales debido principalmente a dos factores, por un lado los paneles solares pierden rendimiento a medida que soportan temperaturas mayores, por eso, los paneles solares flotantes, al estar en estrecho contacto con el agua que actúa como un reductor de temperatura natural se benefician y pueden experimentar un aumento en el rendimiento de entre el 10% y el 15% respecto a los paneles solares convencionales como se dice en [TUNE22]. Por otro lado, los paneles solares flotantes se ensucian mucho menos y acumulan menos polvo que los convencionales debido a que no se encuentran sobre la tierra y se ven también menos afectados por sombras que podrían dar ciertas estructuras terrestres próximas a la instalación contribuyendo así también a un aumento de la eficiencia de la planta respecto a una convencional.

Por otro lado, en el aspecto económico las instalaciones flotantes principalmente se benefician de que al estar situadas sobre masas de agua se olvidan de todos los trámites respecto a la adquisición de tierras y desventajas que podría traer la ocupación de ciertos terrenos como por ejemplo menor producción agrícola si las tierras son cultivables; este problema es muy famoso en España puesto que los agricultores siempre se han quejado del impacto negativo de las instalaciones solares en su actividad ya que a pesar de que el estado les paga una cierta cantidad por instalar paneles en sus tierras, ese dinero no es comparable a las pérdidas que a ellos les genera perder esas tierras en la actividad agrícola.

Y en este punto, es normal preguntarse si las aguas que ocupan las placas solares flotantes no son también aguas con un potencial uso que podría ser pesquero o de recreo y la respuesta es que no, las instalaciones flotantes se sitúan en embalses con un uso de almacenaje cuya adquisición además suele ser más barata que la del suelo terrestre.

Por último, donde desde luego la energía solar flotante trae innovación es en el aspecto medioambiental. Cabe destacar la principal de las ventajas que es la reducción de los niveles de evaporación del agua que cómo sabemos dependiendo de dónde nos encontremos y la estación del año que sea puede traer graves problemas de sequía y abastecimiento. Además, al haber mayores niveles de agua en el embalse ésta se puede usar para la propia limpieza de

la instalación ahorrando entre 7.000 y 20.000 litros de agua por MW como se especifica en [TRAC__].

Se mejora la calidad del agua al reducir considerablemente la eutrofización que es el crecimiento desmedido de algas que reduce considerablemente los niveles de oxígeno creando las condiciones idóneas para que crezcan bacterias anaerobias que generan en el agua sustancias perjudiciales y contaminantes tales como el metano



Figura 12: Esquema de eutrofización en el agua (Tiloom)

Por otro lado, se reduce de manera considerable la erosión de las orillas al bloquear las fuertes rachas de viento causantes de este efecto.

Aunque todo parezcan ventajas, las placas solares flotantes también presentan desventajas respecto a las instalaciones convencionales la mayoría de ellas debidas a que la tecnología todavía es muy reciente y hoy en día no está muy implantada ni estandarizada a nivel global y se sigue investigando y trabajando en mejoras para la tecnología actual.

En cuanto a la producción y el aspecto técnico de las plantas no se sabe a ciencia cierta si la planta funcionará como se prevé en los estudios previos debido a que la estructura y los componentes pueden sufrir daños eventuales por el entorno húmedo y las condiciones del agua en el que se encuentran. Encima, aunque se aumenta el rendimiento de la instalación

frente a su semejante en tierra, la realidad es que la producción de energía suele ser de menos horas debido a que las plantas flotantes no suelen implementar la posibilidad de seguimiento de la luz como si lo hacen las instalaciones terrestres debido a que los precios de la instalación en sí son más costosos en el agua que en la tierra.

En el tema económico los inconvenientes son sobre todo en la inversión inicial ya que se requiere un desembolso mayor al principio para realizar todos los estudios acerca de las condiciones del agua y el suelo marino y saber cómo proteger los componentes que forman la planta de la mejor manera, esta protección de los componentes también implica un coste adicional ya que hay que adaptar todo el cableado y los propios paneles para que soporten el entorno húmedo y algunos incluso, resistan estar sumergidos en el agua; y , también a la hora de realizar operaciones de mantenimiento ya que se puede requerir de la intervención de buzos para comprobar el estado de la estructura de vez en cuando.

Por último, en el aspecto medioambiental, en el cual, aunque las aguas donde se instalan las plantas son de almacenaje y no hay una fauna de interés en el sector pesquero, también se afecta en cierta medida a la biodiversidad del embalse aunque no de manera excesivamente nociva o peligrosa para la vida de dicha masa de agua gracias a todos los estudios previos realizados previo a autorizar la construcción de la instalación en dicho embalse.

3.3.3 EL FUTURO DE LA ENERGÍA SOLAR FOTOVOLTAICA

Como se explica en [MINI__], IRENA (International Renewable Energy Agency) es una organización intergubernamental con origen en Alemania y copresidida por dicho país, Dinamarca y España que cuenta con 116 signatarios entre los que se encuentra la Unión Europea. El objetivo de esta agencia según dicen sus estatutos es “promover la adopción generalizada y reforzar el uso sostenible de todas las formas de energía renovable” estableciendo así tanto el reconocimiento de acción como el compromiso internacional de las energías renovables.

En noviembre de 2019, la agencia realizó un estudio llamado “El Futuro de la Energía Solar Fotovoltaica” al que nos referenciaremos como [IREN19]; en él, se habla de varios factores de interés de cara al futuro de este sector y como una correcta inversión y desarrollo pueden ayudar de manera considerable al panorama energético global.

Este estudio está centrado en el papel de la energía solar fotovoltaica en el cumplimiento de los “Objetivos de París” del año 2050 por el cual a los países desarrollados se les proporcionan rutas para ayudar a los países en vías de desarrollo a adaptarse al cambio climático.

Se dice que, de todas las energías renovables presentes, sólo con la implantación de la energía solar fotovoltaica se puede conseguir una reducción en las emisiones de CO₂ de 4,9 gigatoneladas para 2050 que es aproximadamente un 21% de las emisiones totales en el sector energético.

Para ello se debe multiplicar por 3 la actual capacidad de generación fotovoltaica hasta el año 2030 y por 4 hasta el año 2050 para llegar hasta los 372 GW (gigavatios) al año (**Tabla 1 – Implantación Anual**).

De ser así, para dicho año 2050 la energía solar fotovoltaica sería la segunda fuente global de generación eléctrica, responsable de generar aproximadamente el 25% de la demanda eléctrica global solo por detrás de la eólica (**Tabla 1 - Energía Solar FV en la Matriz de Generación Total**).

Para conseguirlo se espera que Asia y en especial China sigan siendo los líderes del sector tal y como lo son en la actualidad teniendo para 2050 más de la mitad de la capacidad global instalada mientras que Europa se quedaría con un 10%.

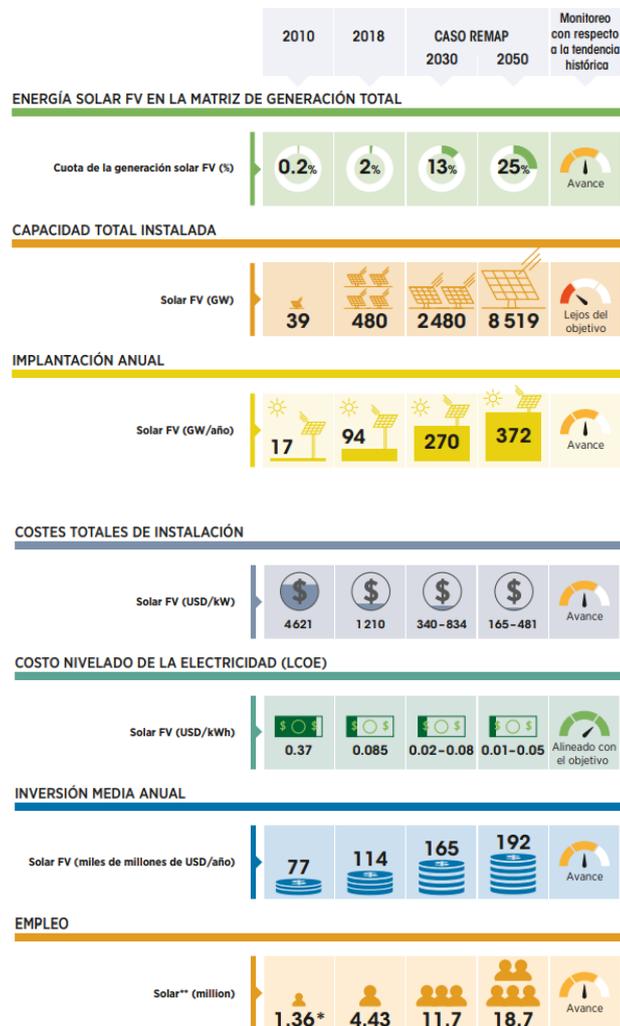
El factor clave para conseguir los objetivos es el aumento de la inversión en generación eléctrica fotovoltaica hasta un 78% desde la actualidad hasta 2050 llegando a los 192.000 millones de USD al año (**Tabla 1 – Inversión Media Anual**).

Con el aumento de las economías de escala y la gran inversión en la mejora de tecnologías los costes de los proyectos de energía solar fotovoltaica se reducirían todavía más durante estas tres próximas décadas llegando hasta un precio de entre 165 y 481 USD/kW (kilovatio) en 2050 (**Tabla 1 – Costes Totales de Instalación**); por otro lado, el costo nivelado de la electricidad también bajaría a pesar de que en la actualidad es muy competitivo llegando hasta una media de entre 0,014 y 0,05 USD/kWh (kilovatio hora) en 2050 (**Tabla 1 – Costo Nivelado de la Electricidad (LCOE)**).

Ya en la actualidad, el sector fotovoltaico cambia y evoluciona a un ritmo muy acelerado con mejoras de todo tipo enfocadas a la reducción de costes como por ejemplo mejoras en la arquitectura de las celdas fotovoltaicas, o a la mejora de la eficiencia de los materiales lo que genera interés y creación de proyectos de investigación aumentando así la capacidad solar fotovoltaica a una escala global. Por tanto, habrá que preparar las redes eléctricas a todos los niveles (generación, transmisión, distribución y almacenamiento) para la integración de cada vez más y más generación fotovoltaica con un aumento de la inversión de más del 25% hasta los 374.000 millones de USD al año.

Hay que tener en cuenta que esta tecnología es tan barata respecto a otras y se ve beneficiada de reducciones de precio con cada mejora nueva que se desarrolla debido al gran número de políticas de apoyo e incentivos fiscales que tienen en ciertos mercados haciéndola mucho más atractiva comparada con la compra tradicional de electricidad de la red eléctrica.

Volviendo a los objetivos para 2050 la transformación prevista conllevaría la empleabilidad de 18 millones de personas hasta 2050 siendo 5 veces más que los registrados en años anteriores siempre y cuando se coordine de manera correcta un marco político global que preste especial atención a las políticas sectoriales, financieras, educativas y de formación (**Tabla 1 – Empleo**). Solo mediante este tipo de políticas de apoyo y medidas de ejecución que ayuden a mitigar las barreras existentes en todos los ámbitos con respecto a la energía solar fotovoltaica ya mencionadas con anterioridad se podrán alcanzar dichos objetivos.



* Los datos indican empleos al 2012

** Los datos incluyen puestos de trabajo en solar FV, energía solar por concentración (CSP, por sus siglas en inglés) y solar para calefacción y refrigeración.

Tabla 3: Evoluciones previstas para 2050 por IRENA (IRENA)

Capítulo 4. DEFINICIÓN DEL TRABAJO

4.1 JUSTIFICACIÓN

Una vez presentados y entendidos los temas básicos del proyecto, ya se está situado en el contexto adecuado para comenzar con el análisis técnico, económico y de sensibilidad medioambiental.

En el análisis técnico se explicarán qué componentes forman una planta de placas solares flotantes, su funcionalidad dentro del conjunto global de la planta, alternativas que hay para dicha pieza, etc; una parte muy importante de la estructura del análisis es qué diferencias se tienen con una planta de placas solares convencionales. Un análisis así de completo en el que se comparan ambos tipos de placas no está disponible al público general en ninguna plataforma de internet, libro o estudio; se tienen análisis separados de un tipo y otro e incluso son análisis en los que no se ven los distintos componentes tan en profundidad como en el presente trabajo, simplemente se mencionan.

El análisis económico será un estudio general acerca de los distintos costes y beneficios que pueden afectar a una planta de estas características centrándonos sobre todo en la Unión Europea y la región española dado que es en la que nos encontramos. Hay análisis económicos disponibles para todo el mundo en internet y estudios acerca de plantas de estas características, pero se suelen centrar en una planta o serie de plantas concretas, no se cuenta con un análisis en el que se analicen los distintos factores que pueden afectar a una planta sea cual sea su ubicación, su inversión inicial con la que se cuente, los distintos problemas con los que se pueda topar una vez operativa, etc.

Por último, los análisis de sensibilidad no abundan mucho por la red desgraciadamente dado la falta de interés general en este tema, aunque sí que hay estudios acerca de ello, pero de nuevo son estudios centrados en un tema concreto, o estudios bastante incompletos, aquí se

pretende juntar todos los distintos factores medioambientales para que estén a disponibilidad del lector en un solo sitio.

Lo que más atractivo me parece del presente trabajo es el hecho de tener a mano y en un solo documento tanta información que no es tan de fácil búsqueda y obtención, siendo así una guía perfecta para alguien no familiarizado con el sector y que quiera iniciarse, informarse y nutrirse acerca del tema de la energía fotovoltaica flotante.

Por último, el trabajo cuenta con una pequeña carga de contenido subjetivo y más de investigación en la que se proponen distintas alternativas o iniciativas que se pueden llevar a cabo para mejorar y mirar hacia el futuro en el sector, con mejoras de materiales, procesos de fabricación, obtención de subvenciones, reducciones de costes, etc.

4.2 METODOLOGÍA

El objetivo de un trabajo fin de grado, sea un trabajo de investigación y búsqueda de información o un trabajo de desarrollar un prototipo en el laboratorio es el aportar algo de utilidad a la comunidad, y, aunque no se lleguen a conclusiones sólidas y concretas, demostrar que se ha avanzado en la investigación del tema y por tanto se ha aportado al sector.

El punto de mira de este trabajo está puesto en aportar algo de utilidad para la industria fotovoltaica flotante, pero para hacerlo, primero hay que recorrer el camino de conocer todo o lo máximo posible acerca de las plantas de esta índole ya que, al menos en España, no son un tema de conocimiento general.

Por eso, se ha optado por seguir una estructura en la que se vaya de menos concreto a más concreto en la que, se ha empezado por situar el contexto en el que nos encontramos, hablando de energía solar, energía fotovoltaica y una cronología de la industria solar flotante; para seguir con un análisis técnico debido a que es la parte visual y de la que cualquier persona tiene constancia y puede ir identificando los distintos componentes y piezas de manera fácil y sencilla; se seguirá con los análisis económico y de sensibilidad ya que son las áreas del sector que se ven y entienden de una manera menos sencilla ya que no se convive con los efectos económicos ni medioambientales de estas plantas de una manera consciente; y por último, se realizará el análisis de futuro del sector para conocer los objetivos de éste y ser capaces de sacar unas conclusiones relacionadas con el trabajo y realmente útiles para el futuro de la industria fotovoltaica flotante y del planeta para conseguir dichos objetivos planificados en el futuro.

4.3 PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto se ha tratado de realizar de la manera más regular posible, siguiendo una estructura bisemanal para trabajar en cada capítulo. Así fue hasta los exámenes intersemestrales y la llegada de la Semana Santa en la que se dejó un poco de lado el trabajo para centrarse en los exámenes finales y sacar el curso con el mayor número de aprobados posible pero siempre recabando información y puliendo lo ya trabajado aparte de redactar el resto de los capítulos del proyecto más introductorios o de explicación de objetivos y motivaciones que no requerían de una búsqueda tan exhaustiva de información y contraste de la misma. Una vez terminado el curso, se acabó el proyecto dedicando una semana por capítulo que faltaba ya que se contaba con mucho más tiempo para encontrar y contrastar información para después redactarla, y, por último, se dedicaron un par de semanas a revisiones y pulir errores y capítulos incompletos.

Actividad	Inicio	Final	23/01/2023	30/01/2023	06/02/2023	13/02/2023	20/02/2023	27/02/2023	20/03/2023	27/03/2023	29/05/2023	05/06/2023	12/06/2023	26/06/2023
Capítulo 1: Introducción	23/01/2023	05/02/2023	■	■										
Capítulo 3: Estado de la Cuestión	06/02/2023	19/02/2023			■	■								
Capítulo 5: Análisis Técnico	20/02/2023	05/03/2023					■	■						
Capítulo 6: Análisis Económico	20/03/2023	02/04/2023							■	■				
Capítulo 7: Análisis de Sensibilidad	29/05/2023	04/06/2023									■	■		
Análisis de Futuro	05/06/2023	11/06/2023										■	■	
Conclusiones	12/06/2023	18/06/2023											■	■
Revisiones	26/06/2023	02/07/2023												■

Figura 13: Cronograma del proyecto (Elaboración propia)

Capítulo 5. ANÁLISIS TÉCNICO

En este apartado se realizará un análisis de tecnologías en profundidad cuyo objetivo final es el entender cómo funciona una instalación de placas solares flotantes.

Se estudiarán los distintos componentes uno a uno evaluando su funcionalidad e importancia dentro de la instalación global y se especificará si son componentes concretos de las plantas fotovoltaicas flotantes o si están presentes en cualquier instalación fotovoltaica para realizar de esa forma una exposición mejor estructurada y clara y que se pueda distinguir sin equivocación que es lo que hace a las instalaciones fotovoltaicas flotantes especiales e innovadoras cuando nos centramos en lo que son como tal.

El apartado se complementará con un análisis de diversas plantas de referencia en el mundo dando datos de dichas instalaciones, analizando su historia y su relevancia global tanto en cuanto a lo que implicaron con su construcción y puesta en funcionamiento para el futuro del sector como si hoy en día siguen en uso, siguen teniendo la misma capacidad de generación o por el contrario han aumentado o disminuido su potencia, etc.

Por último, se concluirá con un estudio de la situación en España y la Península Ibérica ya que España y Portugal van bastante de la mano en lo que a este sector se refiere, se estudiarán de nuevo plantas de relevancia, su historia y datos técnicos, y lo que implican hoy en día para el futuro de la Unión Europea y del sector de las energías renovables.

5.1 ANÁLISIS DE TECNOLOGÍAS

Las placas solares flotantes tienen una estructura base y esquema de funcionamiento idéntico al de las placas solares convencionales, por ello, para hacer la explicación más sencilla y fácil para el lector se explicará primero el esquema de funcionamiento de las placas solares convencionales y luego se añadirán los elementos que componen a las placas solares flotantes.

• Placas Solares Fotovoltaicas Convencionales:

Como se ha descrito de manera breve en los apartados anteriores, el funcionamiento de las placas solares se basa en el llamado efecto fotovoltaico descubierto en 1839 por Edmond Becquerel por el cual una superficie metálica absorbe fotones (radiación electromagnética) con una cierta energía y emite electrones generando así una corriente eléctrica. Aunque no es lo mismo que el efecto fotoeléctrico, están íntimamente relacionados por lo que para hacernos una idea de cómo funciona a nivel visual, se puede emplear de ejemplo el efecto fotoeléctrico para que sea más sencillo de entender.

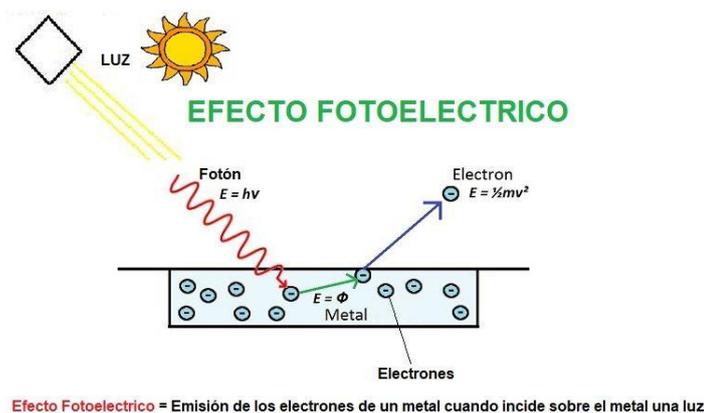


Figura 14: Efecto Fotoeléctrico (Área Tecnología)

En los paneles solares, esta superficie metálica es el silicio que se encuentra en una estructura conocida como la celda fotovoltaica, dispositivo semiconductor que puede estar compuesto de distintos materiales. Como se indica en [IBER__] los materiales pueden ser silicio monocristalino que se obtiene a partir de silicio puro y su eficiencia es de entre un 18% y un

20%, silicio policristalino que se elabora a partir de un conjunto de más cristales siendo su eficiencia de entre el 16% y el 17,5% pero compensándolo con un precio de fabricación más barato, y por último, silicio amorfo que tiene una eficiencia de entre el 8% y el 9% pero con un precio bastante menor debido a que presentan una red cristalina desordenada.

Suele haber dos capas de silicio dentro de la celda, una de ellas con carga neta positiva y la otra con carga negativa para crear el campo eléctrico que permitirá a los electrones fluir por la celda, estas capas se encuentran protegidas por unas estructuras de metal (para conducir los electrones) y vidrio (que permiten que el silicio pueda captar la luz del sol) y una serie de cables para que la corriente generada por la celda fluya al resto de elementos del panel solar.

A modo de curiosidad cabe destacar que previo a la estandarización del silicio en la industria, la primera célula fotoeléctrica fue creada en 1883 por Charles Fritts, científico norteamericano que usó como material semiconductor el Selenio.

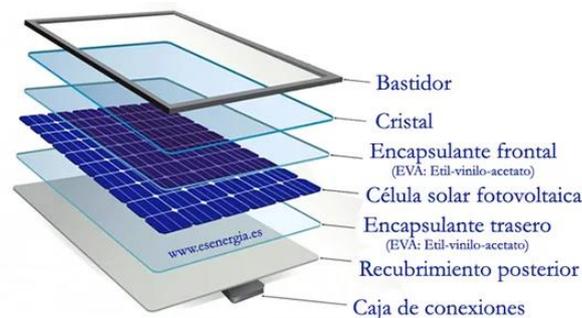


Figura 15: Celda Fotovoltaica (Esenergía)

El resto de los componentes de una placa solar fotovoltaica convencional varían dependiendo de si estamos hablando de una instalación conectada a la red eléctrica o directamente a una vivienda o edificio. Ambas tienen unos elementos comunes que son:

o Panel fotovoltaico:

La parte visual que a todos se nos viene a la mente cuando pensamos en un panel solar, como se ve en la figura, no es más que la agrupación de las distintas celdas fotovoltaicas que cuentan con un revestimiento antirreflectante que ayuda a maximizar la cantidad de luz solar que se capta.



Figura 16: Panel Fotovoltaico (Wikipedia)

o Inversores:

Se encargan de transformar la corriente eléctrica continua (CC) que sale de las celdas fotovoltaicas en corriente alterna (CA) para poder ser transportada por la red eléctrica y abastecer las distintas necesidades de un hogar (la mayoría de los electrodomésticos funcionan con corriente alterna). Esta transformación se realiza con diversos elementos de electrónica de potencia como son transistores o tiristores que son capaces de llevar a cabo una transformación CC-CA.

A modo de aclaración, como se comenta en [ENDE20] la corriente continua es aquella que cuenta con un flujo regular y es unidireccional mientras que la alterna cambia tanto su flujo como su dirección lo que hace que sea la corriente empleada en la red eléctrica ya que cada tipo de electrodoméstico requiere de unos voltajes específicos y con la corriente alterna es mucho más sencillo regularlo para abastecer a cada uno correctamente.



Figura 17: Inversor de un panel fotovoltaico (Ecosolaris)

o Transformadores:

Necesarios para elevar la corriente alterna generada por los inversores y de esta forma reducir las pérdidas eléctricas, según [IBER__] los inversores generan corriente entre unos 380V y 800V y los transformadores la elevan hasta los 36kV.

Si estamos hablando de instalaciones fotovoltaicas no conectadas a la red sino conectadas directamente a una vivienda particular, a parte de los elementos previamente descritos se precisa de baterías que almacenen la energía producida por los paneles pero que no se consume en ese mismo momento para que la instalación sea eficiente y realmente rentable frente a un abastecimiento de energía convencional; por otro lado, se precisa de reguladores que actúan como una protección de la batería.

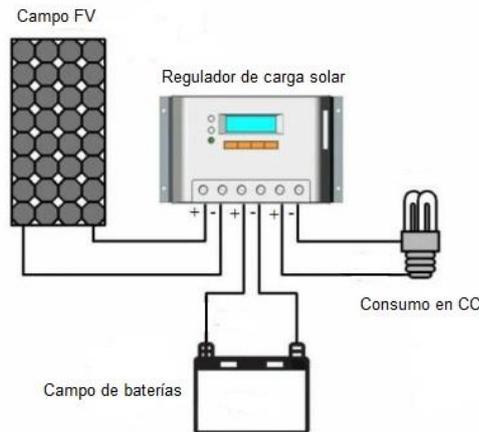


Figura 18: Esquema de conexión de un panel solar con batería y regulador (Monsolar)

Una vez vistos todos los elementos que componen un panel fotovoltaico por separado, el proceso de obtención, transformación y distribución de energía se puede describir en los siguientes pasos. El núcleo de silicio de la celda fotovoltaica absorbe la radiación del Sol produciéndose el efecto fotovoltaico y liberando electrones que generan un flujo de corriente eléctrica continua (CC) que se transporta mediante los cables de ésta al inversor transformando esta corriente continua en alterna (CA), de ahí pasa al transformador para elevar su voltaje a condiciones óptimas para su transporte y fluye o bien por la red eléctrica o por una vivienda particular almacenando en este caso el exceso en unas baterías solares o bien si no se cuenta con ellas se puede transportar a la red a cambio de una compensación económica para el propietario de dicha vivienda.

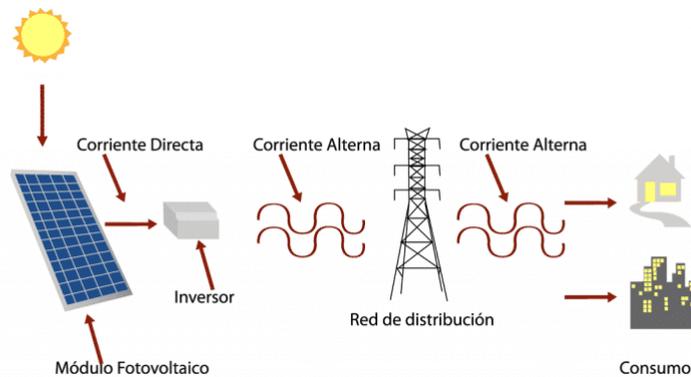


Figura 19: Diagrama de funcionamiento de las placas fotovoltaicas (EfectoLED)

• **Placas Solares Fotovoltaicas Flotantes:**

Las plantas de placas solares flotantes constan de los mismos elementos básicos que las convencionales y por tanto su proceso de obtención y distribución de energía es el mismo. Cuentan con su panel fotovoltaico que es una agrupación de celdas fotovoltaicas aunque en este caso es bifacial que quiere decir que tienen celdas en ambas caras del panel para captar la luz solar debido a que en este tipo de sistemas aún no está del todo implementado el seguimiento del movimiento del Sol por parte de los paneles y así también se cuenta con protección frente a la corrosión y la humedad por ambas caras de la estructura; tienen también su inversor para transformar la corriente continua (CC) producida por el panel en alterna (CA) y su transformador para que esta corriente pueda ser transportada a donde se requiere.

De nuevo, nos encontramos con la existencia de grandes plantas de placas solares flotantes y pequeñas instalaciones para abastecer sobre todo al sector agrícola debido a los beneficios que este tipo de instalaciones traen al agua y las distintas necesidades que requieren de agua como por ejemplo sistemas de riego discutidos ya en el capítulo del estado del arte de este trabajo.

Debido a que están situadas sobre la superficie acuática, esto conlleva complejidades y cambios en el diseño y disposición de los distintos elementos para que todo funcione de manera correcta.

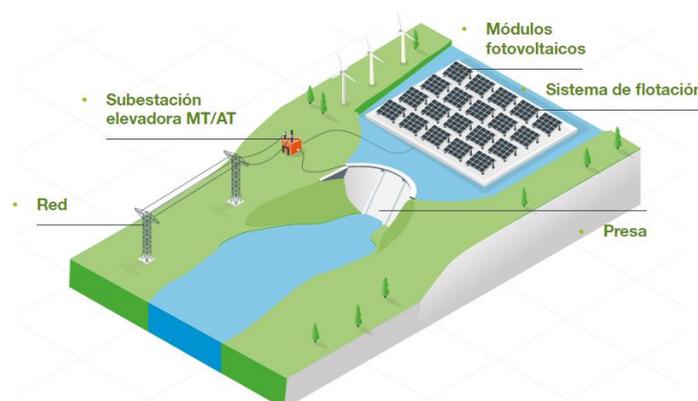


Figura 20: Planta fotovoltaica flotante (Iberdrola)

Como se puede apreciar en la figura los elementos son los siguientes:

o Sistema de flotación:

Es la estructura flotante como su propio nombre indica que sostiene los paneles solares sobre el agua, existen cuatro modelos:

- Puros: Los paneles se encuentran sobre el propio sistema de flotación.
- Metálicos: El sistema de flotación soporta una estructura metálica (normalmente acero) sobre la que se apoyan los paneles. Tienen la ventaja de ofrecer una mayor refrigeración frente a costes de estructura más caros.
- De membrana: Los paneles se apoyan directamente en la membrana del sistema de flotación en contacto con el agua.
- Otros sistemas: Se emplean materiales alternativos como hierro u hormigón, actualmente también se está investigando en tipos de sistemas de flotación mixtos con los vistos anteriormente para beneficiarse mutuamente de las ventajas de los materiales más usados con el menor precio de construcción que requieren los materiales alternativos debido a su escaso uso, pero todos estos tienen un nivel de implantación actualmente mucho menor.

o Sistema de amarre:

Sirve para fijar la estructura al suelo del lago o pantano sobre el que este la planta, ayuda a tener la estructura siempre en posición pese a los cambios en el nivel del agua y las propias fluctuaciones naturales del embalse. No es un sistema fácil de implantar ya que requiere de estudios previos de la topología del suelo que se tiene y hay que dejar que la planta tenga unos ciertos movimientos debido a las variaciones previamente dichas de cualquier lago o embalse. Se trabaja con tres tipos de amarres:



Figura 21: Tipos de amarres (Iberdrola)

- Sistema fotovoltaico:

Exactamente el mismo que en los paneles convencionales de tierra.

- Sistema de cableado:

Mediante cables por debajo del agua se lleva la corriente generada en el panel hasta los inversores y transformadores conocidos como la subestación eléctrica en la figura 18 que se ubican ya en tierra.

5.2 PLANTAS EN EL MUNDO

En la actualidad el mercado solar flotante se encuentra en pleno auge con países que tienen esta tecnología implantada desde hace muchos años y ya es una forma más de extraer energía limpia mientras que en otras regiones es una tecnología de reciente implantación y que todavía se está abriendo un hueco en los distintos mercados nacionales e internacionales.

El gigante por excelencia desde sus inicios es Japón, en el país nipón se concentra el 15% de la producción global con una potencia de 7,5 GW (gigavatios) como se indica en [BBVA__]. En Japón se encuentran 45 de las 70 plantas más grandes de placas solares flotantes del mundo y todo esto gracias a la gran cantidad de ayudas públicas que reciben y su falta de terreno para instalar placas solares convencionales lo que los ha llevado a invertir exponencialmente en la tecnología flotante.

En el país nipón destaca la central de Umenoki ubicada cerca de Higashimatsuyama, provincia de Saitama, Kanto, Japón; como se referencia en [RUIZ23] hasta hace un par de años era considerada la planta más grande de Japón con una potencia de 7.750,4 kWp (kilovatios pico). Ubicada en una balsa de riego la instalación cuenta con 27.456 paneles con módulos de 275 Wp (vatios pico) y abarca algo más de la mitad de dicho embalse (7,43 hectáreas sobre un embalse de 12,93 hectáreas) la profundidad soportada por los anclajes es de 6,9 metros y lleva operativa desde el año 2015.



Figura 22: Planta fotovoltaica flotante de Umenoki (El periódico de la energía)

Otro gigante asiático que ha tomado fuerza en los últimos años y no tiene intención de detenerse es China, como se dice en [BBVA__] entre este país y Taiwán se concentra el 70% de la producción global con una potencia de 30.1 GW (gigavatios) generados solo en China. En este país el año pasado Huaneng Power International (HPI) finalizó la que es la planta fotovoltaica flotante más grande del mundo en Dezhou, provincia de Shandong, China. Como comenta [TEST22] la planta cuenta con un poder de 320 megavatios repartidos en dos fases de 200 megavatios y 120 megavatios y puede alcanzar una potencia de 2,65 GW (gigavatios). La empresa no ha revelado más datos técnicos a excepción de que se espera que genere unos 550 millones de kWh (kilovatios hora) de electricidad al año.



Figura 23: Granja fotovoltaica flotante Dezhou Dingzhuang (Innovando news)

Para ponernos en contexto, más de la mitad de las plantas existentes en el mundo tienen una capacidad menor a 1MWp (megavatio pico), otro gran porcentaje se encuentra entre 1MWp (megavatio pico) y 2MWp (megavatios pico) y solo unas pocas sobrepasan la cifra de 2MWp (megavatios pico).

Si saltamos de continente a la otra punta del mundo, en Europa y siendo más concretos en Portugal, en el embalse de Alqueva, se encuentra la planta fotovoltaica flotante más grande de Europa con una capacidad de 5MW (megavatios). Como se comenta en [RUIZ23_2] Su construcción costó 6 millones de euros, sus 12.000 paneles fotovoltaicos son capaces de generar 7,5 GWh (gigavatios/hora) al año con una sola conexión a la red y pese a su gran tamaño equivalente a cuatro campos de fútbol solo ocupa un 3% del embalse en el que se encuentra. Además, es pionero en cuanto a su sistema de flotación empleando materiales alternativos como corcho y plástico reciclado que ayudan a reducir la huella de carbono de la instalación en un 16%. En cuanto a su uso abastece a 1.500 familias de energía en la zona.



Figura 24: Instalación fotovoltaica flotante del embalse de Alqueva (pv magazine España)

Por último, otro proyecto en Europa que merece la pena comentar es la granja Sheeplands en Berkshire, Reino Unido, país que también va a la vanguardia respecto a la tecnología solar flotante. En funcionamiento desde 2014, fue la primera instalación de los británicos y como se comenta en [RUIZ23_2] la instalación se encuentra en un estanque de riego y cuenta con una potencia de 200 kWp (kilovatios pico) estando compuesta por 800 paneles y ocupando 1,49 hectáreas (15% de la superficie del estanque). Por último, sus anclajes a las orillas soportan una profundidad máxima de 6,1 metros. En cuanto a su uso genera la energía suficiente para regar la granja.



Figura 25: Instalación fotovoltaica flotante de la granja Sheeplands [RUIZ23_2]

5.3 PLANTAS EN ESPAÑA

La situación en España y la península Ibérica en general empieza a despegar en los años recientes yendo con bastante atraso respecto a Asia u otros países europeos. Como se dice en [BRAN22] el año pasado Endesa ganó la primera subasta solar flotante para embalses de la península Ibérica con idea de empezar a construir plantas flotantes primero en Portugal.

De acuerdo con Miguel González, responsable de desarrollo de renovables de Endesa en Portugal y noroeste de España la mayoría de las plantas que hay actualmente instaladas en España son para autoconsumo, pero la situación comienza a cambiar. En nuestro país hay unos 100 embalses de titularidad estatal a los que se les otorgarán concesiones para su explotación cumpliendo una serie de normativas reguladas por supuesto con el objetivo de la consecución de los objetivos de la agenda 2030 alcanzando un 42% de penetración de energías renovables en el consumo y un sistema eléctrico con un 74% de generación renovable. [BRAN22]

Dentro de nuestro país cabe destacar el caso de Extremadura que es todo un referente nacional por el número de instalaciones que posee y porque aquí se encuentra también la instalación flotante más grande de España conectada a la red.

Se encuentra en el embalse de Sierra Brava, en Zorita, Cáceres que es un embalse artificial de 1.650 hectáreas; la planta instalada, por otro lado, cuenta con 12.000 m^2 (metros cuadrados) de superficie siendo un 0,07% de la del embalse.

La planta está concebida como un I+D+i (investigación, desarrollo e innovación) para estudiar distintas tecnologías de paneles solares, configuraciones, orientaciones, estructuras de flotación, etc. Cuenta con cinco sistemas flotantes anclados tanto al fondo del embalse como a la orilla conteniendo 600 módulos fotovoltaicos que otorgan una potencia de 1,125 MWp (megavatios pico) que pueden abastecer de sobra a la región. Cada uno de los sistemas está conectado a tres inversores de 60 kW (kilovatios) y estos a su vez están conectados a un centro de transformación para llevar la corriente a la tensión idónea para su transporte por la red a la que llega mediante un cable de 1,4 km (kilómetros) soterrado.

Para complementar las instalaciones se cuenta con centros para coordinar servicios de mantenimiento y operación conectados por fibra óptica a la instalación, una estación meteorológica para realizar mediciones de interés y un aprovechamiento de los conocimientos técnicos proporcionados por otras plantas de placas solares flotantes.



Figura 26: Planta fotovoltaica flotante de Sierra Brava (Acciona)

Capítulo 6. ANÁLISIS ECONÓMICO

En este capítulo del proyecto se van a analizar y explicar todos los parámetros de interés que afectan a una planta de placas solares flotantes a lo largo de todo su ciclo de vida, desde su concepción hasta el final de sus días de vida útil pasando por su construcción, puesta en marcha y mantenimientos periódicos.

Se pretende dar una visión más profunda al plano económico de las plantas solares flotantes el cual forman costes, financiaciones, explotaciones e ingresos, viendo de uno en uno y en profundidad qué parámetros y situaciones forman cada uno, cómo pueden variar aumentando o disminuyendo, si son un aspecto económico significativo en la vista global de la instalación y aportar cifras aproximadas cuando se pueda aunque es un aspecto un tanto difícil de parametrizar en un estudio enfocado como se hace en este trabajo ya que los aspectos, cantidades y factores que pueden afectar económicamente a una planta flotante varían enormemente dependiendo de aspectos ajenos a un estudio generalista como la extensión de la planta, potencia generada, época del año, imprevistos que puedan surgir, incluso la zona en la que se desee construir dicha planta, etc.

6.1 ANÁLISIS DE COSTES

Una instalación de placas fotovoltaicas flotantes tiene los mismos costes que una instalación fotovoltaica tradicional, pero teniendo en cuenta el factor flotante lo que incrementa considerablemente el precio de ésta. En general, los costes que más preocupan a los inversores y desarrolladores son:

- Costes de instalación:

Se ven incrementados hasta en un 20% más que el de una planta terrestre, que, dependerá de las dimensiones y tecnología que emplee, pero, hoy en día se estima que “se paga entre 1500 y 1600 euros anuales por hectárea para realizar una instalación de placas solares” [GUTI23] mientras que “el panel solar se paga a 220 euros” cada uno [SOTY23], más toda la mano de obra y demás componentes de la instalación.

Este incremento en el precio es debido a la complejidad tanto del diseño como del montaje ya que se requieren equipos y materiales de construcción que puedan trabajar en ambientes húmedos y la necesidad de materiales específicos que cumplan las características requeridas como flotar o que puedan trabajar sumergidos hasta ciertas profundidades sin perder rendimiento, a parte por supuesto, de los elementos adicionales que forman una planta de placas solares flotantes como la plataforma de flotación o el sistema de anclaje.

- Costes de mantenimiento:

Es un 10% más caro que el de una terrestre debido de nuevo a los pequeños extras que requiere el factor flotante. En instalaciones convencionales de dimensiones moderadas para uso doméstico puede ir desde los 100 € a los 5000 € aunque el precio medio es de 928€ por revisión, siempre dependiendo de los años de la instalación que requiere más o menos procedimientos, el número de revisiones anuales que se hagan (se recomiendan entre tres o cuatro), el estado de los paneles, condiciones meteorológicas a las que estén expuestos normalmente, etc. El mantenimiento periódico de una instalación de dimensiones mayores incluye la limpieza de los paneles, la reparación de daños debidos a diversas causas como

las condiciones climatológicas, la comprobación de cumplimientos de normativa y otros servicios que exige el factor flotante como la comprobación del buen estado de los sistemas de anclaje o incluso el uso de buzos para comprobar todo el cableado de la instalación.

- Costes de financiación:

Según IRENA el coste de financiación en los proyectos de energías renovables es un 5% del proyecto global. Como cualquier proyecto, requiere de una inversión inicial para desarrollarlo pudiendo variar la cantidad según el riesgo que conlleve o las condiciones actuales del mercado en ese momento. En España se pueden tener distintos tipos de inversión inicial que se verán a continuación pero grosso modo, las propias empresas que ya hemos visto a lo largo del trabajo como Endesa participan en subastas para adquirir embalses y tierras para realizar las instalaciones, estas empresas son las encargadas de financiar sus propios proyectos con dinero de sus propias arcas, acordando créditos con entidades bancarias o incluso colaborando con otras empresas energéticas o relacionadas con el sector en una relación mutuamente beneficiosa. Por otro lado, se tiene la vía pública, en España se puede acceder tanto a subvenciones nacionales como europeas para financiar este tipo de proyectos siempre que se cumplan unos requisitos.

- Costes de conexión a red:

Los costes de conexión a la red pueden ser de hasta 10 €/kW (kilovatio) instalado. Una vez que la planta está construida se requiere su conexión a la red eléctrica para poder vender y transportar a distintos puntos la energía producida por la instalación; estos costes como siempre, variarán en función de la ubicación de la planta y la capacidad que tenga la red eléctrica en dicha zona, aunque normalmente se estudia que el sitio tenga unas condiciones aptas para no incrementar de manera ridícula este coste.

La conclusión que se saca es que los costes totales de la planta pueden variar mucho debido a diversos factores muy distintos los unos de los otros como la localización, la inversión de la que se disponga, las condiciones de la red eléctrica en la localización elegida, etc. Aun así, a pesar de ser tan difícil acotar un precio estándar para este tipo de plantas, se puede estimar que sus costes totales oscilan entre los 15.000 €/kW (kilovatio) instalado y los 20.000 €/kW (kilovatio) instalado.

6.2 POSIBLES FINANCIACIONES

Una de las partes más importantes de este tipo de plantas para asegurar su correcta implementación y propósito es su financiación que, actualmente al ser un tema de tanta importancia y relevancia puede provenir de distintas fuentes y obtenerse siguiendo distintos trámites. El estudio se centrará sobre todo en la Unión Europea al ser la región donde se ubica todo el ecosistema energético español.

- Subvenciones e incentivos gubernamentales:

Tanto a través del propio gobierno nacional como del órgano rector de la Unión Europea se apoyan este tipo de proyectos mediante diversos métodos de asistencia financiera como pueden ser tarifas reguladas o créditos de distintos intereses. Es muy complejo acotar los distintos servicios ofrecidos ya que cada país ofrece los suyos propios pudiendo variar según las dimensiones del proyecto y su objetivo, además de no permanecer constantes con el paso del tiempo. Siempre se tiene a disposición la página oficial de la Comisión Europea y de la Asociación Europea de Industria Fotovoltaica (EPIA) para consultar las financiaciones oficiales a las que se puede optar según las características y fines del proyecto a construir.

- Programas de Financiación de la UE:

La Unión Europea pone al servicio del ciudadano distintos programas de financiación para todo tipo de proyectos dependiendo de sus objetivos y valores con los que se identifica. Por supuesto, existen los programas que ayudan a proyectos de energías renovables como son las plantas de placas fotovoltaicas flotantes. Como se puede ver en [EURO__] algunas de las iniciativas que interesan a este tipo de proyectos pueden ser el “Horizon Europe”, el “European Regional Development Fund (ERDF) y el European Investment Bank (EIB).

- Financiación Privada:

Una opción importante de la que se puede extraer mucho más beneficio que por las vías públicas. Actualmente el sector privado está altamente interesado en el tema de las energías renovables por diversos motivos propios de cada empresa. Se cuenta con inversores particulares, bancos y fondos de energías renovables que pueden otorgar diversos servicios en una industria conocida como ‘project finance’ que “sólo en 2015 movió más de 422.000 millones de dólares siendo el 37% de ese dinero para proyectos en Europa, África y Oriente medio” [BBVA23] como la financiación del proyecto, la financiación de deudas o la financiación por participación. La viabilidad de los proyectos dependerá de factores como el margen de beneficio, la vida útil del proyecto o los propios acuerdos de compra y venta de energía. De nuevo, las instituciones financieras y las compañías interesadas siempre ponen a disposición pública toda la información que resulte relevante para llevar a cabo el proyecto de manera limpia y transparente imponiendo sus propias condiciones dependiendo sobre todo de la rentabilidad esperada de la planta y los años que se estiman para que el proyecto comience a ser rentable.

- Bonos verdes y fondos climáticos:

Su aparición es reciente comparada con las otras formas de financiación vistas anteriormente y viene derivado de este crecimiento del que se ha estado hablando en el interés por invertir en energías renovables. Es una forma alternativa de financiación que “en 2021 cerró con un volumen récord de emisión de 904.000 millones de euros en todo el mundo) [BBVA__2].

Son instrumentos financieros que dan camino a los inversores para poder financiar exclusivamente proyectos respetuosos con el medio ambiente nuevos o existentes siempre y cuando sean proyectos verdes elegibles y estén alineados con los “Green Bond Principles” (GBP) que promueven la integridad de esta forma de financiación con transparencia, publicidad y reporte de informes. Algunos de los criterios que tiene que cumplir un proyecto para ser elegido para ser financiado mediante bonos verdes son:

- ✓ Que sea un proyecto de energías renovables o eficiencia energética
- ✓ Centrado en la reducción de la contaminación, ya sea mediante el tratamiento de aguas, reducción de gases de efecto invernadero, reducción de residuos mediante reciclaje o transformación en energía, etc.
- ✓ Gestión de los recursos naturales como la agricultura y ganadería sostenibles mediante la protección biológica; la reforestación o la conservación de paisajes naturales.
- ✓ Conservación de biodiversidad terrestre y acuática
- ✓ Transporte limpio
- ✓ Edificios ecológicos
- ✓ Productos adaptados a la economía circular o ecológica desarrollando procesos de producción y desarrollo alternativos o productos respetuosos con el medio ambiente.

Algunas de las instituciones que otorgan su financiación a este tipo de proyectos mediante bonos verdes son la “Climate Bonds Initiative” o la “Green Climate Fund”.

6.3 POSIBLES COSTES DE EXPLOTACIÓN

Saber cuáles son los costes de una planta de estas características es crucial para evaluar la viabilidad económica a largo plazo de un proyecto así y es un estudio que se debe realizar de manera cuidadosa y precisa previo a solicitar cualquier tipo de financiación para el proyecto.

- Costes de construcción e instalación:

Ya se ha visto un poco en el análisis técnico que uno de los pilares de este tipo de plantas tanto por importancia como por desembolso económico es la construcción e instalación. En esta fase se están incluyendo los costes de preparación del entorno para poner los transformadores y las conexiones a la red eléctrica en tierra firme, los costes del sistema de anclaje, de las estructuras flotantes y de las celdas solares.

Estos costes se pueden disparar dependiendo de la escala del proyecto, su ubicación y la preparación que requiera el terreno, los costes de los trabajadores dependiendo del país y la empresa con la que se esté construyendo y la infraestructura que se tiene ya previamente disponible.

- Costes de operación y mantenimiento:

Engloban el mantenimiento regular de la estación, las inspecciones obligatorias a las que está sometida que de nuevo pueden ser más frecuentes o menos frecuentes según la región en la que estemos o los años que lleve operativa la planta, limpieza, reparaciones y recambios de componentes por desgaste temporal.

Los factores que pueden hacer que este precio se dispare son de nuevo el tamaño, la tecnología empleada que puede ser más vanguardista y fiable (cara) o tradicional y menos fiable (barata), las condiciones ambientales o la accesibilidad.

Aunque los números varían de una planta a otra, los costes de mantenimiento de una planta fotovoltaica flotante se asemejan mucho a los de una planta fotovoltaica terrestre. Explicados previamente en la sección de costes con más precisión.

- Durabilidad del sistema de flotación:

Factor crucial en el aspecto de los costes de explotación ya que sin un sistema de flotación no se tiene una planta de placas solares flotantes. Es, además, una estructura muy sensible y que requiere de permanecer en condiciones óptimas en todo momento ya que sin un sistema de flotación correctamente posicionado las placas solares se pueden mojar y estropear e incluso hundirse, o se puede tener el problema de que no refrigeren correctamente las placas solares perdiendo así eficacia y todo principio por el que se construyen plantas de este tipo.

Se puede ver afectado por diversos factores como la calidad de los materiales empleados, la frecuencia de las revisiones y mantenimientos de la planta, la resistencia a las condiciones climáticas como lluvias, exposición prolongada a los rayos ultravioleta del Sol, resistencia a tormentas u otro tipo de desastres naturales.

Por ello son tan importantes las revisiones periódicas de la planta y por ello los costes de mantenimiento son más caros en los sistemas fotovoltaicos flotantes que en los convencionales.

- Estrategias para reducir costes e innovaciones tecnológicas:

Con las placas fotovoltaicas flotantes en pleno auge y la rápida evolución de las tecnologías renovables en la que se encuentra el mundo actualmente, los avances tecnológicos y las economías de escala contribuyen a la reducción de costes de manera significativa, por ello, es muy importante la inversión en investigación y desarrollo y la cooperación internacional para lograr por ejemplo, avances en el diseño de los paneles fotovoltaicos flotantes, selección de materiales, instalaciones mejoradas técnicamente que pueden llevar a ganancias en eficiencia y reducción de costes, de todo ello, se hablará en el apartado de conclusiones y futuro con más detenimiento. Además, la competitividad del mercado y las políticas de apoyo, cada vez más frecuentes, pueden influir en la reducción de costes.

6.4 POSIBLES INGRESOS

El conocer los posibles ingresos de este tipo de plantas es crucial para entender su viabilidad financiera y de esa forma convencer a los posibles inversores con un proyecto de energía renovable atractivo. Los posibles ingresos pueden venir de diferentes vías:

- Generación de electricidad y tarifas reguladas:

La fuente primaria de ingresos de una planta de estas características es obviamente la generación y venta de electricidad. La cantidad producida para vender como ya se vio en el análisis técnico puede variar dependiendo de parámetros como los niveles de irradiación solar, la capacidad de generación de la propia planta y los precios de la electricidad local.

Las tarifas reguladas y los acuerdos de compra de la energía son mecanismos comunes para determinar las tarifas a las que los productores de energía pueden vender ésta a la red y particulares, los precios varían a diario a través de la subasta energética y dependen de cada país.

- El mercado eléctrico:

Los hay de dos tipos, regulados y libres, los que interesan a los productores de este tipo de energía son los mercados libres ya que es aquí donde este tipo de plantas pueden generar ingresos con la venta de la electricidad directamente a consumidores y distribuidoras a los distintos precios del mercado.

El mercado libre no es estable, varía a diario sus precios que pueden fluctuar por factores como la ley de la oferta y de la demanda, la estación del año o incluso la hora del día, mientras que el mercado regulado supone un riesgo desde el punto de vista de los comercializadores de energía ya que fija los precios para los consumidores ofreciéndoles una tarifa más estable y segura, ajena a las fluctuaciones que pueda sufrir dicho mercado, hace un año, cuando estalló la guerra entre Rusia y Ucrania, los clientes del mercado regulado se vieron inmensamente beneficiados de sus tarifas y contratos ya que no se vieron afectados por la enorme subida de precios energéticos a nivel global.

- Certificados de energía renovable y planes de incentivos:

En algunos países o jurisdicciones se pueden obtener ingresos vendiendo estos certificados de energías renovables que representan los atributos ambientales asociados con la generación de electricidad renovable y se venden por separado de la energía producida. Dichos certificados demuestran que el consumo de energía de una empresa es producido íntegramente mediante fuentes renovables lo que trae beneficios de limpieza de imagen al posicionarse como una empresa comprometida con el cambio climático y el desarrollo sostenible.

Por otro lado, se pueden vender participaciones en planes de incentivos para empresas como subsidios de energía verde o mecanismos para el precio del carbón que dan incentivos financieros por la producción de energía renovable.

Estos certificados y planes de incentivos son estrategias muy inteligentes para plantas y empresas ya que se trata de relaciones mutuamente beneficiosas en las que todos ganan. Los precios, acuerdos a los que se llega y ventajas tanto sociales como fiscales y económicas que se obtienen varían no sólo a nivel de países sino incluso a nivel regional.

- Fuentes adicionales de ingreso:

En la actualidad hay distintas formas innovadoras de conseguir beneficio para plantas de estas características como por ejemplo la agricultura de cultivos flotantes, una forma de agricultura que se aprovecha de las zonas inundadas cerca de embalses y en orillas de los mares y ríos para producir alimentos de una forma más sostenible y respetuosa con el medio ambiente empleando vegetación en descomposición como abono natural y las áreas de tierra en estas zonas para plantar. En algunas zonas de Asia como Bangladesh es una técnica que se lleva empleando desde hace muchos años de manera tradicional.

Actualmente, se está trabajando en los primeros invernaderos flotantes destacando el proyecto “Green Ocean” de la start-up japonesa “N-Ark” que busca cultivar en agua salada empleando los niveles más superficiales del agua de mar para cultivar aprovechando los nutrientes naturales que aporta el agua salada junto con el agua de lluvia recogida por su tejado con un diseño innovador para regular el ph y demás procesos para hacerla apta para el riego; los niveles más profundos, se emplearán para investigar en maneras de mejorar la calidad de la tierra y piscifactorías sostenibles. El invernadero se complementa con paneles solares para abastecerse única y exclusivamente de energías renovables.

El proyecto se inició en 2019 y todavía se está trabajando en la construcción de los primeros prototipos.

Estos invernaderos en un futuro y la agricultura tradicional en la actualidad junto con las plantas fotovoltaicas flotantes pueden crear sinergias y diversificar las fuentes de ingreso obtenido.



Figura 27: Prototipo de invernadero del proyecto “Green Ocean” (N-Ark)

Capítulo 7. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

El capítulo se centrará en el análisis de sensibilidad en cuanto a impacto medioambiental de la planta.

Se dividirán los distintos impactos dependiendo de a qué aspecto del medioambiente, población, flora o fauna afectan de cara a tener un capítulo más organizado y estructurado y que así, sea de más fácil lectura y comprensión.

Se estudiarán en profundidad las consecuencias de dichos impactos en el entorno, dejando claro cuál sería la situación si las plantas no estuvieran presentes y las posibles alternativas actuales para tener un análisis más claro y conclusivo de los pros y contras de las plantas fotovoltaicas flotantes.

Finalmente, dejar claro que se estudiarán los distintos impactos positivos y negativos de una manera estrictamente objetiva e informativa de cara a que el lector tenga una información limpia y honesta para interpretarla como a él le sea conveniente ya que no es el objetivo de este capítulo el dar una información subjetiva y de crítica hacia los distintos aspectos negativos de las plantas fotovoltaicas flotantes.

7.1 IMPACTOS EN EL ENTORNO Y EFECTOS EN EL MEDIOAMBIENTE

- Ubicación:

La primera cuestión que plantear a la hora de poner sobre la mesa la iniciativa de construir una planta fotovoltaica flotante.

Dónde colocar este tipo de plantas es un asunto más enrevesado de lo que podría esperarse, hay que recordar que tanto si se trata de una instalación terrestre como de una instalación flotante se requiere una gran superficie disponible y tener en cuenta que una instalación solar requiere como mínimo 20 veces más superficie que una de combustibles fósiles para producir 1 gigawatio de electricidad, como se dice en [CIVI22], “si se sigue con los objetivos comunes de descarbonización de electricidad, para 2050, E.E.U.U podría necesitar 61.000 Km cuadrados de paneles solares, un área más grande que todos los Países Bajos”.

En el capítulo anterior ya se ha hablado del precio de las parcelas destinadas a este tipo de fines normalmente obtenidas por expropiación a agricultores o herederos en áreas rurales o de escasa población; en el caso de la industria fotovoltaica flotante, al menos en España, no se tiene ese problema ya que los embalses ya son de por sí de propiedad nacional y se obtiene su concesión para construir en ellos este tipo de plantas mediante grandes subastas que incluyen varios embalses en distintas zonas.

No sólo se pueden ubicar en embalses, también, aunque se estila menos, a orillas de los mares en zonas aún de poca profundidad y que normalmente no molestan las actividades de bañistas o la industria pesquera; estas dos posibles ubicaciones traen consigo efectos positivos y negativos para flora y fauna que se explicarán en detalle más adelante.

Es cierto que, si se cuenta con un buen número de embalses como es el caso de la península ibérica se decanta más por construir en embalses que en el mar ya que a la hora de ubicar una planta fotovoltaica en un embalse da ventajas medioambientales tales como el uso de menos espacio al contar muchos embalses con infraestructura para conectar la instalación a la red reduciendo además los costes y mejorando la eficiencia en la producción energética

ya que “si se combina con energía hidroeléctrica de almacenamiento por bombeo, se puede abordar el desafío de dar energía cuando la luz solar es débil, y almacenarla cuando la producción es alta” [CIVI22].

Es en países como Holanda y China por ejemplo en los que se construyen plantas en mar abierto o a orillas de estos ya que no se cuenta con un número de grandes embalses suficiente para dedicarlos al uso fotovoltaico ya que cómo veremos más adelante no cualquier embalse es apto para la construcción de una planta fotovoltaica flotante. La construcción de una planta de estas características en mar abierto trae consigo mayor gasto en construcción y estudios previos ya que hay que adaptar la plataforma de flotación a un movimiento más violento e irregular, llevar kilómetros de cable a la costa y llevar ese cable o crear (si se ubica muy lejos la más próxima), una estación de conexión a la red para poder utilizar la electricidad generada. Por otro lado, los gastos en mantenimiento se disparan en el ambiente salado ya que el agua salada es mucho más corrosiva y dañina que el agua dulce.



Figura 28: Planta fotovoltaica flotante en mar abierto (El Periódico de la energía)

• Impacto Ambiental Directo:

El impacto ambiental directo es prácticamente nulo ya que no hay ningún impacto negativo al entorno cuando se produce electricidad con paneles fotovoltaicos ya sean convencionales o flotantes por lo que ni contamina ni contribuye al calentamiento global ya que no se lleva a cabo ningún tipo de combustión por lo que no se genera CO₂, uno de los principales causantes del efecto invernadero; ni se desechan vertidos manteniendo aguas y subsuelos en un estado impoluto libre de contaminación.

En conclusión, una planta de placas fotovoltaicas ya sea convencional o flotante, una vez operativa, genera energía de una manera totalmente limpia y respetuosa con el medio ambiente.

• Impacto Ambiental Indirecto:

Cuando uno se refiere a todo lo que engloba la tecnología fotovoltaica como fabricación de los paneles o diseño de plantas, los efectos sí pueden ser un poco más sorprendentes de lo que uno podría esperar.

En la fabricación, aunque el material principal que se usa es el silicio que se encuentra en grandes cantidades en la naturaleza y se puede obtener sin llevar a cabo grandes actividades mineras que alteren el terreno, la fauna y la flora, también se trabaja con materiales tóxicos como son el cadmio o la plata.

Por otro lado, la proyección de una planta, hay que recordar que requiere de extensiones vastas de terreno y una vez edificada puede modificar y estropear el paisaje de los entornos naturales lo que provoca caídas de precio de los terrenos próximos trayendo conflictos con los terratenientes locales y los distintos negocios como las actividades recreativas de los embalses. Sin embargo, toda esta contaminación indirecta sigue compensando si se compara con la que genera el uso de combustibles fósiles, según expertos del Consejo Europeo de Innovación “En 2006 se necesitaba una década para compensar las emisiones que se generaban y con la energía solar fotovoltaica el plazo se ha reducido a dos” [SOLA__].

Además, ahora mismo todo el foco de la investigación y desarrollo del sector está puesto en avanzar a pasos agigantados hacia la reutilización de los materiales tóxicos de los paneles solares que han agotado su vida útil reduciendo los residuos derivados de este tipo de obtención de energía. Una vez se supere este escollo y los problemas de la contaminación en la fabricación de éstos, la estandarización de los paneles solares como método de obtención de energía más usado en las zonas de consumo generará beneficios rápidos en aspectos como calidad del aire, naturaleza, flora y fauna.

- Flora y Fauna:

En este aspecto todavía hay bastante desconocimiento general, las plantas fotovoltaicas flotantes traen consigo muchas ventajas, pero también algunos problemas que no se pueden ignorar para la flora y la fauna y se depende del tipo de embalse o zona costera donde se instale la planta.

Las instalaciones en alta mar traen impactos negativos como complicar la pesca local a pesar de que se tratan de instalar en zonas que lo alteren lo menos posible, crear contaminación acústica para la vida marina de la zona o incluso interferir en las grandes migraciones de la fauna marina.

Por otro lado, en embalses son otro tipo de problemas los que preocupan, este tipo de instalaciones cuando cubren más de la mitad de un embalse reducen considerablemente el calentamiento de las aguas ayudando a reducir la eutrofización de los embalses (**véase figura 10**) que es el crecimiento desproporcionado de algas que genera todo tipo de bacterias en el agua reduciendo los niveles de oxígeno presentes y acabando con la flora y la fauna local, aparte de empeorar considerablemente su calidad y dificultar las labores de purificación de este tipo de aguas. Como añadido, si se da sombra a un embalse, gracias a los paneles solares de las plantas, se dificulta el florecimiento de plantas o fitoplancton entre otros que beneficia a este tipo de aguas contaminadas, aunque bien es cierto que esto también reduce considerablemente la producción del oxígeno pudiendo dañar a la fauna del embalse.

Por todo esto, los embalses con usos recreativos de pesca quedan directamente descartados a la hora de plantear la construcción de una planta de estas características ya que la estructura de la planta en sí afectaría a la práctica misma y tanto la calidad como la cantidad del pescado se vería reducida.

Finalmente, fuera de lagos y embalses, se cree que con la estandarización de la energía fotovoltaica como la forma de obtención de energía más utilizada desaparecerían una gran cantidad de tendidos eléctricos y plantas de obtención de energía contaminantes como por ejemplo las de combustibles fósiles mejorando la flora y fauna terrestre general del planeta, pero sobre todo en las zonas afectadas.

- Implicación Contra el Cambio Climático:

La principal ventaja de la energía solar flotante es que reduce la intensidad de carbono de las centrales hidroeléctricas que, aunque ya de por sí muchas de estas centrales emiten muy poco algunas pueden liberar metano de la materia vegetal en descomposición sumergida en los alrededores de la central pudiendo emitir tanto carbono como una planta de combustibles fósiles.

Como se dice en [CIVI22], “la colocación de paneles solares en sólo un 2% de la superficie del embalse duplica la producción de electricidad reduciendo a la mitad la intensidad del carbono”, aunque, hay que tener en cuenta relacionado con el apartado anterior, que si se cubre una gran superficie de un embalse se reduce la cantidad de oxígeno producida favoreciendo el crecimiento de bacterias productoras de metano que puede contrarrestar los beneficios comentados anteriormente.

La conclusión que se extrae es que al final como con todo, una manera de obtención de energía 100% limpia y respetuosa hoy en día sigue sin existir y las plantas fotovoltaicas flotantes traen consigo ventajas y desventajas estrechamente relacionadas entre sí y, siempre habrá algún aspecto medioambiental, sector de la población, flora o fauna indirectamente afectado a costa de tomar decisiones para beneficiar el resto de los aspectos medioambientales. Todo depende de a lo que se le quiera otorgar prioridad.

Capítulo 8. ANÁLISIS DE FUTURO

El 3 de Noviembre de 2020 el Consejo de Ministros aprobó la “Estrategia a Largo Plazo para una Economía Española Moderna, Competitiva y Climáticamente Neutra en 2050” (ELP 2050), documento en el que España se compromete como Estado miembro de la Unión Europea y del Acuerdo de París para lograr la neutralidad climática en 2050 reduciendo al 90% las emisiones de gases de efecto invernadero respecto a 1990 y absorbiendo el 10% restante en sumideros de carbono como se dice en [MINI20], incrementando así el objetivo de reducción de emisiones impuesto para 2030, la polémica “Agenda 2030”.

Para lograr dicho objetivo la ciudadanía será el pilar fundamental afectado por el cambio. Se pretende afectar lo menos posible a las regiones vulnerables y las zonas de transición como son las zonas rurales, que presentan el principal reto demográfico, garantizando una transformación justa, con oportunidades de empleo sostenible e igualitarias alineándose así con varios de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas.

En el sector de interés para este trabajo, es decir, la industria de las energías renovables todo esto presenta múltiples oportunidades de desarrollo para contribuir al autoabastecimiento y uso inteligente de los recursos renovables del país contribuyendo enormemente a cuidar el medio ambiente y reducir el problema del cambio climático. Según se dice en [MINI20] “el objetivo que alcanza el sistema energético nacional para 2050 es estar formado al 97% por energías renovables aumentando la producción nacional y reduciendo las importaciones del 73% consumido en 2018 a un 13% lo que supondría un ahorro de 344.000 millones de euros”.

Con todo esto, se pretende que el sector industrial nacional se posicione como líder aumentando considerablemente su capacidad productiva y competitividad al modernizarse y descarbonizarse con el uso progresivo de energías renovables cada vez más efectivas “llegando a reducir el consumo de energía primaria en torno a un 50%. Los números que se

persiguen son que el sector eléctrico sea 100% renovable, el transporte y la movilidad al 79% y el sector del calor y el frío en un 97%”. [MINI20]

En la tabla adjunta a continuación se pueden apreciar los parámetros más importantes del plan a seguir.

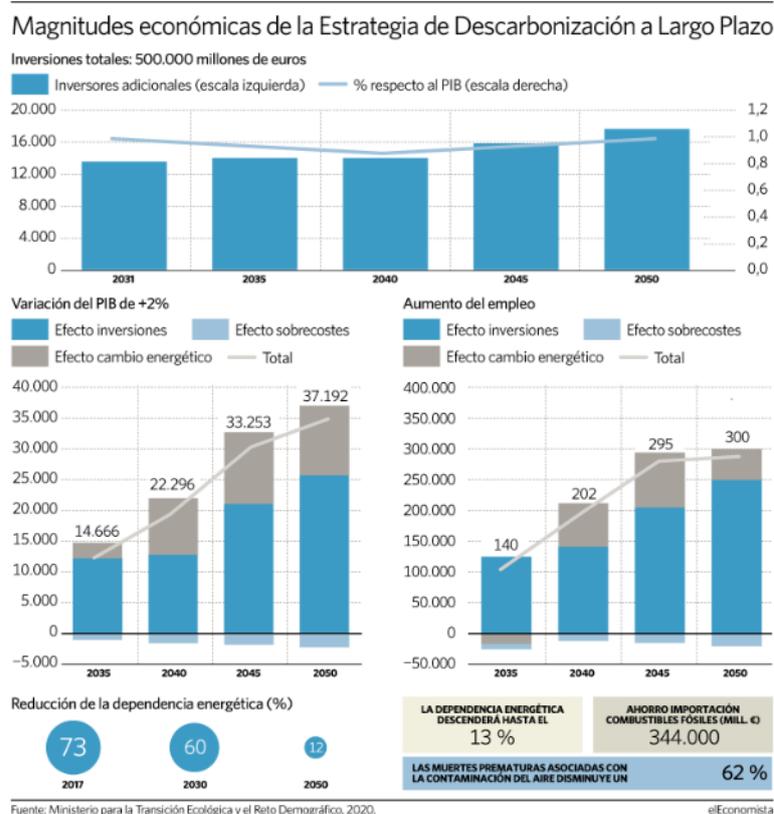


Tabla 4: Objetivos de Relevancia que persigue la ELP 2050 (Ministerio transición ecológica y reto demográfico, 2020)

Tras ser concededores de este plan de futuro tan revolucionario en España cabe preguntarse si en estos tres años que han pasado se comienza a notar el efecto y se va por buen camino de cara a cumplir los objetivos y la respuesta es sí.

La realidad es que tal y como se explica en [ACOS23] “España va encaminado al 50% de energía renovable en el mix eléctrico en 2023, cifras que llaman la atención si se tiene en cuenta que en el año 2022 las renovables formaban algo más del 42% en dicho mix”.

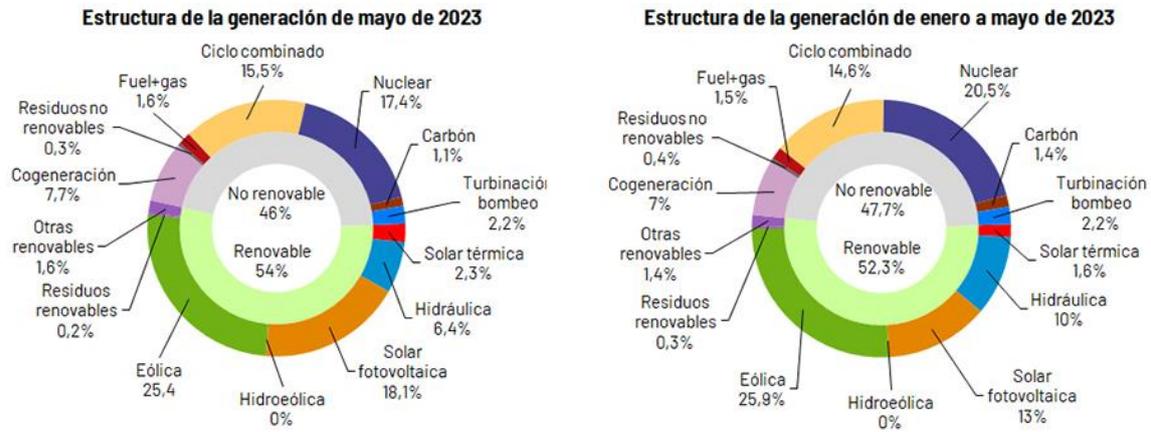


Tabla 5: Datos del mix energético español en mayo y en todo el año 2023 (pv magazine España)

Lo cierto es que la situación nacional de cara a cumplir los objetivos de la ELP 2050 y consolidar al país como uno de los motores renovables, si no el principal de Europa es excelente con una industria eólica y fotovoltaica que crecen a pasos agigantados siendo la eólica la segunda más grande en cuanto a potencia instalada de Europa sólo por detrás de Alemania y la solar la tercera por detrás de Alemania y Holanda; y con una hidráulica un poco más rezagada debido a que está más expuesta a factores externos como olas de calor y sequías, comunes en los últimos años en el país y el entorno de la península ibérica mientras que en Europa no han sido tan extremas como aquí.

Antes de seguir, hay que aclarar que es este “mix energético” del que se ha estado hablando. El mix lo componen las distintas tecnologías empleadas para satisfacer la demanda eléctrica nacional mediante las denominadas fuentes primarias que son las distintas centrales de abastecimiento de energía nacional repartidas por todo el país. Identificar las fuentes que consumen el mix es un cálculo bastante regular a lo largo del año, pero difícil de predecir y obtener debido al problema de almacenamiento presente en España que no permite almacenar grandes cantidades de energía teniendo ésta que ser consumida de inmediato, y el auge de las energías renovables que no producen energía de manera regular durante el transcurso del año por lo expuestas que se ha visto que están a factores externos.

Para cumplir los objetivos de la ELP 2050 está claro que el mix nacional debe seguir una tendencia descendente con las centrales de carbón y petróleo, mantener los niveles de producción en centrales de combustibles fósiles como la energía nuclear y aumentar considerablemente el uso de energías renovables todo ello para lograr los objetivos contra el cambio climático y la descarbonización de la economía mencionados anteriormente.

Una cosa está clara y es que el futuro de España en el sector es muy prometedor ya que sin España, Europa no cumplirá sus objetivos para los años posteriores como bien aclaró Beatriz Corredor, presidenta de Redeia (Red Eléctrica Corporación, S.A) “dada la buena posición de España en renovables, el país tiene que ser el motor de la transición energética en Europa” mencionando también que debido a la fuerte dependencia de Alemania del gas ruso y los problemas de Francia con su parque nuclear, dichos países ya no son las potencias energéticas de antes cosa que “ha cambiado para quedarse”. [ACOS23]

País	2022 Potencia total (en gigavatios)	Potencia total Escenario medio Horizonte 2026	2023-2026 Nueva capacidad (en GW)	Ratio de crecimiento compuesto anual 2022-2026	Perspectivas de apoyo político
Germany	68,5	131,0	62,6	18%	
Spain	26,4	77,7	51,2	31%	
Poland	12,5	34,4	21,8	29%	
Italy	24,7	45,5	20,9	17%	
Netherlands	18,0	37,2	19,3	20%	
France	16,1	34,6	18,4	21%	
Greece	5,6	15,9	10,4	30%	
Portugal	4,2	14,5	10,3	36%	
Sweden	2,7	10,5	7,8	41%	
Austria	3,8	10,4	6,7	29%	
Romania	1,8	8,0	6,1	44%	
Ireland	0,5	6,5	6,0	90%	
Denmark	3,9	9,5	5,6	25%	
Belgium	7,9	13,1	5,1	13%	
Hungary	3,9	9,0	5,1	23%	

Tabla 6: Escenario fotovoltaico europeo de 2022 a 2026 (Solar Power Europe)

Capítulo 9. CONCLUSIONES

Tras realizar este profundo análisis sobre la generación energética solar flotante a tantos niveles y teniendo en cuenta tantos aspectos y parámetros se extraen conclusiones del todo útiles e importantes.

En los aspectos generales se puede rescatar que las economías orientales están aquí para quedarse. Son ya muchos los años atrás que se viene hablando de la potencia de dichas economías y de cómo el mundo está cada vez menos occidentalizado y “monopolizado”, se podría decir, por las grandes economías americanas y europeas. Asia es la pionera de la energía fotovoltaica flotante, como tal, lleva años de ventaja al resto del mundo en lo que a esta industria se refiere y no tiene intención de parar con cada vez mayores inversiones y construcciones de plantas más masivas y potentes en extensión y potencia generada batiendo todos los récords globales que ya poseen ellos actualmente. Ciertamente es que Estados Unidos y la Unión Europea no se están quedando atrás con programas como el visto en el último punto, ELP 50, pero el problema que se le saca a este programa si el objetivo es alcanzar a los asiáticos como líderes mundiales es que los países que lideran el proyecto, Alemania y España, no son los pioneros de las renovables en Europa y menos de la energía solar flotante, por lo que primero tienen que alcanzar en investigación y desarrollo e infraestructura a los países pioneros como son Italia o Dinamarca para después plantearse siquiera alcanzar a Asia que lleva muchos años e inversión de ventaja. Es verdad en ese sentido se están dando los pasos correctos ya que la infraestructura e inversión pública europea está aumentando considerablemente y a pasos agigantados en los últimos años con unos fondos y subvenciones destinados a proyectos renovables cada vez mayores y cada vez más disponibles para todos; éste es claramente el camino correcto y a seguir. La principal ventaja que traerá globalmente es la descarbonización del planeta, seguida de una energía que se extraerá progresivamente de maneras más limpias y efectivas gracias a la inversión e investigación exhaustiva, al final, aunque los inversores y empresas de los distintos países sí que tengan como objetivo egoísta y de futuro ser los líderes y referentes mundiales, nos

beneficiamos todos de esta “carrera” entre ellos al vivir en un planeta más sano y limpio dominado por las energías renovables.

En el aspecto técnico poca cosa se puede aportar, el diseño de las plantas fotovoltaicas flotantes está estandarizado desde prácticamente su invención, todas las plantas por grandes o pequeñas que sean, tengan un uso de abastecimiento nacional o personal, hayan sido construidas en Europa o en Asia, siguen el mismo esquema de montaje con las mismas partes y componentes, sus ventajas se maximizan gracias a situar los paneles en la superficie del agua y sus costes se abaratan también al llevar la energía recolectada a transformadores y estaciones en tierra desde donde pasa a la red, no hay necesidad alguna de construir más estaciones de conexión ni de innovar en su diseño porque ahora mismo tal cual es, es muy efectivo. El aspecto en el que sí interesa invertir, investigar e innovar es en el de los componentes en sí, mejorar la durabilidad de las celdas fotovoltaicas o la efectividad de los paneles para que o bien puedan soportar temperaturas más elevadas ya que es bastante irónico que un panel solar pierda efectividad cuánta más temperatura tiene que soportar, o que la refrigeración que aporta el estar cerca del agua se transmita mejor y de manera más regular por todo el panel empleando materiales alternativos aunque quizás sean más caros o innovando en las estructuras de los sistemas de flotación para que sean más efectivos en los parámetros que se desea mejorar. Otro aspecto importante relacionado con los componentes ya mencionado en anteriores puntos es su escaso reciclaje y enorme contaminación en los procesos de fabricación, actualmente este es el mayor problema de las placas solares bien sean terrestres o flotantes. Afortunadamente, la dirección que la industria en general está tomando es la de investigar en formas tanto de hacer las estructuras y plantas más eficaces como el de utilizar componentes alternativos y menos nocivos para el medio ambiente. Actualmente todo el mundo se encuentra remando en la misma dirección y con los mismos objetivos.

El ámbito económico despeja las dudas que se pueden tener sobre las plantas fotovoltaicas flotantes sobre en qué aspectos realmente se gasta dinero y por qué se requiere de inversiones tan grandes comparadas con otras formas de energía para construir este tipo de plantas, lo que puede parecer contraproducente. Las plantas fotovoltaicas flotantes son por supuesto más caras de construir que las plantas fotovoltaicas convencionales ya que aunque se sustituye la compra o expropiación de terrenos por la de lagos o embalses que, dependiendo de si ese lago o embalse tiene usos de recreo, es un proceso más sencillo mediante subastas nacionales; se cuenta con el hándicap de que hay que habilitar todos los componentes y cableado para que sean aptos para su uso en medios acuáticos, añadir el coste de los sistemas de flotación y anclaje y los costes de mantenimiento ya que en un medio acuático las plantas no se ensucian tanto como en un medio terrestre pero sí que requieren de un mantenimiento más regular y preciso con el sobrecoste que supone realizar este mantenimiento en un medio acuático. Una verdad innegable es que a día de hoy el planeta se encuentra en el punto de no retorno, o se actúa con urgencia o las cosas no van a volver a ser las mismas en la Tierra, y es algo que por fin gobiernos y empresas han visto como una amenaza real y comienzan a tener en cuenta de manera seria y no sólo en forma de discursos para limpiar su imagen y consecuencia de ello son las cada vez más abundantes subvenciones de la Unión Europea para financiar este tipo de proyectos siendo por fin una realidad accesible para todos y siendo éste el camino a seguir para conseguir los objetivos establecidos para 2050. Por otro lado, en España hasta ahora es cierto que existen fondos y subvenciones destinados a este tipo de proyectos, sin embargo, no han parecido tan accesibles como los de la Unión Europea hasta el establecimiento de los objetivos de la descarbonización parcial para 2030 y total para 2050 siendo una consecuencia directa de ello que España se posicione como el país para liderar a una Europa en horas bajas, debido a la guerra entre Rusia y Ucrania, hacia dicho objetivo tan primordial. Esperemos que ésta sea la tónica para seguir y dichos fondos sean cada vez más abundantes y accesibles tanto a nivel nacional como europeo para liderar no sólo a Europa sino al mundo hacia dicho objetivo porque contamos con una infraestructura y unos equipos de investigación de sobra capacitados para lograrlo con el liderazgo y las condiciones de trabajo correctas.

Por último, en el ámbito medioambiental, el estudio ha concretado cuales son los beneficios concretos de las plantas fotovoltaicas flotantes al igual que las consecuencias negativas. Sorprendentemente la fabricación de los componentes destinados a este tipo de plantas es un proceso muy contaminante y en el que se emplean materiales tóxicos, complementado con que al final de su vida útil, dichos componentes tienen una reutilización escasa; claramente la ruta a seguir es la investigación e inversión a corto plazo en esta cuestión de urgencia para crear programas de reutilización para los materiales y la investigación en el uso de materiales alternativos para reducir dichos componentes tóxicos y nocivos para el medio ambiente, ya que tiene poco sentido invertir en una forma de obtención de energía con contaminación nula pero cuyos materiales al final de su vida útil contaminan y además de manera importante el ecosistema. Más a largo plazo se puede investigar también en procesos de fabricación menos contaminantes o empleo de materiales alternativos con los que se consigan unas características de eficiencia y generación de energía similares a los materiales empleados hoy en día. Por otro lado, se debe restringir la legislación vigente sobre el tipo de embalses en los que construir este tipo de plantas, se deben realizar estudios exhaustivos y precisos sobre las consecuencias que traerá para el propio embalse y la zona la construcción de la planta en ámbitos como el de la flora y fauna tanto del embalse como de los alrededores o la actividad económica de las poblaciones cercanas y del propio embalse, si por ejemplo cuenta con amarres para barcos de recreo, actividades acuáticas, zonas de baño, etc; todo esto con el objetivo de que no se ponga en duda en ningún momento la legitimidad de este tipo de plantas y si traen más desventajas que ventajas al medioambiente comparado con sus homónimas terrestres argumentos comunes por parte de la población menos informada pero que al final son los que siempre hacen más ruido y mueven las masas populares.

Para complementar todo este trabajo y el estudio se ha realizado un análisis de la situación española tanto presente como futura y se han extraído conclusiones quizás esperadas para los lectores del sector energético o puestos al día en el tema, pero a lo mejor más sorprendentes para los lectores más casuales. Pese a la gran infraestructura de embalses que posee España desde finales del siglo pasado, han tenido que pasar muchos años para que la tecnología fotovoltaica flotante haya pisado tierras ibéricas. España históricamente no ha

sido pionero de las energías renovables, pero eso no quita que enseguida se haya incorporado a dicho mercado y haya igualado e incluso superado en números en pocos años a países que le sacaban mucha ventaja. Esa es un poco la situación actual con el tema de las placas solares flotantes, se vio que la primera subasta para construir en la península ibérica se llevó a cabo hace relativamente poco y sin embargo Portugal y España hoy en día poseen plantas flotantes que poco tienen que envidiar a otras repartidas por Europa y el resto del mundo. Con el añadido de la Agenda 2030, los objetivos de descarbonización total para 2050 y el imprevisto de la guerra entre Rusia y Ucrania, España se posiciona líder para llevar a Europa hacia dichos objetivos gracias a que por fin políticos y empresas se han dado cuenta del potencial que hay en este país si se destinan los recursos adecuados a la gente adecuada, es un acierto y el camino a seguir aumentar en cantidad monetaria y número las subvenciones destinadas a este tipo de proyectos para utilizar no sólo en construcción y proyección de plantas, sino también en investigación y desarrollo para tratar de solucionar los pequeños pero importantes problemas que la industria fotovoltaica flotante a día de hoy todavía presenta.

Capítulo 10. REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

[ONU__] – ONU, “Objetivos y metas de desarrollo sostenible”, última visita: 20/06/2023

<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/sustainable-development-goals/>

[TRAC__] – Tracesoftware, “Placas Solares Flotantes: La promesa de la Energía Renovable Solar”, última visita: 15/06/2023.

<https://www.trace-software.com/es/plantas-fotovoltaicas-flotantes-la-promesa-de-la-energia-renovable-solar/#:~:text=Historia.flotante%20entre%202007%20y%202014.>

[AGRI22] – AgriSolar, “Case Study: Far Niente Winery”, última visita: 15/06/2023.

<https://www.agrisolarclearinghouse.org/case-study-far-niente-winery/>

[PATI17] – *International Journal of Scientific & Engineering Research. Vol 8, June 2017.*

[ACCI__] - Acciona, “Energía Solar”, última visita: 15/06/2023.

https://www.acciona.com/es/energias-renovables/energia-solar/?_adin=02021864894

[TUNE22] – Tunergía, “Placas Solares Flotantes: Qué son, ventajas, ejemplos y más”, última visita: 15/06/2023.

<https://www.tunergia.es/post/placas-solares-flotantes>

[IBER__] – Iberdrola, “¿Cómo funcionan las plantas fotovoltaicas?”, última visita: 15/06/2023.

<https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/que-es-energia-fotovoltaica>

[ENDE20] – Endesa, “¿Cómo funcionan los paneles solares?”, última visita: 15/06/2023.

<https://www.endesa.com/es/blog/blog-de-endesa/luz/como-funcionan-los-paneles-solares#:~:text=Resumiendo%20mucho%20y%20simplificando%2C%20el,son%20las%20llamadas%20celdas%20solares.>

[MINI_] – Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, “Agencia Internacional de Energías Renovables (IRENA)”, última visita: 15/06/2023.

[https://energia.gob.es/REI/relaciones-energeticas-internacionales/organismos-internacionales/Paginas/agencia-internacional-energias-renovables.aspx#:~:text=IRENA%20es%20una%20organizaci%C3%B3n%20intergubernamental,renovable%22%20\(Art%C3%ADculo%20II\).](https://energia.gob.es/REI/relaciones-energeticas-internacionales/organismos-internacionales/Paginas/agencia-internacional-energias-renovables.aspx#:~:text=IRENA%20es%20una%20organizaci%C3%B3n%20intergubernamental,renovable%22%20(Art%C3%ADculo%20II).)

[IREN19] – IRENA, “El Futuro de la Energía Solar Fotovoltaica”, última visita: 15/06/2023.

https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2019/Nov/IRENA_Future_of_Solar_PV_summary_2019_ES.pdf?la=en&hash=DE82F7DC53286F720D8E534A2142C2B8D510FB0B#:~:text=La%20energ%C3%ADa%20solar%20FV%20generar%C3%ADa,generaci%C3%B3n%20m%C3%A1s%20importantes%20para%202050.&text=ESTA%20TRANSFORMACI%C3%93N%20SOLO%20SER%C3%81%20POSIBLE.EN%20LAS%20TRES%20PR%C3%93XIMAS%20D%C3%89CADAS.

[BBVA_] – BBVA, “¿Qué es la energía solar y cómo se produce? Cuando el sol es el protagonista”, última visita: 15/06/2023.

<https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/que-es-la-energia-solar/>

[RUIZ23] Álvaro Ruíz, Esenergía, “La Planta Fotovoltaica Flotante Más Grande de Asia”, última visita: 15/06/2023.

<https://esenergia.es/energia-fotovoltaica-flotante-mas-grande/#:~:text=El%20pasado%20a%C3%B1o%20Huaneng%20Power,MW%20y%20120%20MW%2C%20respectivamente.>

[TEST22] – Gabriel Testi, Innovando, “En Dezhou se encuentra la planta fotovoltaica más grande del mundo”, última visita: 15/06/2023.

<https://innovando.it/es/a-dezhou-ce-il-piu-grande-impianto-fotovoltaico-al-mondo/>

[RUIZ23_2] – Álvaro Ruiz, Esenergía, “La energía fotovoltaica flotante destaca en Europa”, última visita: 15/06/2023.

<https://esenergia.es/planta-fotovoltaica-flotante-mas-grande/>

[BRAN22] – EC Brands, El Confidencial, “De Asia a Europa: Las plantas solares flotantes llegan a las aguas de la península Ibérica”, última visita: 15/06/2023.

https://www.elconfidencial.com/medioambiente/energia/2022-06-28/placas-solares-flotantes-bra_3447327/

[EURO__] – Comisión Europea, “Programas de Financiación de la UE”, última visita: 15/06/2023.

https://commission.europa.eu/funding-tenders/find-funding/eu-funding-programmes_es

[CIVI22] – Óscar F. Civieta, Business Insider, “Energía Solar Flotante: ¿Ayuda o Problema en la Lucha Contra el Cambio Climático?”, última visita: 15/06/2023.

<https://www.businessinsider.es/como-afecta-energia-solar-flotante-cambio-climatico-1073913>

[SOLA__] - SolarPlak, ¿Cuál es el Impacto Ambiental de la Energía Solar Fotovoltaica?, última visita: 15/06/2023.

[https://solarplak.es/energia/cual-es-el-impacto-ambiental-de-la-energia-solar-fotovoltaica/#:~:text=%C2%BFLa%20fabricaci%C3%B3n%20de%20paneles%20solares,a stro%20rey%20de%20manera%20definitiva\).](https://solarplak.es/energia/cual-es-el-impacto-ambiental-de-la-energia-solar-fotovoltaica/#:~:text=%C2%BFLa%20fabricaci%C3%B3n%20de%20paneles%20solares,a stro%20rey%20de%20manera%20definitiva).)

[MINI20] – Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, “El Gobierno Aprueba la Estrategia de Descarbonización a Largo Plazo, que marca la senda para alcanzar la neutralidad climática a 2050”, última visita: 15/06/2023.

<https://www.miteco.gob.es/es/prensa/ultimas-noticias/el-gobierno-aprueba-la-estrategia-de-descarbonizaci%C3%B3n-a-largo-plazo-que-marca-la-senda-para-alcanzar-la-neutralidad-clim%C3%A1tica-a-2050/tcm:30-516141>

[ACOS23] – Sandra Acosta, El Periódico de la Energía, “España se encamina hacia el 50% de renovables en su mix eléctrico en 2023”, última visita: 15/06/2023.

<https://elperiodicodelaenergia.com/espana-se-encamina-hacia-el-50-de-renovables-en-su-mix-electrico-en-2023/>

[GUTI23] – Gutierrez Labrador (11/04/2023), PWACS, “Alquiler de terreno para instalar placas solares; Aspectos a tener en cuenta en la contratación”, última visita: 21/06/2023

<https://gutierrezlabrador.com/alquiler-terreno-instalar-placas-solares/#:~:text=%C2%BFCu%C3%A1nto%20se%20paga%20por%20el,1600%20euros%20anuales%20por%20hect%C3%A1rea.>

[SOTY23] – Sotysolar (24/01/2023), “¿Cuánto cuesta poner placas solares?”, última visita: 21/06/2023

<https://sotysolar.es/placas-solares/instalacion/precio#:~:text=El%20precio%20promedio%20de%20una,equipos%20y%20mano%20de%20obra.>

[BBVA23] – BBVA (01/03/2023), “‘Project finance’, la alternativa de financiación para grandes proyectos”, última visita: 21/06/2023

<https://www.bbva.com/es/project-finance-la-alternativa-financiacion-grandes-proyectos/>

[BBVA__2] – BBVA, “Bonos verdes: qué son y cómo funcionan”, última visita: 21/06/2023

https://www.bbva.com/es/sostenibilidad/bonos-verdes-que-son-que-financian/?gclid=CjwKCAjwv8qkBhAnEiwAkY-ahi6aMqouUMMyhkjzI1EZTHUu9FGeaIQTedTgnixJyJ3ZlIPcXs_dkxoCW5gQAvD_BwE

[REPS_] – Repsol, “Aprovechando al máximo la energía del sol”, última visita: 19/06/2023

<https://www.repsol.com/es/conocenos/que-hacemos/desarrollo-energias-renovables/energia-solar/index.cshtml>

[FACT23] – Equipo de eficiencia energética de Factorenergía (15/05/2023), “Energía solar: todo lo que tienes que saber”, última visita: 19/06/2023

<https://www.factorenergia.com/es/blog/autoconsumo/energia-solar/>

[ACCI__2] – Acciona, “Energía solar”, última visita: 19/06/2023

https://www.acciona.com/es/energias-renovables/energia-solar/?_adin=02021864894

[IBER__2] – Iberdrola, “Qué es la energía solar fotovoltaica”, última visita: 19/06/2023

<https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/que-es-energia-fotovoltaica>

[CAMB22] – Cambio energético (25/09/2022), “¿Cómo funcionan las placas solares?”, última visita: 19/06/2023

<https://www.cambioenergetico.com/blog/como-funcionan-placas-solares/>

[IBER__3] – Iberdrola, “Energía solar fotovoltaica flotante”, última visita: 19/06/2023

<https://www.iberdrola.com/innovacion/fotovoltaica-flotante>

[ENDE22] – Endesa (27/05/2022), “Plantas solares flotantes: una alternativa más para generar energía renovable”, última visita: 19/06/2023

<https://www.endesa.com/es/la-cara-e/energias-renovables/plantas-solares-flotantes-alternativa-generacion-energia-renovable>

[RUIZ23_3] – Álvaro Ruiz (07/02/2023), Esenergía, “El éxito de la energía fotovoltaica flotante en Extremadura”, última visita: 19/06/2023

<https://esenergia.es/energia-fotovoltaica-flotante-espana/>

[RAMA21] – Vignesh Ramasamy y Robert Margolis (Octubre 2021), “Floating Photovoltaic System Cost Benchmark: Q1 2021 Installations on Artificial Water Bodies”, última visita: 19/06/2023

<https://www.nrel.gov/docs/fy22osti/80695.pdf>

[IREN21] – Irena (2021), “Costos de generación de energía renovable en 2020”, última visita: 19/06/2023

https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2021/Jun/IRENA_Power_Generation_Costs_2020_Summary_ES.pdf?rev=ac2dc583c470469d88ba64f5b014ff5f

[EURO__2] – Comisión Europea

https://commission.europa.eu/index_es

[SOLA__2] – Solar Power Europe

<https://www.solarpowereurope.org/>

[EURO__3] – European Investment Bank, última visita: 23/05/2023

<https://www.eib.org/en/>

[LEON22] – Mariela León (10/06/2022), Cambio16, “Las incógnitas que esconde la energía solar flotante”, última visita: 19/06/2023

<https://www.cambio16.com/las-incognitas-que-rodean-a-la-energia-solar-flotante-en-franca-expansion/>

[DIAZ20] – Tomás Díaz (23/07/2020), elEconomista, “España no será 100% renovable en 2050 (pero casi)”, última visita: 19/06/2023

<https://www.eleconomista.es/empresas-finanzas/noticias/10684635/07/20/Espana-no-sera-100-renovable-en-2050.html>

[LUZI__] – Luzía Energía, “¿Cómo evolucionará el mix energético en el futuro?”, última visita: 19/06/2023

<https://luziaenergia.es/sector-electrico/como-evolucionara-el-mix-energetico-en-el-futuro/>

[NARK] – N-Ark, “Offshore Architecture Project: Green Ocean”, última visita: 21/06/2023

<https://www.n-ark.jp/en/green-ocean>