

MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA ENERGÉTICA
SOSTENIBLE

TRABAJO FIN DE MÁSTER

EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL DE UN PARQUE EÓLICO OFFSHORE



Estudiante: Sánchez Villegas, Alaine

Director/Directora: Rozas Guinea, Saroa

Curso: 2022-2023

Fecha: <Bilbao, 20, septiembre, 2023>

RESUMEN

Actualmente, hay una serie de problemas y desafíos asociados con la transición energética. La demanda de energía es cada vez mayor y las fuentes de energía actuales son en su mayoría recursos limitados y su uso tiene un impacto no deseado en el medio ambiente. Por tanto, es necesario realizar una transición energética hacia un sistema más sostenible mediante el uso de energía renovable.

Este trabajo consiste en realizar un estudio de impacto ambiental de un parque eólico offshore. Para empezar, se escogerá la ubicación de dicho parque analizando distintos factores como la naturaleza del recurso eólico, la batimetría, los espacios protegidos... entre otros parámetros. A continuación, se hará una descripción de la central mencionando el funcionamiento, el tipo de aerogenerador utilizado, la orientación y el posicionamiento del parque, el tipo de cimentación y sistemas de fondeo y anclaje, la subestación offshore y la conexión eléctrica.

Posteriormente, se propondrán diferentes alternativas de mejora del parque eólico y se analizarán mediante distintos métodos con el fin de escoger la mejor de ellas.

Por otro lado, se enumerarán las acciones que se llevarán a cabo en la fase de construcción, operación y desmantelamiento para a continuación evaluar el impacto que puede generar cada acción. Para ello, se seleccionarán los factores ambientales que se van a tener en cuenta al realizar la evaluación y, por último, se calculará el grado de importancia y de magnitud de cada acción.

Después de analizar el impacto generado, se propondrán medidas correctoras para mitigar dicho impacto y se volverá a evaluar con las medidas correctoras propuestas para comprobar que son adecuadas y minimizan el impacto generado.

Finalmente, se hará un análisis económico mediante la descripción del presupuesto y un análisis de rentabilidad.

Palabras clave: energía eólica, parque eólico offshore, aerogeneradores, viento, recurso eólico, batimetría, Cataluña, Girona, EIA, impacto ambiental, factores ambientales.

LABURPENA

Gaur egun, trantsizio energetikoarekin lotutako hainbat arazo eta erronka daude. Energia-eskaera gero eta handiagoa da, eta egungo energia-iturri gehienak baliabide mugatuak dira, eta haien erabilerak nahi gabeko inpaktua du ingurumenean. Beraz, beharrezkoa da energia berriztagarria erabiliz sistema iraunkorrago baterako trantsizio energetikoa egitea.

Offshore parke eoliko baten ingurumen-inpaktuaren azterketa egitea da lan honen helburua. Hasteko, parke horren kokapena aukeratuko da, eta, horretarako, hainbat faktore aztertuko dira, besteak beste, baliabide eolikoaren izaera, batimetria, espazio babestuak... Jarraian, zentralaren deskribapena egingo da, eta honako hauek aipatuko dira: funtzionamendua, erabilitako aerosorgailu mota, parkearen orientazioa eta kokapena, zimendatze mota, ainguratze-sistemak, offshore azpiestazioa eta konexio elektrikoa.

Ondoren, parke eolikoa hobetzeko hainbat aukera proposatuko dira, eta hainbat metodoren bidez aztertuko dira, onena aukeratzeko.

Bestalde, eraikuntza-, eragiketa- eta eraiste-fasean gauzatuko diren ekintzak zerrendatuko dira, jarraian ekintza bakoitzak izan dezakeen eragina ebaluatzeko. Horretarako, ebaluazioa egitean kontuan hartuko diren ingurumen-faktoreak hautatuko dira, eta, azkenik, ekintza bakoitzaren garrantzi- eta magnitude-maila kalkulatu da.

Sortutako inpaktua aztertu ondoren, eragin hori arintzeko neurri zuzentzaileak proposatuko dira, eta berriz ere ebaluazio bera egingo da proposatutako neurri zuzentzaileak egokiak direla eta sortutako inpaktua minimizatzen dutela egiaztatzeko.

Azkenik, analisi ekonomikoa egingo da, aurrekontua deskribatuz eta errentagarritasuna aztertuz.

Hitz gakoak: energia eolikoa, parke eoliko offshore, aerosorgailuak, haizea, baliabide eolikoa, batimetria, Cataluña, Girona, EIA, ingurumen inpaktua, ingurune faktoreak.

ABSTRACT

Currently, there are several problems and challenges associated with the energy transition. The demand for energy is increasing and current energy sources are mostly limited resources, and their use has an unwanted impact on the environment. Therefore, it is necessary to carry out an energy transition towards a more sustainable system using renewable energy.

This work consists of conducting an environmental impact study of an offshore wind farm. To begin with, the location of the park will be chosen by analyzing several factors such as the nature of the wind resource, bathymetry, protected areas... among other parameters. Next, a description of the plant will be made, mentioning its operation, the type of wind turbine used, the orientation and positioning of the park, the type of foundation and anchoring systems, the offshore substation, and the electrical connection.

Subsequently, different alternatives to improve the wind farm will be proposed and analyzed using different methods to choose the best one.

On the other hand, the actions that will be carried out in the construction, operation and dismantling phase will be listed. To then evaluate the impact that each action can generate. To do this, the environmental factors that will be considered when carrying out the evaluation will be selected and, finally, the degree of importance and magnitude of each action will be calculated.

After analyzing the generated impact, corrective measures will be proposed to mitigate the impact and the same evaluation will be carried out again to verify that the proposed corrective measures are adequate and that they minimize the generated impact.

Finally, an economic analysis will be made by describing the budget and a profitability analysis.

Keywords: wind energy, offshore wind farm, wind turbines, wind, wind resource, bathymetry, Catalonia, Girona, EIA, environmental impact, environmental factors.

ÍNDICE

| | |
|---|-----|
| RESUMEN..... | I |
| LABURPENA..... | II |
| ABSTRACT..... | III |
| 1. INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 1.1 FUENTES DE ENERGÍA..... | 1 |
| 1.2 SITUACIÓN ENERGÉTICA ACTUAL..... | 2 |
| 2. CONTEXTO..... | 4 |
| 2.1 ENERGÍA EÓLICA EN EL MUNDO, EN EUROPA Y EN ESPAÑA..... | 4 |
| 2.1.1 Energía eólica en el mundo..... | 4 |
| 2.1.2 Energía eólica en Europa..... | 5 |
| 2.1.3 Energía eólica en España..... | 6 |
| 2.2 ENERGÍA EÓLICA OFFSHORE..... | 7 |
| 2.2.1 Ventajas y desventajas de la energía eólica offshore..... | 8 |
| 2.3 LA EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL..... | 8 |
| 2.4 NORMATIVA..... | 9 |
| 2.4.1 Protocolo de Kioto..... | 9 |
| 2.4.2 Legislación Europea..... | 9 |
| 2.4.3 Legislación estatal..... | 10 |
| 3. OBJETIVOS Y ALCANCE DEL TRABAJO..... | 11 |
| 4. BENEFICIOS..... | 12 |
| 5. DESCRIPCIÓN DE REQUERIMIENTOS..... | 13 |
| 6. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS..... | 15 |
| 6.1. LOCALIZACIÓN DE LA CENTRAL..... | 15 |
| 7. SELECCIÓN DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA..... | 19 |
| 7.1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO..... | 19 |

| | |
|--|----|
| 7.2 DESCRIPCIÓN DE LA CENTRAL..... | 24 |
| 7.2.1 Funcionamiento de un parque eólico offshore | 24 |
| 7.2.2 Aerogeneradores..... | 24 |
| 7.2.3 Orientación del parque | 28 |
| 7.2.4 Posicionamiento del parque | 29 |
| 7.2.5 Cimentación | 31 |
| 7.2.6 Sistemas de fondeo (mooring) y sistema de anclaje..... | 33 |
| 7.2.7 Subestación offshore | 34 |
| 7.2.8 Conexión eléctrica..... | 35 |
| 7.3 ACCIONES EN CADA FASE DEL PROYECTO..... | 36 |
| 7.3.1 Fase de construcción | 36 |
| 7.3.2 Fase de operación..... | 37 |
| 7.3.3 Fase de desmantelamiento y abandono | 37 |
| 7.4 RECURSOS | 38 |
| 7.4.1 Recursos humanos..... | 38 |
| 7.4.2 Grado de aceptación pública | 38 |
| 7.4.3 Cronograma..... | 39 |
| 7.5 ALTERNATIVAS Y CRITERIOS..... | 41 |
| 7.5.1 Evaluación de alternativas..... | 42 |
| 7.6 FACTORES AMBIENTALES | 48 |
| 7.6.1 Método de ordenación por pares | 48 |
| 7.6.2 Método de ordenación por rangos | 51 |
| 7.6.3 Método de ordenación escalar..... | 51 |
| 7.7 INVENTARIO AMBIENTAL..... | 53 |
| 7.7.1 Aire..... | 53 |
| 7.7.2 Clima. Condiciones climáticas..... | 55 |
| 7.7.3 Tierra-suelo..... | 58 |

| | |
|--|----|
| 7.7.4 Medio marino y costero..... | 59 |
| 7.7.5 Vegetación o flora..... | 60 |
| 7.7.6 Fauna | 61 |
| 7.7.7 Procesos del medio biótico..... | 61 |
| 7.7.8 Paisaje intrínseco..... | 61 |
| 7.7.9 Intervisibilidad | 61 |
| 7.7.10 Uso recreativo al aire libre | 62 |
| 7.7.11 Características culturales | 62 |
| 7.7.12 Estructura poblacional..... | 62 |
| 7.7.13 Actividades y relaciones económicas | 63 |
| 7.7.14 Infraestructura no viaria | 63 |
| 7.8 MATRIZ DE IDENTIFICACIÓN DE EFECTOS..... | 65 |
| 7.9 VALORACIÓN CUALITATIVA Y CUANTITATIVA | 68 |
| 7.9.1 Valoración cualitativa | 68 |
| 7.9.2 Valoración cuantitativa | 70 |
| 7.10 VALORACIÓN Y MEDIDAS CORRECTORAS | 72 |
| 8. METODOLOGÍA SEGUIDA EN EL DESARROLLO..... | 81 |
| 8.1 DESCRIPCIÓN DE TAREAS, FASES, EQUIPOS O PROCEDIMIENTOS..... | 81 |
| 8.2 PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO: DIAGRAMA DE GANTT | 81 |
| 8.3 DESCRIPCIÓN DE LOS CÁLCULOS..... | 83 |
| 8.3.1 Selección del modelo de aerogenerador | 83 |
| 8.3.2 Cantidad de aerogeneradores y posicionamiento | 83 |
| 8.3.3 Cálculo de los impactos en la valoración cualitativa y cuantitativa..... | 84 |
| 8.3.4 Cálculo VAN, TIR y LCOE..... | 85 |
| 9. ASPECTOS ECONÓMICOS..... | 87 |
| 9.1 DESCRIPCIÓN DEL PRESUPUESTO..... | 87 |
| 9.2 ANÁLISIS DE RENTABILIDAD | 89 |

| | |
|------------------------|----|
| 10. CONCLUSIONES | 93 |
| 11. BIBLIOGRAFÍA..... | 95 |
| ANEXOS..... | 99 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla 1.- Potencia instalada por cada tecnología (2021). | 3 |
| Tabla 2.- Comparativa de diferentes tipos de aerogeneradores. | 26 |
| Tabla 3.- Factor de capacidad de cada aerogenerador. | 28 |
| Tabla 4.- Método simple. | 43 |
| Tabla 5.- Método de puntuación ponderada: ordenación de las alternativas. | 44 |
| Tabla 6.- Método de puntuación ponderada: matriz relativa a la alternativa A0. | 44 |
| Tabla 7.- Método de puntuación ponderada: matriz ponderada. | 45 |
| Tabla 8.- Método Electre: matriz de concordancia. | 46 |
| Tabla 9.- Método Electre: matriz de discordancia. | 46 |
| Tabla 10.- Método Electre: matriz de ordenación. | 46 |
| Tabla 11.- Comparación los resultados obtenidos. | 47 |
| Tabla 12.- Factores ambientales afectados. | 48 |
| Tabla 13.- Evaluación por pares de cada panelista. | 49 |
| Tabla 14.- Clasificación final de los subsistemas y las UIP obtenidas mediante la evaluación por pares. | 50 |
| Tabla 15.- Clasificación del subsistema físico-natural y las UIP obtenidas mediante la ordenación por rangos. | 51 |
| Tabla 16.- Clasificación del medio inerte y las UIP obtenidas mediante la ordenación escalar. | 52 |
| Tabla 17.- Ponderación final de los factores. | 53 |
| Tabla 18.- Medidas correctoras a implementar en la fase de construcción. | 72 |
| Tabla 19.- Medidas correctoras a implementar en la fase de operación. | 73 |
| Tabla 20.- Medidas correctoras a implementar en la fase de desmantelamiento y abandono. | 74 |
| Tabla 21.- Resumen de la valoración cualitativa. | 75 |
| Tabla 22.- Resumen de la valoración cuantitativa. | 78 |
| Tabla 23.- Presupuesto de permisos y licencias de obras. | 87 |
| Tabla 24.- Presupuesto de construcción. | 87 |

| | |
|--|----|
| Tabla 25.- Presupuesto de operación y mantenimiento. | 87 |
| Tabla 26.- Presupuesto de desmantelamiento. | 88 |
| Tabla 27.- Presupuesto de otras acciones. | 88 |
| Tabla 28.- Presupuesto de las medidas correctoras. | 88 |
| Tabla 29.- Hipótesis básicas. | 89 |

LISTA DE ILUSTRACIONES

| | |
|---|----|
| Figura 1.- Evolución del consumo de energía primaria a nivel mundial. | 2 |
| Figura 2.- Evolución de las fuentes de energía a nivel mundial. | 2 |
| Figura 3.- Estructura de la generación de energía de enero a noviembre de 2021..... | 3 |
| Figura 4.- Potencia instalada de sistemas de producción en España (2021). | 4 |
| Figura 5.- Ranking de países por potencia acumulada (onshore izquierda; offshore derecha) en 2021..... | 5 |
| Figura 6.- Nuevas instalaciones eólicas offshore y onshore en Europa en 2022. | 6 |
| Figura 7.- Nuevas instalaciones eólicas offshore y onshore en Europa para 2023-2027..... | 6 |
| Figura 8.- Evolución de la potencia eólica anual y acumulada instalada en España. | 7 |
| Figura 9.- Mapa de velocidad media del viento en España..... | 15 |
| Figura 10.- Mapa de densidad de potencia eólica en España..... | 16 |
| Figura 11.- Mapa de la batimetría en España. | 17 |
| Figura 12.- Espacios Red Natura 2000 en España. | 18 |
| Figura 13.- Red de Áreas Marinas Protegidas (RAMPE) en España..... | 18 |
| Figura 14.- Mapa de velocidad media del viento en Cataluña. | 19 |
| Figura 15.- Mapa de los principales vientos en España. | 19 |
| Figura 16.- Mapa de densidad de potencia eólica en Cataluña. | 20 |
| Figura 17.- Mapa de la batimetría en Cataluña. | 20 |
| Figura 18.- Mapa de la batimetría en Cataluña. | 21 |
| Figura 19.- Red de distribución eléctrica de Cataluña. | 21 |
| Figura 20.- Espacios protegidos en Cataluña. | 22 |
| Figura 21.- Tráfico marino en Cataluña. | 22 |
| Figura 22.- Tráfico aéreo en Cataluña..... | 23 |
| Figura 23.- Localización escogida. | 23 |
| Figura 24.- Partes de un aerogenerador..... | 25 |
| Figura 25.- Evolución del tamaño medio de los aerogeneradores. | 25 |

| | |
|--|----|
| Figura 26.- Los mejores fabricantes de aerogeneradores en el mundo con la capacidad instalada en el año 2021, expresada en GW. | 26 |
| Figura 27.- Curva de potencia del aerogenerador SG 8.0 – 167 DD. | 27 |
| Figura 28.- Curva de potencia del aerogenerador G 128/5000. | 27 |
| Figura 29.- Curva de potencia del aerogenerador V 164/9500. | 27 |
| Figura 30.- Distribución Weibull..... | 28 |
| Figura 31.- Rosa de los vientos en la ubicación de la instalación..... | 29 |
| Figura 32.- Distancia necesaria entre aerogeneradores. | 30 |
| Figura 33.- Esquema del posicionamiento de aerogeneradores. | 30 |
| Figura 34.- Tipos de cimentaciones fijas..... | 31 |
| Figura 35.- Tipos de cimentaciones flotantes..... | 33 |
| Figura 36.- Subestación autoinstalable..... | 34 |
| Figura 37.- Conexión de un parque eólico a la red eléctrica (Fuente AEE)..... | 36 |
| Figura 38.- Impacto visual de un aerogenerador desde la costa..... | 39 |
| Figura 39.- Cronograma del proceso de construcción y puesta en marcha de la central eólica offshore..... | 40 |
| Figura 40.- Sistemas de almacenamiento energético. | 47 |
| Figura 41.- Índices de calidad del aire. | 54 |
| Figura 42.- Recomendaciones sanitarias según el índice de calidad..... | 55 |
| Figura 43.- Promedio mensual de temperatura en Cadaqués. | 56 |
| Figura 44.- Promedio mensual de lluvia en Cadaqués. | 56 |
| Figura 45.- Promedio mensual de nubes en Cadaqués..... | 56 |
| Figura 46.- Promedio mensual de precipitación en Cadaqués. | 57 |
| Figura 47.- Velocidad del viento promedio en Cadaqués..... | 57 |
| Figura 48.- Dirección del viento en Cadaqués. | 58 |
| Figura 49.- Relieves de Cataluña. | 58 |
| Figura 50.- Usos del suelo existente en la costa de Cataluña..... | 59 |
| Figura 51.- Temperatura promedio del agua en Cadaqués. | 60 |

| | |
|---|----|
| Figura 52.- Objetivos principales de la prospectiva Energética 2050..... | 64 |
| Figura 53.- Matriz de identificación de efectos en la fase de construcción. | 66 |
| Figura 54.- Matriz de identificación de efectos en la fase de operación. | 66 |
| Figura 55.- Matriz de identificación de efectos en la fase de desmantelamiento y abandono.67 | |
| Figura 56.- Parámetros para tener en cuenta en la valoración cualitativa. | 68 |
| Figura 57.- Porcentaje global de cada tipo de impacto en la valoración cualitativa antes de aplicar las medidas correctoras..... | 70 |
| Figura 58.- Parámetros para tener en cuenta en la valoración cuantitativa..... | 70 |
| Figura 59.- Porcentaje global de cada tipo de impacto en la valoración cuantitativa antes de aplicar las medidas correctoras..... | 72 |
| Figura 60.- Valor de los impactos antes de aplicar las medidas correctoras. | 76 |
| Figura 61.- Valor de los impactos después de aplicar las medidas correctoras..... | 76 |
| Figura 62.- Porcentaje global de cada tipo de impacto en la valoración cualitativa después de aplicar las medidas correctoras..... | 77 |
| Figura 63.- Comparativa del porcentaje global de cada tipo de impacto antes y después de aplicar medidas correctoras. | 77 |
| Figura 64.- Valor de la magnitud antes de aplicar las medidas correctoras. | 79 |
| Figura 65.- Valor de la magnitud después de aplicar las medidas correctoras..... | 79 |
| Figura 66.- Porcentaje global de cada tipo de impacto en la valoración cuantitativa antes de aplicar las medidas correctoras..... | 80 |
| Figura 67.- Comparativa del porcentaje global de cada tipo de impacto antes y después de aplicar medidas correctoras. | 80 |
| Figura 68.- Diagrama de Gantt del proyecto..... | 82 |
| Figura 69.- Resultados obtenidos en la vida útil de la planta..... | 91 |
| Figura 70.- Evolución del LCOE en eólica offshore..... | 92 |

1. INTRODUCCIÓN

Actualmente hay una serie de retos y objetivos ligados a la transición energética. La demanda de energía es cada vez mayor, las actuales fuentes tienen en su mayoría recursos limitados y su uso representa repercusiones ambientales indeseables. El crecimiento demográfico y económico global conduce a un mayor uso de energía y formas tradicionales de producción que dependen en gran medida de los combustibles fósiles, lo que da como resultado importantes efectos (globalmente negativos) para la salud humana. (Rodríguez, 2019) La mayoría de los gases de efecto invernadero que hay en la Tierra provienen de la producción de energía mediante la quema de combustibles fósiles para generar electricidad y calor. (Naciones Unidas, s.f.)

Desde la Revolución Industrial, la mayoría de los procesos industriales han sido impulsados por la quema de combustibles fósiles (petróleo, gas y sus derivados, como la gasolina y el diésel) y la sobreexplotación de los recursos naturales de nuestro planeta. Estas actividades generan un cambio en la composición de la atmósfera terrestre, liberando muchos gases y compuestos de efecto invernadero que pueden permanecer en la atmósfera hasta por más de 50 años. Por ello, la acción urgente sobre el cambio climático es clave para mitigar su impacto.

Por lo tanto, en el modelo de sociedad en que vivimos resulta inevitable afrontar una transición energética debido a los problemas ambientales asociados al uso de combustibles fósiles. La transición energética consiste en el abandono del petróleo, el carbón, el gas como fuentes de energía y el reemplazamiento por fuentes de energías renovables. La creciente demanda energética y la necesidad de un modelo energético sostenible hacen imprescindible impulsar y ampliar el uso de energías renovables en el futuro. (Rodríguez, 2019)

1.1 FUENTES DE ENERGÍA

Las fuentes de energía son aquellos recursos naturales que el ser humano puede utilizar para extraer energía. La energía primaria engloba a todas las fuentes de energía naturales, en su forma original y sin alteraciones (viento, sol, agua, calor, biomasa, combustibles fósiles y minerales radiactivos). Se pueden distinguir dos tipos de energía primaria:

- Energías renovables
- Energías no renovables

Las fuentes de energía no renovable son aquellas que se encuentran de una forma limitada en el planeta y son agotables. Es decir, su velocidad de consumo es mayor que la de su regeneración. Estos pueden ser combustibles fósiles (gas natural, petróleo y carbón) y energía nuclear. (Descubre la energía, s.f.)

Los combustibles fósiles son una fuente de energía que se obtienen de la descomposición de materia orgánica de animales, plantas y microorganismos y así como del plancton, algas y masa vegetal terrestre. Estos combustibles son sometidos a condiciones anóxicas, alta presión y temperatura. Dependiendo de la proporción C/H se clasifican en tres tipos: volátiles (Gas Natural), líquidos (petróleo) y sólidos (carbón). Estos se utilizan para la generación eléctrica, transporte, procesos industriales, uso doméstico y como materia prima. Según la IEA, el 80% de la energía consumida en el mundo proviene de los combustibles fósiles.

Las fuentes de energía renovable son las que se basan en la utilización de recursos naturales inagotables. Es decir, no se gastan o se regeneran a la misma velocidad que se consumen. Estos

pueden ser la energía solar, la energía eólica, la energía hidráulica, la energía del mar, bioenergía o energía de la biomasa y la geotérmica.

1.2 SITUACIÓN ENERGÉTICA ACTUAL

Según los estudios llevados a cabo en 2021, la demanda de energía primaria aumentó un 5,8 % en 2021, superando los niveles de 2019. Entre 2019 y 2021, el uso de energías renovables también aumento y el consumo de combustibles fósiles se mantuvo prácticamente sin cambios.

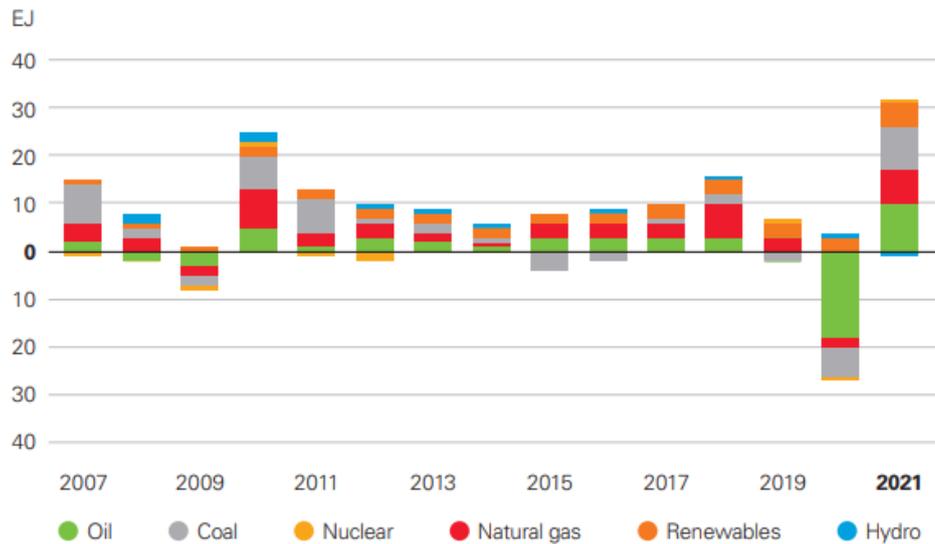


Figura 1.- Evolución del consumo de energía primaria a nivel mundial. (bp, 2022)

El porcentaje de energías renovables (excluida la energía hidroeléctrica) en la industria energética mundial continúa con una tendencia alcista, favorecida por una fuerte expansión de la energía solar y eólica. Las fuentes de energía renovable que participan en la generación de energía alcanzaron casi el 13 % en 2021, más que la participación de la energía nuclear (9,8 %). La proporción de carbón en la industria energética aumentó ligeramente de 35 % a 36 % en 2021, pero aún por debajo de los niveles de 2019. La participación de la producción de gas en 2021 se mantuvo cerca de su nivel promedio desde hace 10 años. (bp, 2022)

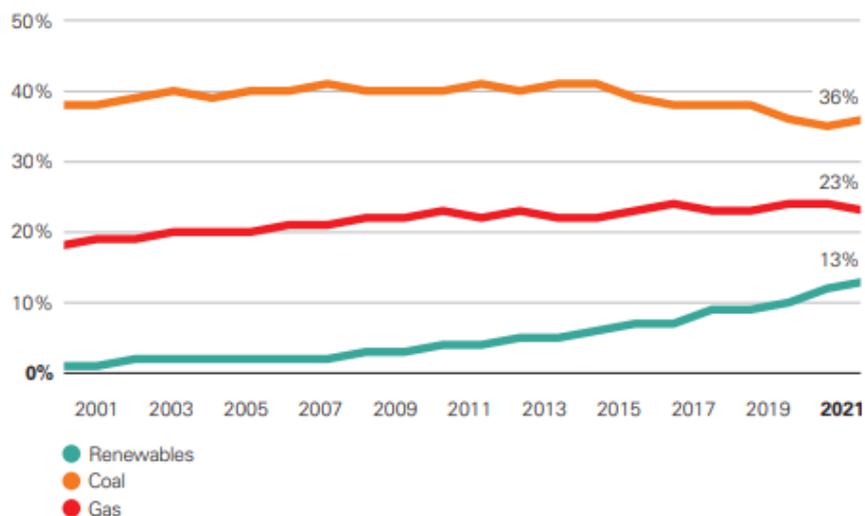


Figura 2.- Evolución de las fuentes de energía a nivel mundial. (bp, 2022)

Por otro lado, en la siguiente Imagen 3, se puede ver el origen de la energía en España durante el periodo de enero a noviembre de 2021. El origen de energía renovable supone un 46,7 %.

Estructura de la generación de enero a noviembre de 2021

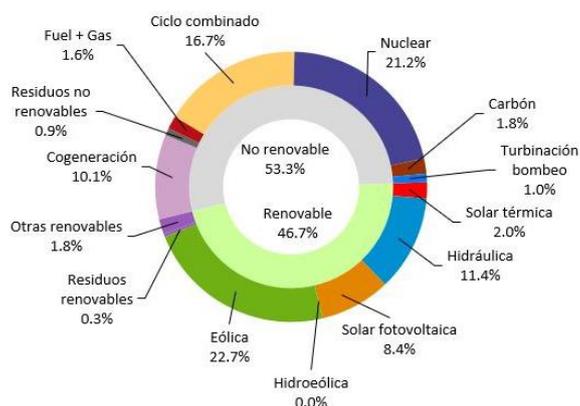


Figura 3.- Estructura de la generación de energía de enero a noviembre de 2021 (Red eléctrica de España, La demanda de energía eléctrica de España asciende un 4% en noviembre, 2021).

Para poder analizar la producción de energía mediante fuentes renovables en más profundidad, se ha recurrido a la base de datos de la CNMC (*Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia*) donde se encuentra el documento “Información mensual estadísticas sobre producción de energía eléctrica a partir de renovables, cogeneración y residuos”. En este informe se cuantifica la producción de energía eléctrica de diferentes tecnologías en base a la potencia total instalada (54.545 MW).

Como se puede observar, la energía eólica es la tecnología con mayor potencia instalada y supone un 51,27 % de la potencia total instalada.

En la siguiente Tabla 1, se han recogido los datos de potencia instalada por cada tecnología y su porcentaje en cuanto a la potencia total instalada.

Tabla 1.- Potencia instalada por cada tecnología (2021).

| TECNOLOGÍA | POTENCIA INSTALADA (MW) | PORCENTAJE (%) |
|------------------------------|-------------------------|----------------|
| Cogeneración | 5.507 | 10,1 |
| Solar FV | 14.287 | 26,19 |
| Solar TE | 2.299 | 4,22 |
| Eólica | 27.964 | 51,27 |
| Hidráulica | 2.145 | 3,93 |
| Biomasa | 1.026 | 1,88 |
| Residuos | 688 | 1,26 |
| Tratamiento de Residuos | 625 | 11,15 |
| Otras tecnologías renovables | 5 | 0,01 |
| TOTAL (2021) | 54.545 | 100 |

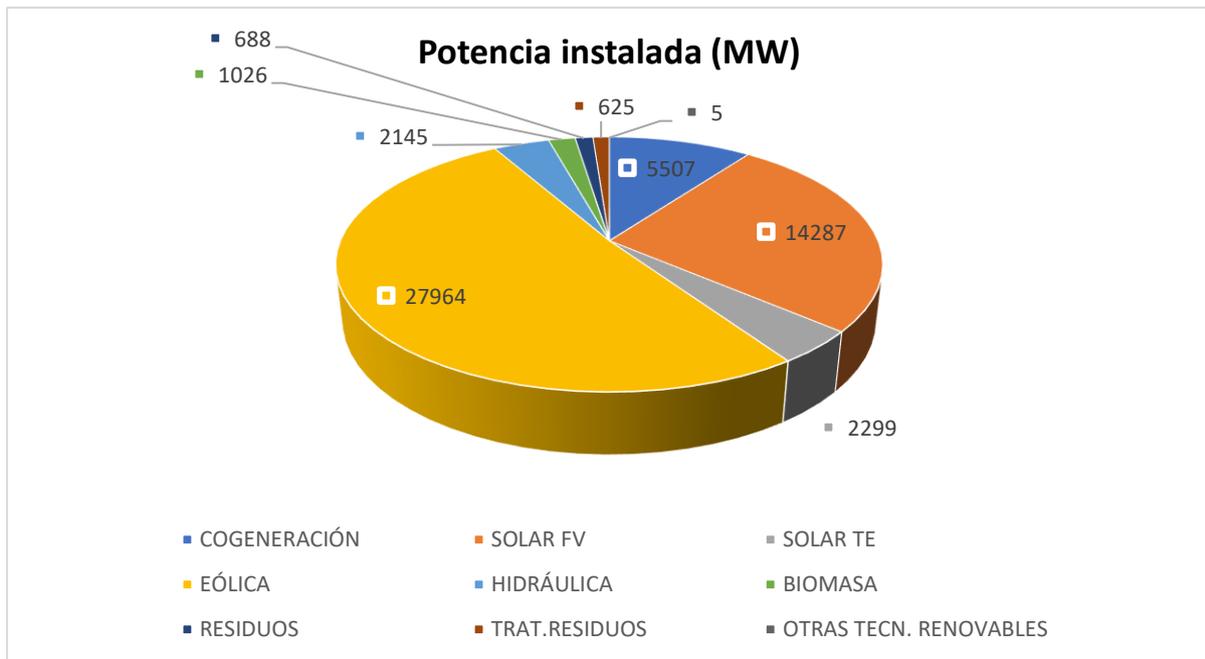


Figura 4.- Potencia instalada de sistemas de producción en España (2021). (CNMC, 2023)

2. CONTEXTO

Como se ha comentado anteriormente, la transición energética es inevitable debido a los problemas ambientales asociados al uso de combustibles fósiles. La creciente demanda energética y la necesidad de un modelo energético sostenible hacen necesario promover y expandir el uso de energías renovables. En la actualidad, la energía eólica ha cobrado un papel protagonista en la transición energética como tecnología líder para contribuir a la reducción de gases de efecto invernadero. Por ello, este trabajo se va a centrar en la energía eólica marina (offshore) y se va a analizar el impacto ambiental que podría provocar una planta de dicha energía.

2.1 ENERGÍA EÓLICA EN EL MUNDO, EN EUROPA Y EN ESPAÑA

A lo largo de la historia de la civilización, el viento ha jugado un papel importante, desde su uso como propulsor de barcos hasta el funcionamiento de molinos de grano para producir harina. Los primeros registros de máquinas eólicas datan del siglo XII. A lo largo de los años, la tecnología eólica ha ido mejorando, hasta la década de 1980, se construyeron muchas turbinas experimentales, pero no se comercializaron. En la década de 1980, se construyeron los primeros parques eólicos en California y, a finales de la década de 1990, la energía eólica se había convertido en una de las principales fuentes de energía renovable sostenible. Hoy en día, es una fuente importante de energía renovable y se ha convertido en un negocio internacional que se extiende más allá de sus mercados originales. (Campello, 2011)

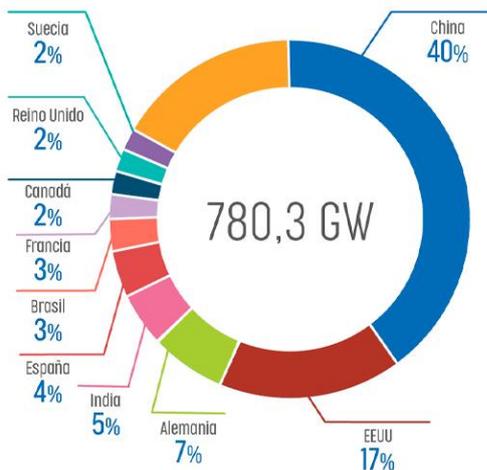
2.1.1 Energía eólica en el mundo

El mercado mundial de la energía eólica ha crecido exponencialmente desde que comenzó su desarrollo masivo en la década de 1980. En las dos décadas entre 1990 y 2010, la energía eólica instalada en el mundo se multiplicó por 50, y las previsiones apuntan que en 2030 habrá en el mundo 10 veces la potencia instalada en 2010 y 20 veces para 2050. (Mártel, 2019)

Según datos del Global Wind Energy Council (GWEC), la energía eólica instalada en el mundo creció en 2021 hasta situarse en 837 GW, ayudando al mundo a evitar más de 1.200 millones de toneladas de CO₂ al año. 2021 ha sido, hasta la fecha, el segundo mejor año de la historia para la industria eólica mundial con 93,6 GW de nueva capacidad instalada, luego de un aumento récord del 1,8 % en 2020. China, Estados Unidos, Alemania, India y España son los principales productores mundiales. (AEE. Asociación empresarial eólica, s.f.)

Ranking de países por potencia terrestre acumulada

Fuente: GWEC



Ranking de países por potencia offshore acumulada

Fuente: GWEC

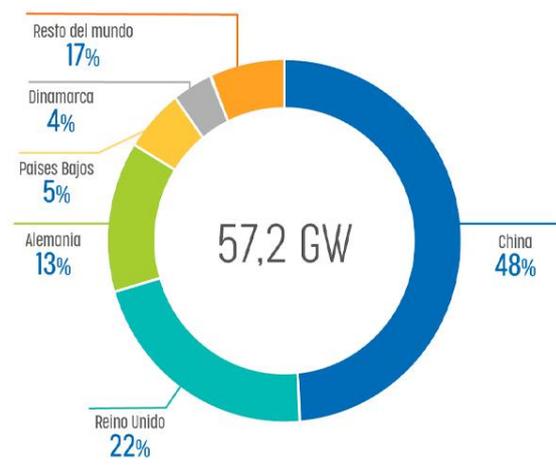


Figura 5.- Ranking de países por potencia acumulada (onshore izquierda; offshore derecha) en 2021. (AEE. Asociación empresarial eólica, s.f.)

2.1.2 Energía eólica en Europa

Europa instaló 19 GW de nueva capacidad de energía eólica en 2022, un 4 % más que en 2021. A su vez, la UE-27 instaló 16 GW, un 40 % más que en 2021, pero aún por debajo de lo que la UE debería estar construyendo para cumplir con sus objetivos de Clima y Energía de 2030. El 87 % de las nuevas instalaciones eólicas en Europa estaban en tierra, siendo Alemania, Suecia y Finlandia las que más construyeron. Casi la mitad de las instalaciones marinas estaban en el Reino Unido.

Según la fuente Wind Europe, se espera que Europa instale 129 GW de nuevos parques eólicos durante el período 2023-2027, y la UE-27 instale 98 GW de esos. (Wind Europe, 2023)

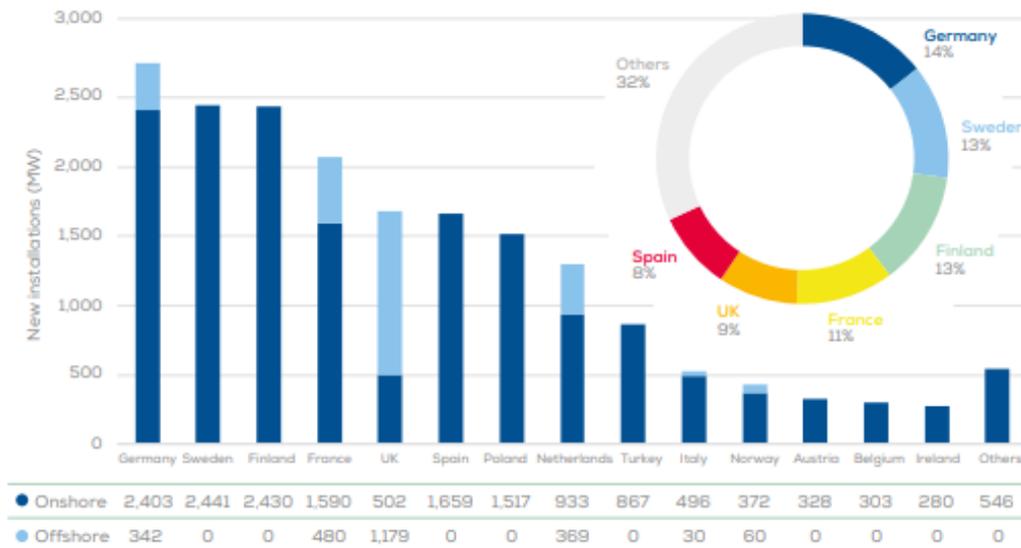


Figura 6.- Nuevas instalaciones eólicas offshore y onshore en Europa en 2022. (Wind Europe, 2023)

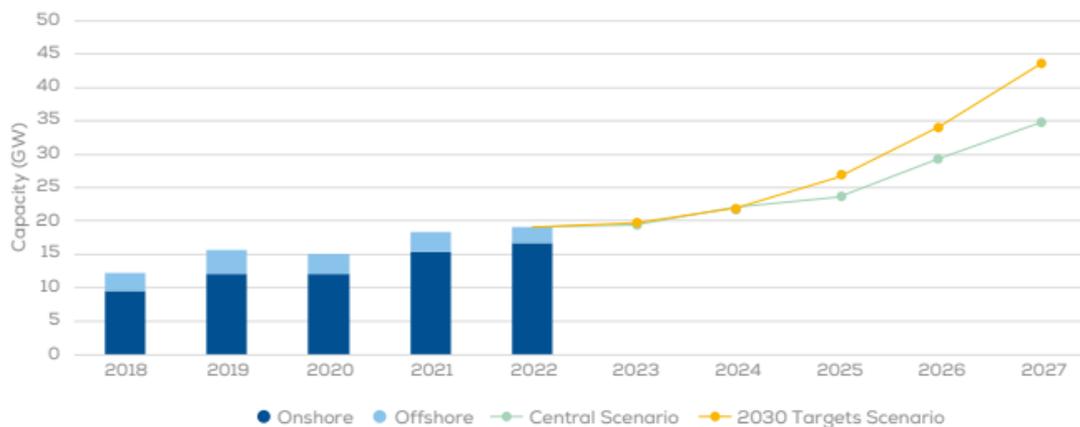


Figura 7.- Nuevas instalaciones eólicas offshore y onshore en Europa para 2023-2027. (Wind Europe, 2023)

2.1.3 Energía eólica en España

Tras analizar la situación europea se va a centrar en los antecedentes españoles. La nueva potencia eólica instalada en España supone el 8 % del total en Europa. España se sitúa como sexto país en el ranking de países que mayor potencia eólica instalada en Europa en 2022, por detrás de Alemania, Suecia, Finlandia, Francia y Reino Unido. Además, es el segundo país europeo con más potencia eólica instalada (el 12% del porcentaje total), por detrás de Alemania (con más de 66 GW), Reino Unido (29 GW), Francia (21 GW), Suecia (15 GW) y Turquía (12 GW). (Wind Europe, 2023)

La potencia eólica instalada en España alcanzó los 29.813 megavatios (MW) en 2022, con 1.670 MW más que supusieron un crecimiento de un 100 % más que el año anterior, aunque inferior al ritmo de incremento anual de 2.500 MW fijado en el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC), según datos de la Asociación Empresarial Eólica (AEE).

En el país se incorporaron 46 nuevos parques eólicos y 395 nuevos aerogeneradores en 2022, alcanzando una cifra total de 1.345 instalaciones eólicas y 22.042 aerogeneradores. Esto

convierte a España en el segundo país europeo con más potencia eólica instalada, el 12 % del total, solo por detrás de Alemania.

Sin embargo, para alcanzar el objetivo de PNIEC de suministrar un 34 % de electricidad para 2030, la energía eólica necesita la instalación de 500 aerogeneradores al año (en total 4.000), con lo que la ocupación total del territorio de aerogeneradores y sus infraestructuras supondrá el 0,021 % de la superficie terrestre total del país. (El periódico de la energía, 2023)

La energía eólica es una tecnología clave en el mix energético por su aportación a la cobertura de demanda y la primera por potencia instalada. En términos de energía final, la energía eólica es la fuente de energía autóctona más importante de España. Además, durante el último año, la energía eólica ha sido un factor clave para evitar que la factura eléctrica de España suba al ritmo de otros países, ahorrando a los ciudadanos españoles más de 8.252 millones de euros en su factura eléctrica.

Evolución anual y acumulada de la potencia instalada en España

Fuente: elaboración AEE

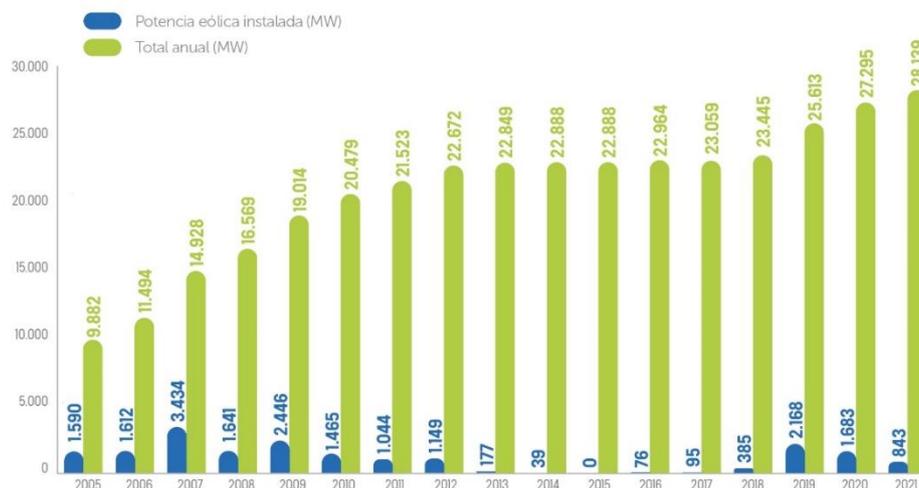


Figura 8.- Evolución de la potencia eólica anual y acumulada instalada en España. (AEE. Asociación empresarial eólica, s.f.)

Por último, el sector eólico español calcula que, si se obtiene la financiación necesaria, se instalarán 7,2 GW hasta 2025 y otros 5 GW adicionales hasta 2027 (de los 36 GW que están en tramitación). Se obtendrá un total de 12,2 GW de nueva capacidad eólica para 2027, lo que convierte a España en uno de los mercados más grandes de Europa. Si se logra este ritmo de progreso en los próximos años, se acercará al camino necesario para alcanzar el objetivo actual del PNIEC de alcanzar los 50,3 GW de potencia eólica instalada para 2030. (Wind Europe, 2023)

2.2 ENERGÍA EÓLICA OFFSHORE

Una de las razones esenciales en el crecimiento y desarrollo de la energía eólica es la introducción de parques eólicos offshore. Los aerogeneradores marinos utilizan los mismos recursos eólicos que los terrestres, pero existen algunas diferencias entre ellos, principalmente el medio. Las primeras propuestas de parques eólicos offshore aparecieron en la década de los 70, pero su producción efectiva comenzó en 1990, cuando se instalaron las primeras turbinas

de 220 kW de potencia en el Mar Báltico, en Suecia. Por otro lado, el primer parque eólico offshore fue construido en Dinamarca en 1991 conocido como Vineby Offshore Wind Farm, que se constituía de 11 aerogeneradores de 450 kW cada uno. En total, 4,95 megavatios de potencia que hicieron realidad la posibilidad de aprovechar la energía eólica marina. (Munguía, 2018)

Actualmente, los parques eólicos marinos están ubicados en aguas poco profundas y lejos de las costas, rutas de navegación, estructuras estratégicas navales y áreas protegidas.

2.2.1 Ventajas y desventajas de la energía eólica offshore

Los parques eólicos offshore proporcionan una fuente de energía limpia y renovable que aprovecha la fuerza del viento en zonas alejadas de la costa, donde la velocidad del viento es mayor y más constante.

En cuanto a las ventajas de esta tecnología se puede destacar que es una energía renovable y limpia y no emite gases de efecto invernadero (GEI), por lo que contribuye a la lucha contra el empeoramiento del efecto invernadero y cambio climático. Además, tiene un bajo impacto visual y acústico ya que están situados en alta mar, lejos de la costa. Esta tecnología se puede construir en tierra y llevarlo a su ubicación mediante transporte marítimo. Por otro lado, pueden producir una mayor cantidad de energía en comparación con la eólica onshore ya que en alta mar el viento no encuentra barreras y por lo tanto su fuerza es mucho mayor.

En cuanto a las desventajas, esta tecnología tiene un elevado coste de implantación y mantenimiento. Esto se debe principalmente por el tipo de cimentación que necesita y la difícil accesibilidad a los parques debido a las condiciones marinas. Además, se requieren cables de servicio extra pesado para fijar las plataformas flotantes en su lugar y soportar el movimiento de las olas, los cuales suponen un elevado coste. Además, produce impactos negativos en la industria pesquera. (Cursos energía renovables, s.f.)

2.3 LA EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL

La evaluación de impacto ambiental (EIA) es un procedimiento para evaluar los impactos ambientales de proyectos, actividades y obras. En dicho análisis se evalúan los siguientes factores: la población, la salud humana, la flora, la fauna, la biodiversidad, la geodiversidad, la tierra, el suelo, el aire, el agua, el clima, el cambio climático, el paisaje, los bienes materiales y el patrimonio cultural. Es un concepto que aparece en EE. UU. y se introduce en la legislación europea en 1985. Supone un instrumento para la preservación de los recursos naturales y la defensa del medio ambiente y establece un procedimiento jurídico-administrativo para proyectos, actividades y obras. La EIA requiere la elaboración de un análisis o EsIA (Estudio de Impacto Ambiental), un estudio técnico interdisciplinar para predecir, identificar, valorar y corregir los efectos ambientales de las acciones de un proyecto. La legislación nacional de referencia en la actualidad es la Ley 21/2013 de 9 de diciembre, de Evaluación Ambiental.

De acuerdo con la Ley 21/2013, existen dos tipos de evaluación de impacto ambiental:

- Evaluación de impacto ambiental ordinaria, que se realiza según el procedimiento establecido en los artículos del 33 al 44 de la Ley 21/2013, de 9 de diciembre que tiene una duración máxima de 4 meses. Serán objeto de una evaluación de impacto ambiental ordinaria los proyectos comprendidos en el anexo I y los proyectos sometidos a

Evaluación Ambiental Simplificada, cuando así lo decida caso por caso el Órgano Ambiental o bien cuando así lo solicite el promotor.

- Evaluación de impacto ambiental simplificada que se realiza según el procedimiento establecido en los artículos del 45 al 48 de la Ley 21/2013, de 9 de diciembre que tiene una duración máxima de 3 meses. Serán objeto de una evaluación de impacto ambiental simplificada los proyectos comprendidos en el anexo II y los proyectos no incluidos ni en el anexo I ni en el anexo II que puedan afectar de forma apreciable, directa o indirectamente, a Espacios Protegidos Red Natura 2000.

El procedimiento de EIA se inicia con la solicitud del promotor y finaliza mediante la declaración de impacto ambiental (DIA), pronunciamiento del organismo ambiental, en base al EsIA, en el que se determina la conveniencia o no de realizar la actividad proyectada.

Por último, se realiza el PVA (Programa de Vigilancia Ambiental), un documento que establece un sistema que garantice el cumplimiento de las indicaciones y medidas, protectoras y correctoras, contenidas en el EsIA. (BOE, Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental, 2013)

2.4 NORMATIVA

Los Estudios de Impacto Ambiental actualmente se rigen por normas específicas vigentes que determinan a qué proyectos están sujetos, así como el contenido del EsIA, y el proceso administrativo requerido para implementar el EIA. Esta legislación existe a nivel europeo, nacional y regional y los documentos legislativos más importantes son los siguientes:

2.4.1 Protocolo de Kioto

Fue fundada en 1997 en relación con la necesidad de actuar para limitar el calentamiento global y prevenir el cambio climático. En este acuerdo, los países industrializados se comprometen a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. El Protocolo de Kyoto entró en vigor en 2005, comprometiéndose definitivamente con los países industrializados a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en un 5,2 % para 2012 respecto a los niveles de 1990.

2.4.2 Legislación Europea

- Directiva 2001/42/CE, relativa a la evaluación ambiental de los efectos de determinados planes y programas sobre el medio ambiente.
- Directiva 2004/35/CE, sobre responsabilidad medioambiental en relación con la prevención y reparación de daños medio ambientales.
- Directiva 2006/21/CE, sobre la gestión de los residuos de industrias extractivas y por la que se modifica la Directiva 2004/35/CE.
- Directiva 2009/147/CE, relativa a la conservación de todas las especies de aves que viven normalmente en estado salvaje en el territorio.
- Directiva 2011/92/CE, relativa a la evaluación de las repercusiones de determinados proyectos públicos y privados sobre el medio ambiente.
- Directiva 2014/52/CE, relativa a la evaluación de repercusiones de determinados proyectos públicos y privados sobre el medio ambiente, que modifica la Directiva 2011/92/UE.

2.4.3 Legislación estatal

- Real Decreto 1131/1988, por el que se aprueba el Reglamento para la ejecución del RD Legislativo 1302/1986 de EIA.
- Ley 9/2006, sobre la evaluación de los efectos de determinados planes y programas en el medio ambiente.
- Ley 27/2006, por la que se regulan los derechos de acceso a la información, de participación pública y de acceso a la justicia en materia de medio ambiente.
- Ley 42/2007, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad.
- Real Decreto Legislativo 1/2008, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de EIA de proyectos.
- Ley 6/2010 de modificación del texto refundido de la Ley de EIA de proyectos, aprobado por el RD Legislativo 1/2008.
- Ley 40/2010, de almacenamiento geológico de dióxido de carbono.
- Ley 21/2013 de Evaluación Ambiental, modificada por la Ley 9/2018. Compuesta por 64 artículos en tres títulos (BOE, Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental, 2013):
 - o TITULO I: principios y disposiciones generales.
 - o TITULO II: disposiciones reguladoras de los procedimientos de evaluación ambiental.
 - o TITULO III: seguimiento y régimen sancionador.

Y 6 anexos:

- o I: proyectos sometidos a evaluación ambiental ordinaria.
- o II: proyectos sometidos a evaluación ambiental simplificada.
- o III: criterios para determinar si un proyecto del AII pasa al AI.
- o IV: contenido del estudio ambiental estratégico.
- o V: criterios para determinar si un plan o programa debe someterse a evaluación ambiental estratégica ordinaria.
- o VI: estudio de impacto ambiental y criterios técnicos.

3. OBJETIVOS Y ALCANCE DEL TRABAJO

El objetivo principal de este trabajo es realizar un análisis de impacto ambiental de un parque eólico offshore.

Para empezar, se escogerá la ubicación del parque y se hará una descripción. Posteriormente, se propondrán diferentes alternativas de mejora del parque eólico y se analizarán mediante distintos métodos con el fin de escoger la mejor de ellas.

Por otro lado, se enumerarán las acciones que se llevarán a cabo en la fase de construcción, operación y desmantelamiento para a continuación evaluar el impacto que puede generar cada acción. Para ello, se seleccionarán los factores ambientales que se van a tener en cuenta al realizar la evaluación. Una vez que los factores y acciones están establecidos, es importante vincularlos para hacer una evaluación cualitativa y cuantitativa y calcular el grado de importancia y de magnitud de cada acción. Después de analizar el impacto generado, se propondrán medidas correctoras para mitigar dicho impacto.

También es importante que el proyecto propuesto sea viable económicamente y para ello se hará un análisis económico mediante la descripción del presupuesto y un análisis de rentabilidad calculando el payback.

4. BENEFICIOS

La creciente demanda energética y la necesidad de un modelo energético sostenible hacen necesario promover y expandir el uso de energías renovables. En la actualidad, la energía eólica ha cobrado un papel protagonista en la transición energética como tecnología líder para contribuir a la reducción de gases de efecto invernadero, que es el principal beneficio de este proyecto.

La tecnología eólica offshore es una energía renovable y limpia y no emite gases de efecto invernadero (GEI), por lo que contribuye a la lucha contra el empeoramiento del efecto invernadero y cambio climático. Además, tiene un bajo impacto visual y acústico ya que están situados en alta mar, lejos de la costa. Por otro lado, pueden producir una mayor cantidad de energía en comparación con la eólica onshore ya que en alta mar el viento no encuentra barreras y por lo tanto su fuerza es mucho mayor. En consecuencia, se instalan aerogeneradores de mayor potencia que producen mayores cantidades de energía.

En resumen, el principal beneficio de este proyecto es la reducción de GEI producidos por las centrales convencionales, mejorando la calidad del aire y beneficiando a la fauna, flora y habitantes de alrededores.

5. DESCRIPCIÓN DE REQUERIMIENTOS

Anteriormente, se ha comentado que, para llevar a cabo cualquier proyecto, hay que realizar un estudio de evaluación ambiental donde la norma estatal básica es la LEY 21/2013.

Según esta ley, en el EIA intervienen los siguientes agentes (Medio ambiente, s.f.):

- Promotor: persona física o jurídica, pública o privada, que solicita una autorización relativa a un proyecto comprendido en la Ley 21/2013.
- Órgano sustantivo: órgano de la administración competente para autorizar los proyectos que deban someterse a EIA.
- Órgano ambiental: órgano de la administración competente para evaluar el impacto ambiental de los proyectos que deban someterse a EIA.

Por otro lado, se ha comentado que existen dos tipos de evaluación ambiental: evaluación ambiental ordinaria y evaluación ambiental simplificada.

El procedimiento de evaluación de impacto ambiental ordinaria sería el siguiente (BOE, Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental, 2013):

1. El promotor del proyecto realiza una solicitud al órgano sustantivo para la determinación del alcance del estudio de impacto ambiental. El plazo máximo para la elaboración del documento de alcance es de dos meses contados desde la recepción de la solicitud del documento de alcance.
2. El órgano ambiental determina el alcance del estudio de impacto ambiental.
3. El promotor del proyecto elabora el estudio del impacto ambiental.
4. El órgano sustantivo realiza el trámite de información pública y de consultas a las Administraciones Públicas afectadas y a personas interesadas. Las administraciones públicas afectadas y las personas interesadas consultadas deberán pronunciarse en el plazo máximo de veinte días hábiles desde la recepción de la documentación.
5. El órgano sustantivo solicita la declaración de impacto ambiental (DIA) al órgano ambiental.
6. El órgano ambiental realiza la declaración del impacto ambiental, informando sobre la conveniencia o no de ejecutar el proyecto y estableciendo medidas correctoras para su ejecución.

El procedimiento de evaluación de impacto ambiental simplificada sería el siguiente (BOE, Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental, 2013):

1. El promotor presentará ante el órgano sustantivo, junto con la documentación exigida por la legislación sectorial, una solicitud de inicio de evaluación de impacto ambiental simplificada, acompañada del documento ambiental.
2. Si el órgano sustantivo comprobara que la solicitud de inicio no incluye los documentos señalados requerirá al promotor para que, en un plazo de diez días hábiles, acompañe los documentos preceptivos, con los efectos previstos en el artículo 68 de la Ley 39/2015, de 1 de octubre, del Procedimiento Administrativo Común de las Administraciones Públicas.
3. El órgano sustantivo remitirá al órgano ambiental la solicitud de inicio y los documentos que la deben acompañar.

4. En el plazo de veinte días hábiles desde la recepción de la solicitud de inicio de la evaluación de impacto ambiental simplificada, el órgano ambiental podrá resolver su inadmisión.

Cabe señalar que cada comunidad autónoma tiene sus propias normas medioambientales, por lo que los requisitos marcados por la legislación nacional pueden ser ampliados. Por lo tanto, puede haber proyectos que no estén cubiertos por la normativa estatal, exigiendo que la EIA se realice en la forma establecida a nivel regional.

6. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

6.1. LOCALIZACIÓN DE LA CENTRAL

Para seleccionar la localización de la planta eólica offshore hay que tener en cuenta diversas consideraciones:

- La naturaleza del recurso eólico

Este factor es el de mayor interés ya que de él depende la viabilidad del parque. En la siguiente imagen se puede ver la disponibilidad del recurso eólico en la península obtenido por Global Wind Atlas. Como se puede observar, las zonas con mayor velocidad del viento y potencia eólica se encuentran en la costa de Girona, en el estrecho de Gibraltar y en Galicia.

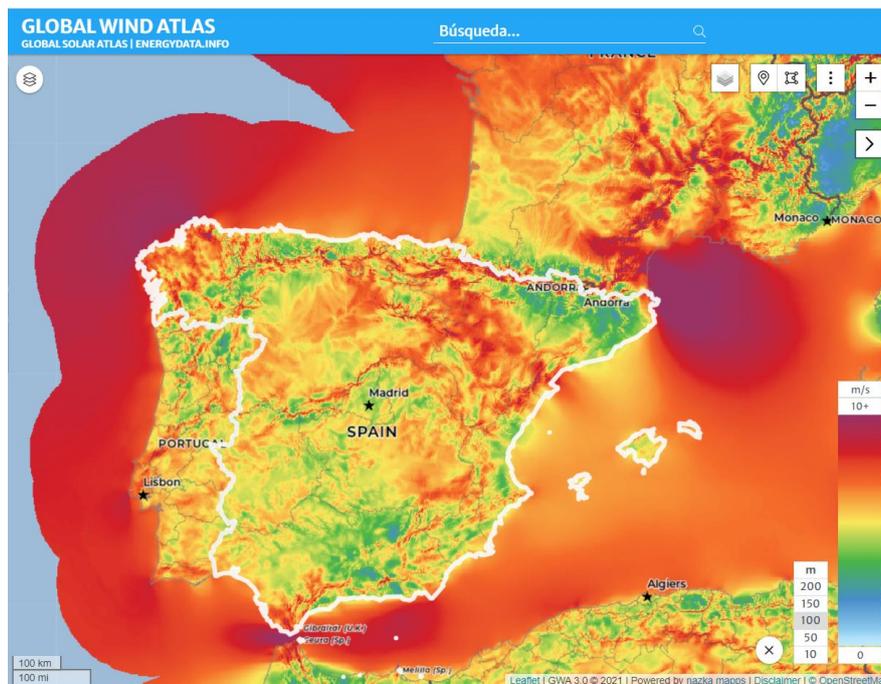


Figura 9.- Mapa de velocidad media del viento en España. (Global wind atlas, 2023)

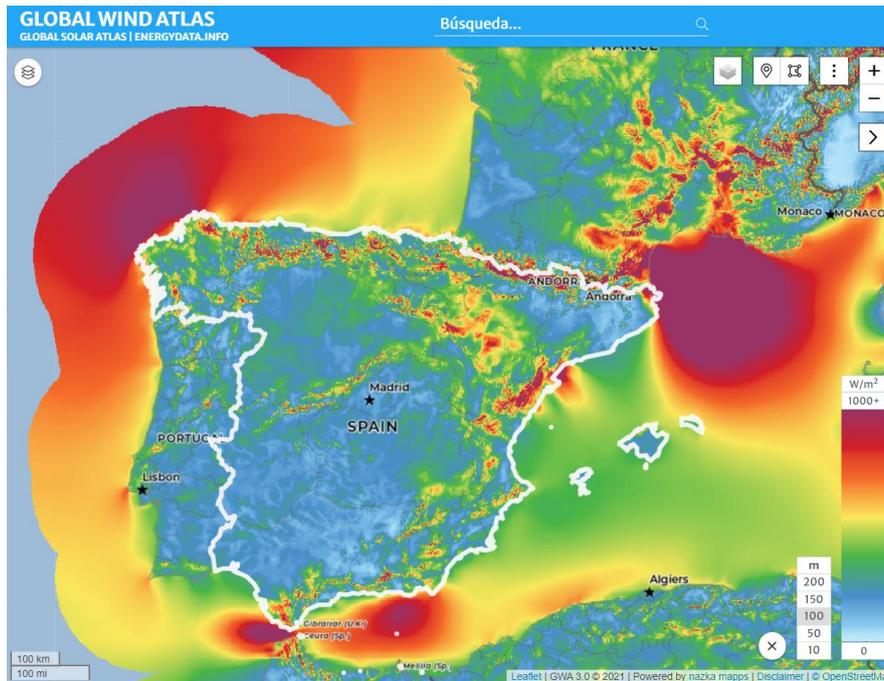


Figura 10.- Mapa de densidad de potencia eólica en España. (Global wind atlas, 2023)

En el PER (Plan de Energías Renovables) se establece que, como mínimo, la velocidad del viento media anual tiene que ser superior a 7,5 m/s a una altura de 80 metros. (Miteco, Plan de energías renovables 2011-2020, s.f.)

- La batimetría y distancia a costa

La batimetría representa la morfología del fondo del mar, midiendo la profundidad. Este parámetro es importante a la hora de realizar una instalación eólica offshore ya que dependiendo la profundidad se utilizarán un tipo u otro de cimentación. El PER establece que la distancia mínima a la costa deberá ser de 8 km para que el impacto paisajístico sea mínimo. (Miteco, Plan de energías renovables 2011-2020, s.f.)



Figura 11.- Mapa de la batimetría en España. (Global wind atlas, 2023)

- Puntos de conexión a red de distribución eléctrica

La localización escogida es preferible que este próxima a un punto de conexión a red de distribución eléctrica.

- Espacios protegidos

El emplazamiento debe situarse fuera de los principales espacios protegidos. Según el ministerio para la transición ecológica, en España hay cuatro tipos de espacios marinos protegidos: ZEC (zona especial de conservación), LIC (lugar de importancia comunitaria), ZEPA (zona de especial protección de aves) y AMP (área marina protegida). (Miteco, La red Natura 2000 en España, s.f.)

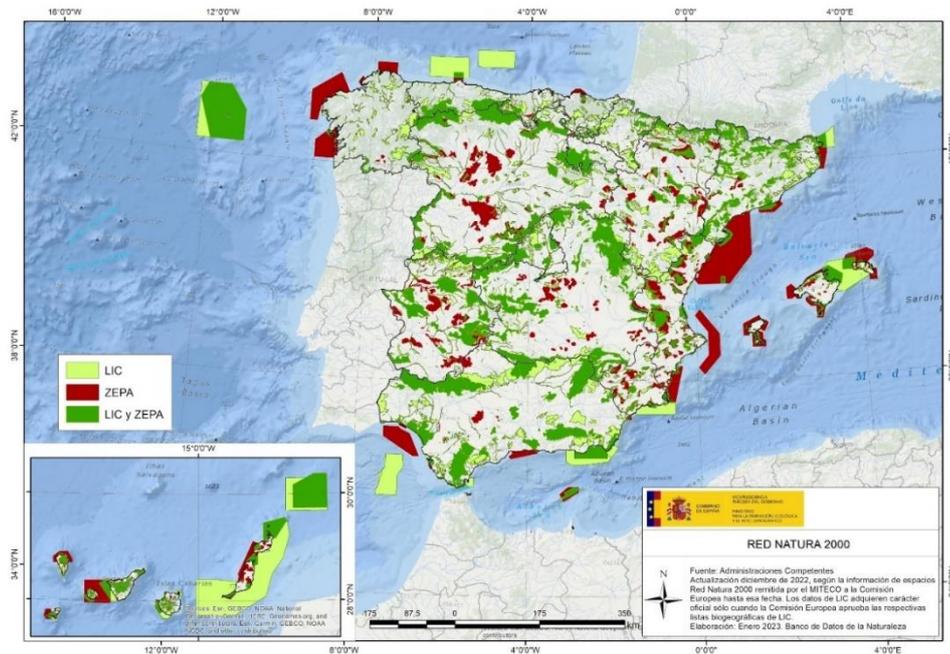


Figura 12.- Espacios Red Natura 2000 en España.

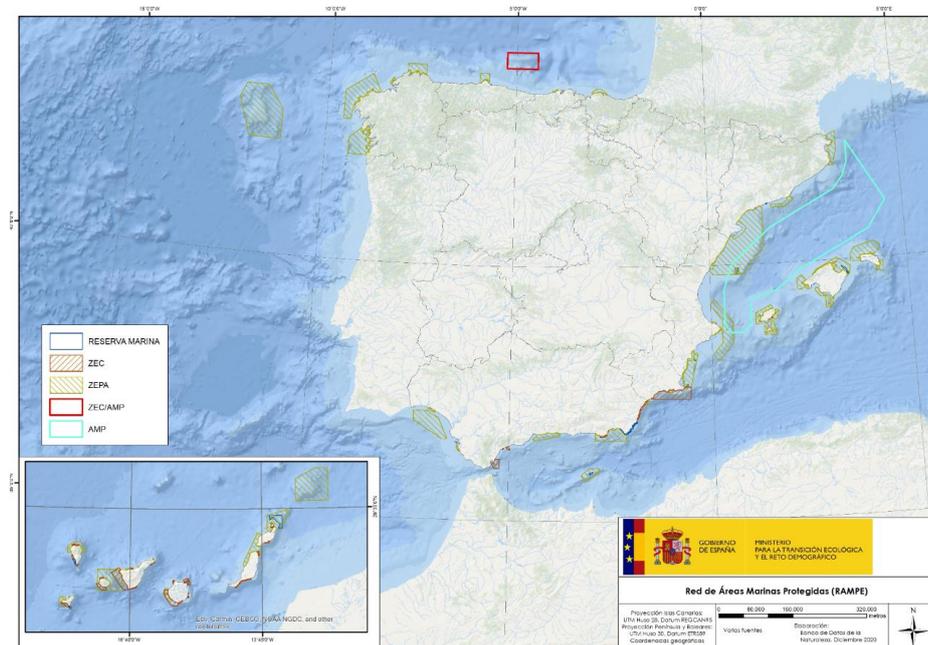


Figura 13.- Red de Áreas Marinas Protegidas (RAMPE) en España.

- Tráfico marino

El emplazamiento escogido no debe afectar a las rutas marítimas para no modificar las rutas de transporte de mercancías en barco.

- Tráfico aéreo

El emplazamiento escogido no debe afectar al tráfico aéreo.

7. SELECCIÓN DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA

7.1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Este proyecto se ha decidido ubicarlo en la costa de Girona ya que tanto en esta ubicación como en las dos ubicaciones mencionadas anteriormente (el estrecho de Gibraltar y Galicia) la velocidad del viento y la densidad de potencia eólica es parecida.

7.1.2 Características del lugar

A partir del puerto Palamós (Girona) se pueden encontrar velocidades de más de 8,7 m/s y a medida que se aleja de la costa se obtienen velocidades de hasta 10,5 m/s, por lo que se cumple el requisito del PER. La densidad de potencia eólica en el nordeste de Cataluña alcanza valores de entre 1000 y 2000 W/m² lo que es un rango óptimo para la producción eólica. En esta ubicación, el viento que sopla es la tramontana, un viento frío y turbulento del noreste o norte que sopla principalmente sobre el noreste de Cataluña y las Islas Baleares.

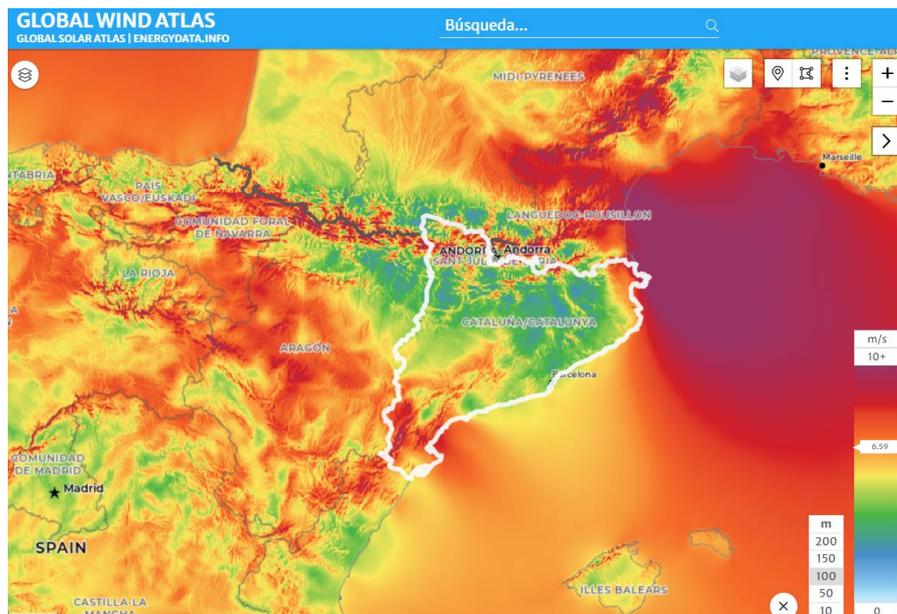


Figura 14.- Mapa de velocidad media del viento en Cataluña (Global wind atlas, 2023).



Figura 15.- Mapa de los principales vientos en España.

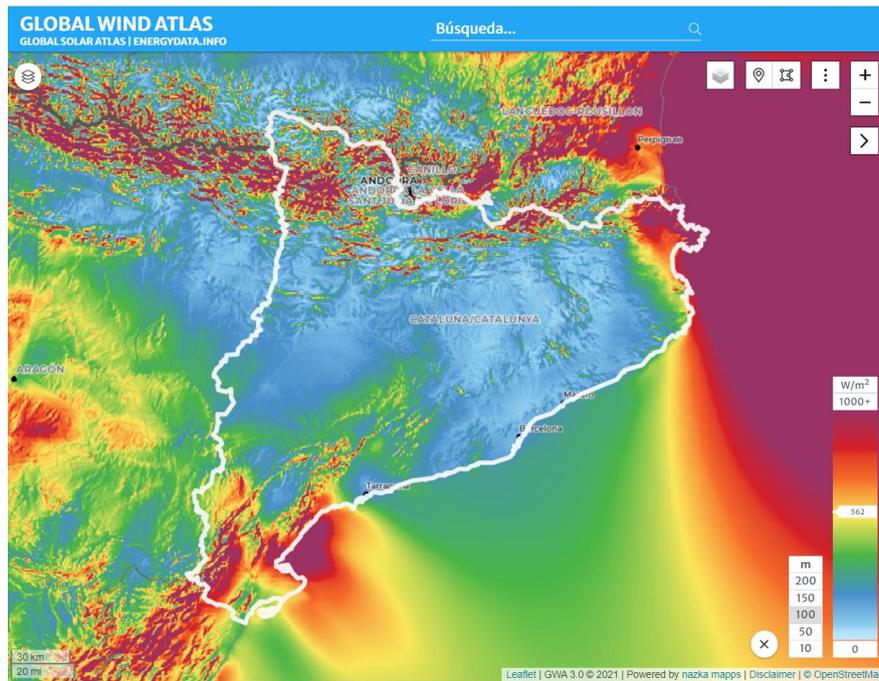


Figura 16.- Mapa de densidad de potencia eólica en Cataluña. (Global wind atlas, 2023)

En cuanto a la batimetría, se puede observar en la siguiente imagen que a medida que se aleja de la costa la batimetría desciende.

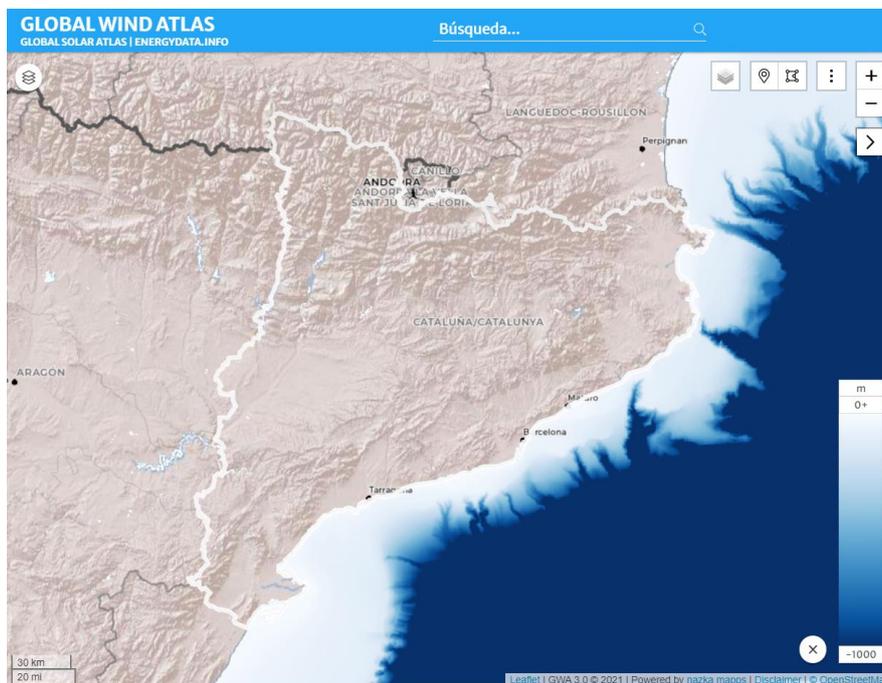


Figura 17.- Mapa de la batimetría en Cataluña. (Global wind atlas, 2023)



Figura 18.- Mapa de la batimetría en Cataluña. (EMODnet Map Viewer, 2023)

En la siguiente imagen se puede observar la red de distribución eléctrica de Cataluña.

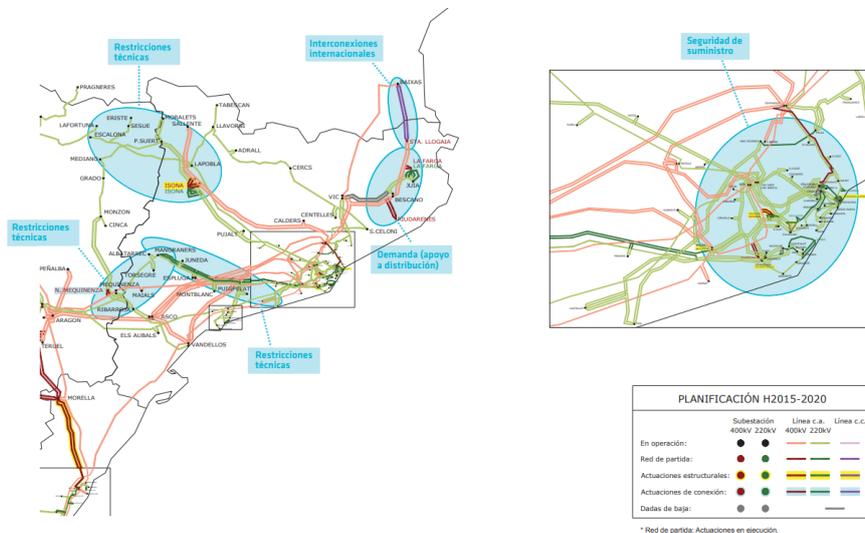


Figura 19.- Red de distribución eléctrica de Cataluña. (Red eléctrica de España, El horizonte de la red eléctrica en España, s.f.)

La red de transporte eléctrica de Cataluña está compuesta por la red de transporte de alta tensión donde se encuentran la línea de 400 kV que une los nodos de Bescanó, La Farga y Santa Llogaia. Ambas subestaciones parecen aptas para recibir la evacuación eléctrica del parque eólico marino.

En cuanto a las zonas protegidas, se puede observar en la siguiente imagen que en la costa de Girona cerca de golf de Roses y alrededores existen zonas protegidas de importancia comunitaria (LIC) y zona de especial protección de aves (ZEPA). Aun así, estas zonas protegidas se encuentran cerca de la costa antes de la isóbata de 200 m y a más de 18 km de la costa no hay ninguna zona de especial protección.

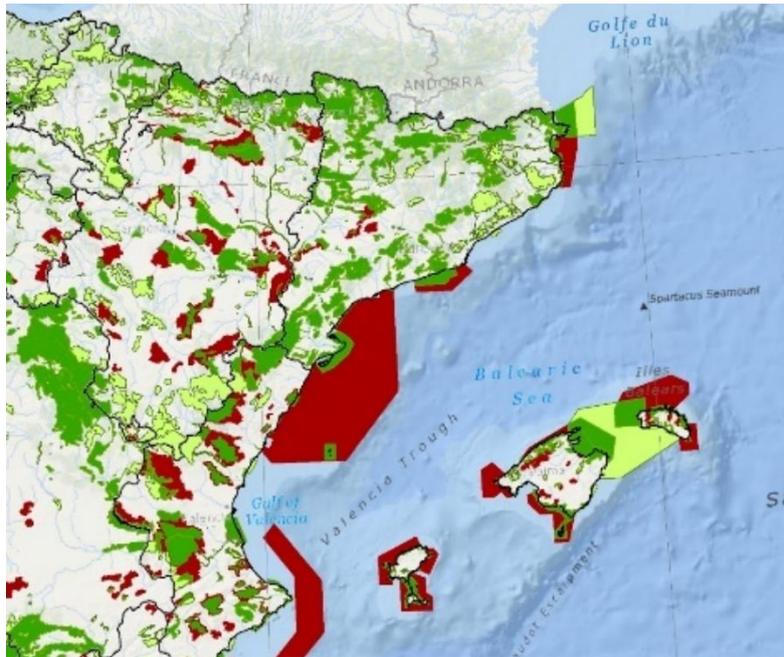


Figura 20.- Espacios protegidos en Cataluña.

En cuanto al tráfico marino, como se puede observar en la siguiente imagen el tráfico aumenta cerca de la costa. A unos 20-30 km de la costa el tráfico marino es menor. Aunque no sea posible evitar todas las zonas pesqueras, es posible limitar el impacto de un parque eólico en esta actividad, ubicándolo en una zona donde el tráfico pesquero es menor.

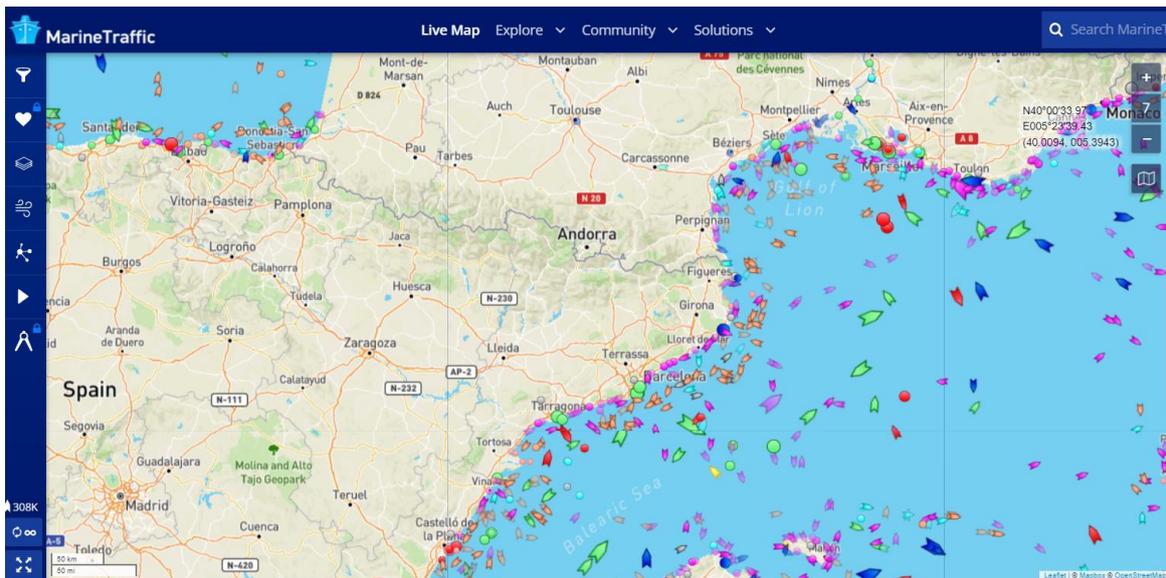


Figura 21.- Tráfico marino en Cataluña. (Marine traffic, 2023)

Como se puede ver en la siguiente imagen, en la zona de la costa están los aeropuertos de Girona, Barcelona y Reus. Para evitar entorpecer el tráfico aéreo, habría que situar la planta eólica suficientemente lejos de la costa.

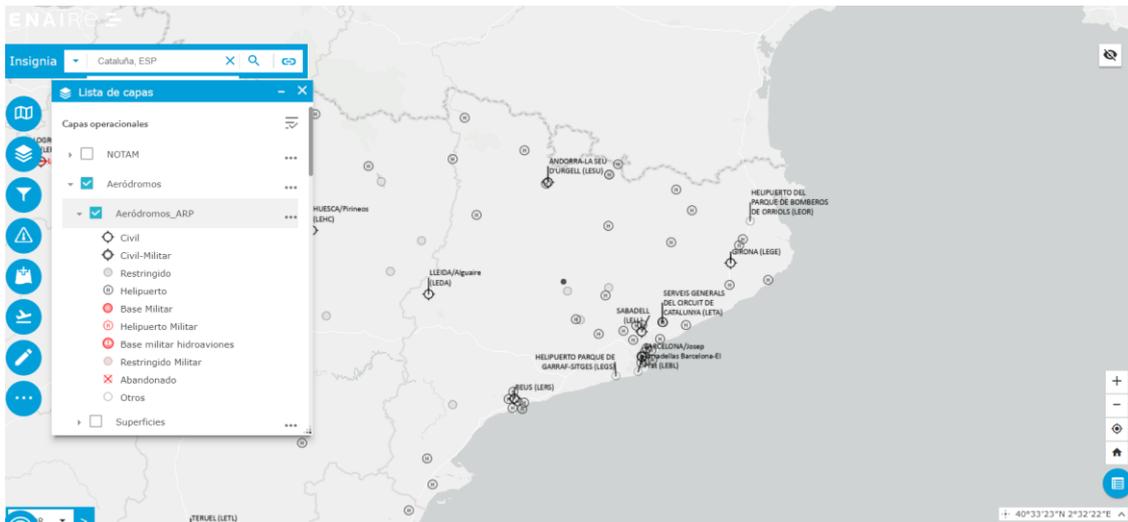


Figura 22.- Tráfico aéreo en Cataluña. (ENAIRES, 2023)

Una vez definida la localización a nivel provincial, se ha determinado el punto exacto en el cual se desarrollará la instalación de la central eólica offshore; que será concretamente en las siguientes coordenadas: 42°09'00.6"N 3°29'47.7"E, entre Cadaqués y Begur, en frente del golfo de Roses. La latitud es de 42.15016895950389° y la longitud de 3.4965663061217°.

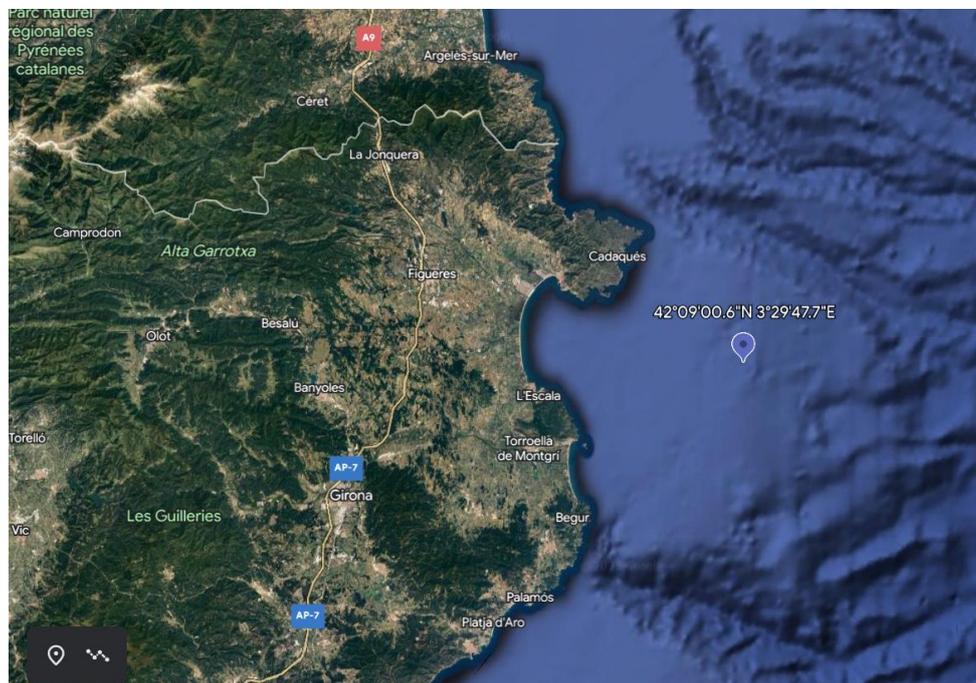


Figura 23.- Localización escogida.

En esta ubicación hay una plataforma continental amplia que se sitúa en la isobata de 200 m a una distancia de entre 20-30 km de la costa. La densidad de potencia eólica a una profundidad de 150-200 m es superior a 1200 W/m² y la velocidad media del viento es superior a 9 m/s, según la base de datos de Global Wind Atlas. Se encuentra fuera de los principales espacios protegidos y está próxima a los nodos de red de transporte de alta tensión (400 kV) de La Farga y Santa Llogaia las cuales se podrán utilizar para la evacuación de la energía eléctrica generada por la planta. Asimismo, no entorpece el tráfico aéreo ni el tráfico marítimo ya que se sitúa suficientemente lejos de la costa para no ser perjudicial.

7.2 DESCRIPCIÓN DE LA CENTRAL

7.2.1 Funcionamiento de un parque eólico offshore

Las fuerzas del viento hacen girar las palas de los molinos de viento, que están diseñados para capturar la mayor cantidad posible de esta energía cinética. Las palas están unidas a la turbina por un buje, que a su vez está conectado a un eje que puede girar libremente a la misma velocidad que las palas (7 a 12 rpm). La multiplicadora aumenta esta velocidad en más de 100 veces y la transmite a un eje de alta velocidad que gira a más de 1.500 rpm. Esta fuerza se transfiere a un aerogenerador donde la energía cinética se convierte en energía eléctrica. De ahí pasa a un convertidor para convertirlo en corriente alterna.

La electricidad producida es de bajo voltaje, por lo que se alimenta a un transformador que eleva la electricidad a medio voltaje (33 kV-66 kV) para que pueda ser transportada mediante cables submarinos. Desde allí, se envía a una subestación, que convierte la energía en electricidad de alto voltaje (más de 150 kV). La electricidad se transporta a través de la red de distribución hasta los hogares. (Iberdrola, Energía eólica marina, s.f.)

7.2.2 Aerogeneradores

El aerogenerador es un generador eléctrico movido por una turbina accionada por el viento. La energía cinética del viento se transforma en energía mecánica a través de la hélice del rotor. La hélice, mediante un sistema mecánico de transmisión, hace girar el rotor de un generador, generalmente un alternador, y la energía mecánica de rotación se convierte en energía eléctrica.

Los principales componentes de un aerogenerador son los siguientes (Energías renovadas, 2012):

- Palas: son las aspas que giran.
- Góndola: habitáculo donde se encuentran los elementos que forman parte del generador eléctrico.
- Caja de engranajes: elemento que recibe la energía procedente de la hélice y la transmite al generador.
- Rotor: es el elemento donde van acopladas las aspas. Transmite la energía generada a la caja de engranajes. La mayoría de los aerogeneradores modernos utilizan rotores de tres palas, ya que el rendimiento a partir de tres palas es muy bajo. Sin embargo, un pequeño número de brazos de rotor genera velocidades más elevadas y, por tanto, aumenta la inestabilidad generando oscilaciones no deseadas.
- Buje: elemento que sujeta las palas y permite que giren con respecto del cuerpo de la turbina.
- Generador: transforma la energía mecánica en energía eléctrica.
- Torre: soporta la góndola y el rotor. Suele tener la misma altura que el diámetro del círculo que hacen sus palas al girar.
- Sistema de control: analiza las condiciones del viento y otras variables para aumentar la eficiencia del aerogenerador.
- Cimentación: elemento que asegura la estabilidad de la torre.

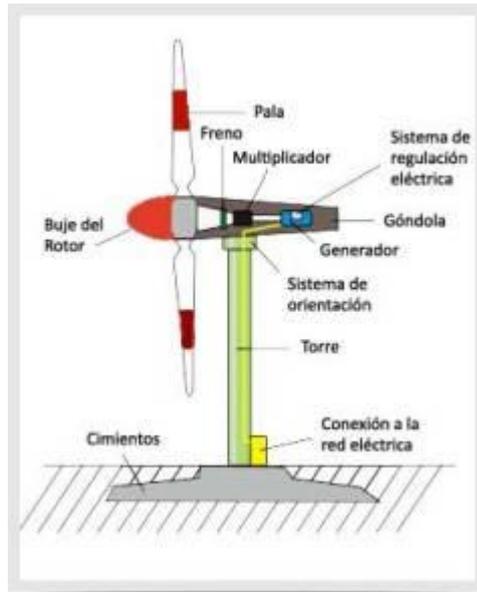


Figura 24.- Partes de un aerogenerador. (Fuentes de energía, s.f.)

Los aerogeneradores offshore funcionan según el mismo principio que los aerogeneradores onshore, adoptando sus diseños técnicos al medio marino. Así, la principal diferencia está en la robustez de estas turbinas para resistir la corrosión, salinidad, humedad y condiciones climatológicas adversas. Durante los años se ha ido aumentando el tamaño de la turbina en altura y área barrida, aumentando, así, su rendimiento máximo.

Según la fuente IRENA, el tamaño medio de las turbinas utilizadas en los parques eólicos offshore aumentó de 3 MW en 2010 a 5,5 MW en 2018. Se espera que las nuevas turbinas puedan lograr potencias de 10-12 MW y los prototipos en desarrollo para los años 2025-2030 logren potencias de 15-20 MW.

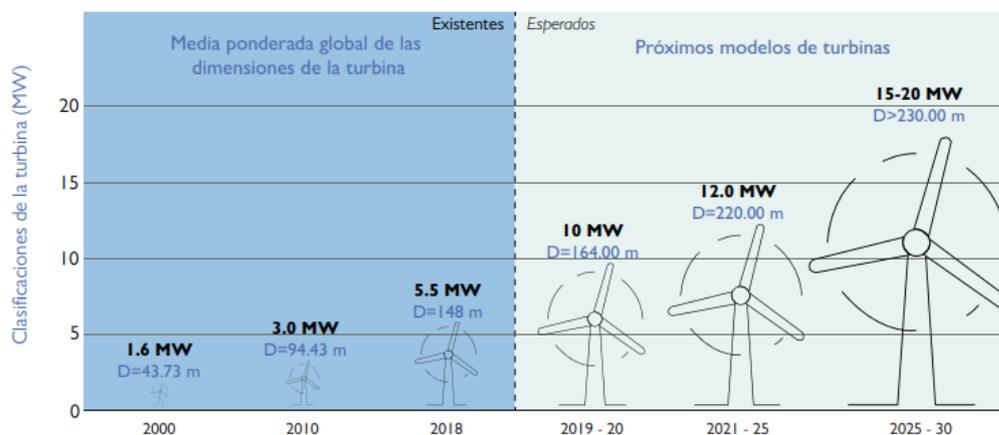


Figura 25.- Evolución del tamaño medio de los aerogeneradores. (Ministerio para la Transición Ecológica y el reto, 2021)

En la siguiente imagen se puede observar los mejores fabricantes de aerogeneradores en el mundo con la capacidad instalada en el año 2021, expresada en GW, según la fuente BloombergNEF. Tanto Vestas, como Goldwind y Siemens Gamesa son los mejores fabricantes.

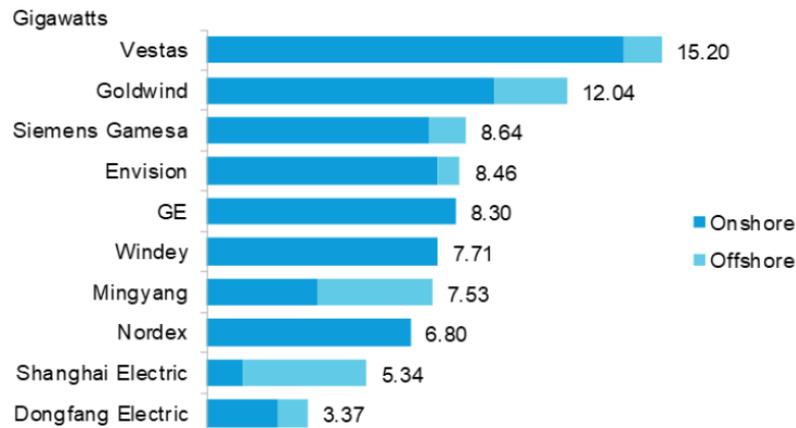


Figura 26.- Los mejores fabricantes de aerogeneradores en el mundo con la capacidad instalada en el año 2021, expresada en GW.

Para escoger el tipo de aerogenerador que se utilizará en este parque eólico offshore se ha hecho una comparativa entre diversos aerogeneradores: dos aerogeneradores del fabricante Siemens Gamesa y uno del fabricante Vestas. El modelo óptimo se consigue teniendo en cuenta la curva de potencia de cada tipo de aerogenerador y la distribución Weibull del emplazamiento, la cual da información sobre la variación del viento en dicha localización.

Tabla 2.- Comparativa de diferentes tipos de aerogeneradores.

| CARACTERÍSTICAS | VALOR | | |
|---|----------------|----------------|------------|
| | Siemens Gamesa | Siemens Gamesa | MHI Vestas |
| Fabricante | Siemens Gamesa | Siemens Gamesa | MHI Vestas |
| Turbina eólica | SG 9.0-167 DD | G128/5000 | V164/9500 |
| Potencia nominal (kW) | 8000 | 5000 | 9500 |
| Diámetro del rotor (m) | 167 | 128 | 164 |
| Clase de viento | IEC S/IB | IEC IIa | IEC S |
| Compatible offshore | sí | sí | sí |
| Área de barrido (m ²) | 21 904 | 12 868 | 21 125 |
| Densidad de potencia (m ² /kW) | 2,74 | 2,58 | 2,23 |
| Número de palas | 3 | 3 | 3 |
| Altura de la góndola (m) | 92 | 94 | 95 |
| Viento mínimo (m/s) | 3 | 2 | 3 |
| Viento nominal (m/s) | 12 | 14,5 | 14 |
| Viento máximo (m/s) | 25 | 27 | 25 |
| Tensión de salida (V) | 690 | 690 | 330-660 |

A continuación, se puede observar las curvas de potencia para cada tipo de aerogenerador y la distribución Weibull del emplazamiento escogido:

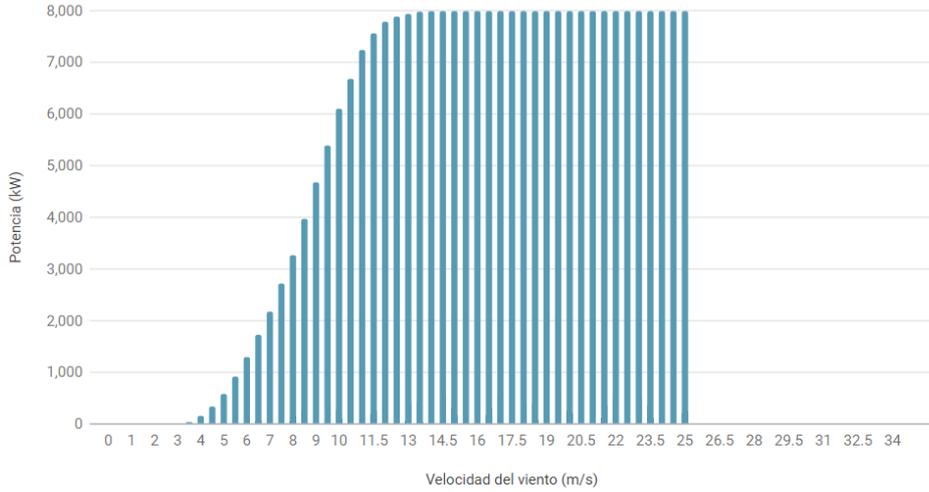


Figura 27.- Curva de potencia del aerogenerador SG 8.0 – 167 DD. (*The Wind Power, Siemens-Gamesa SG 8.0-167 DD, 2023*)

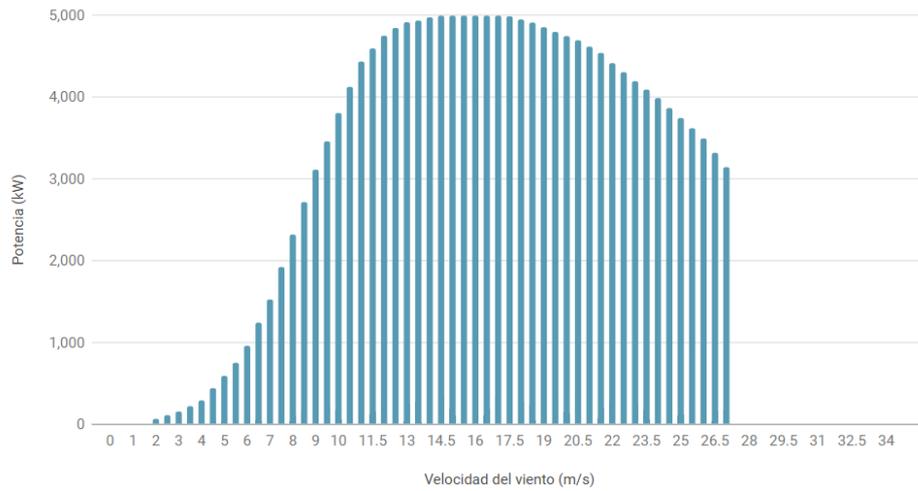


Figura 28.- Curva de potencia del aerogenerador G 128/5000. (*The Wind Power, Gamesa G128/5000, 2018*)

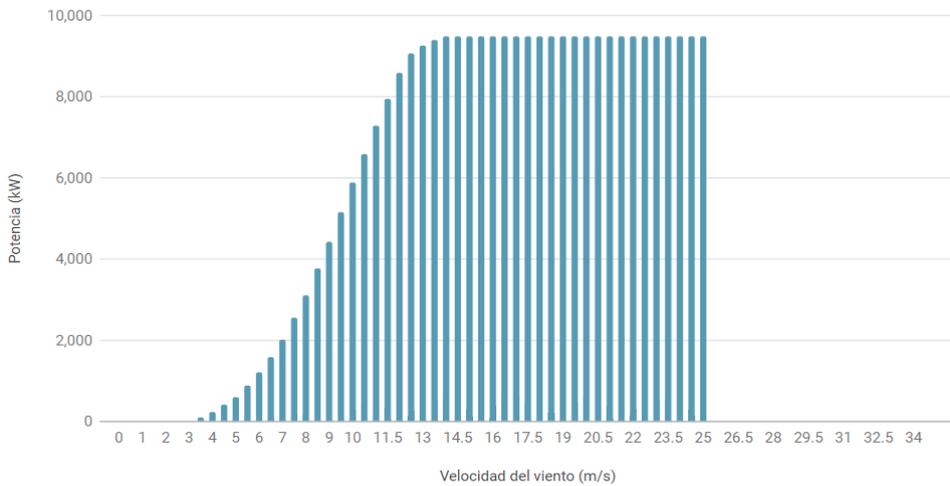


Figura 29.- Curva de potencia del aerogenerador V 164/9500. (*The Wind Power, Vestas v164-9500, 2023*)

Distribución de frecuencias
Ajuste Weibull (A = 9.84, k = 1.64)

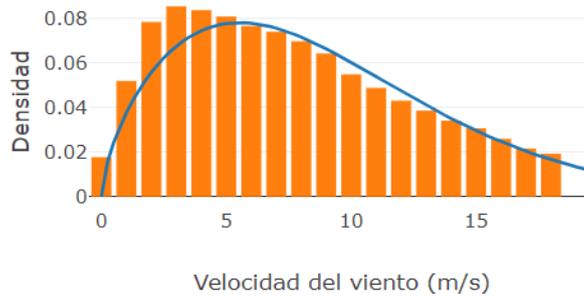


Figura 30.- Distribución Weibull. (CENER, 2023)

Una vez se obtienen los datos de la curva de potencia y la distribución Weibull, se puede calcular la producción de energía anual y el factor de capacidad que es el cociente entre la energía real generada por la central durante un periodo (generalmente anual) y la energía generada si hubiera trabajado a plena carga todo el tiempo. Se busca que el aerogenerador tenga un valor de factor de capacidad más alto posible. Estos cálculos se explican en el apartado 7.3.1 Selección del modelo de aerogenerador y se recogen en la hoja de cálculo del Anexo 1.

Tabla 3.- Factor de capacidad de cada aerogenerador:

| Modelo | CF |
|---------------------------------|-------|
| Siemens Gamesa: SG 8.0 – 167 DD | 0,444 |
| Siemens Gamesa: G 128/5000 | 0,588 |
| MHI Vestas: V 164/9500 | 0,406 |

Como se puede observar, el modelo G 128/5000 es el que mayor factor capacidad obtiene por lo que se escogerá este modelo para este proyecto.

7.2.3 Orientación del parque

Cuando se desea instalar aerogeneradores en una zona, es necesario conocer la frecuencia y la velocidad que presenta el viento en cada una de las direcciones. El modo más habitual para traducir la ley de distribución de la dirección del viento es la rosa de los vientos, ya que nos indica el porcentaje de tiempo en el que el viento sopla desde las diferentes direcciones. Se basa en un diagrama polar, que representa el tanto por ciento de viento con la dirección indicada y, en módulo, su escala de velocidad media.

En la siguiente Imagen 31, se puede observar la rosa de los vientos de la localización del parque. Se puede ver que el viento tiene mayor potencial eólico en Nor-Noroeste (NNW) por lo que los aerogeneradores se deberían colocar en esta dirección.

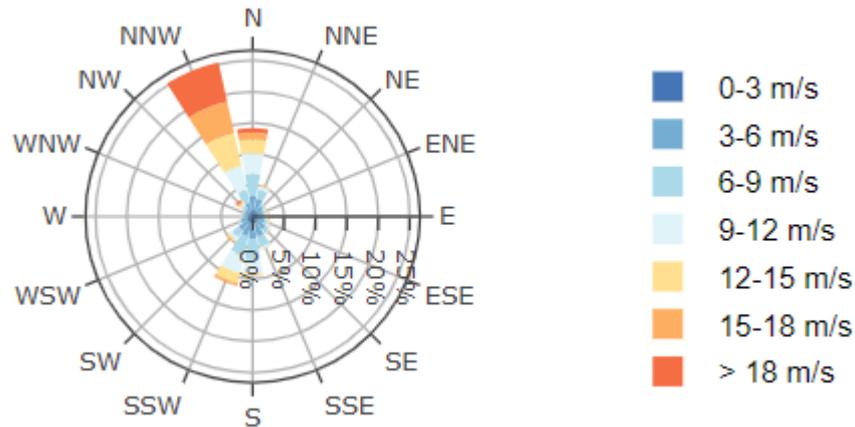


Figura 31.- Rosa de los vientos en la ubicación de la instalación. (CENER, 2023)

7.2.4 Posicionamiento del parque

En este proyecto se quiere instalar un parque eólico offshore de 150 MW. Para calcular el número de aerogeneradores, es necesario tener en cuenta varios factores, como la potencia nominal de cada aerogenerador y la eficiencia del parque eólico.

En este caso se utilizarán aerogeneradores del modelo “Siemens Gamesa G 128/5000”, los cuales tienen una potencia de 5000 kW, es decir, 5 MW, y sus hélices tienen un diámetro de 128 metros.

Una vez se conocen las características de los aerogeneradores que se van a instalar, se ha calculado el número de aerogeneradores que se necesitarán para conseguir una potencia de 150 MW. Por lo tanto, se necesitarán 30 aerogeneradores. Estos cálculos se explican en el apartado 7.3.2 Cantidad de aerogeneradores y posicionamiento.

Es importante tener en cuenta que este cálculo es una aproximación y puede variar según la eficiencia del parque eólico, el tamaño y la potencia nominal de los aerogeneradores disponibles en el mercado, así como otros factores específicos del proyecto. Para obtener una estimación más precisa, se deben considerar los datos técnicos y las características específicas del parque eólico en cuestión.

Para saber la superficie o el área que abarca el parque eólico, hay que tener en cuenta el efecto estela que se produce en los aerogeneradores. El ‘efecto estela’ es el rastro que deja cada turbina donde las velocidades del viento se reducen. El régimen de viento genera turbulencias adicionales a las ya producidas por el terreno, afectando a los aerogeneradores cercanos e incluso a los parques eólicos vecinos. Se trata de un factor importante que se debe valorar en la fase de diseño y construcción de un parque eólico, para evitar las posibles desviaciones que pueda tener la producción, tanto de cada generador de manera individual, como del parque de manera general. (Vector Renewables, 2023)

Debido a este efecto, es necesario que la distancia entre los aerogeneradores colocados paralelamente a la dirección del viento tenga una distancia mayor a diez veces el diámetro del generador, y que la distancia entre los aerogeneradores colocados perpendicularmente a la dirección del viento tenga una distancia mayor a cinco veces el diámetro del generador.

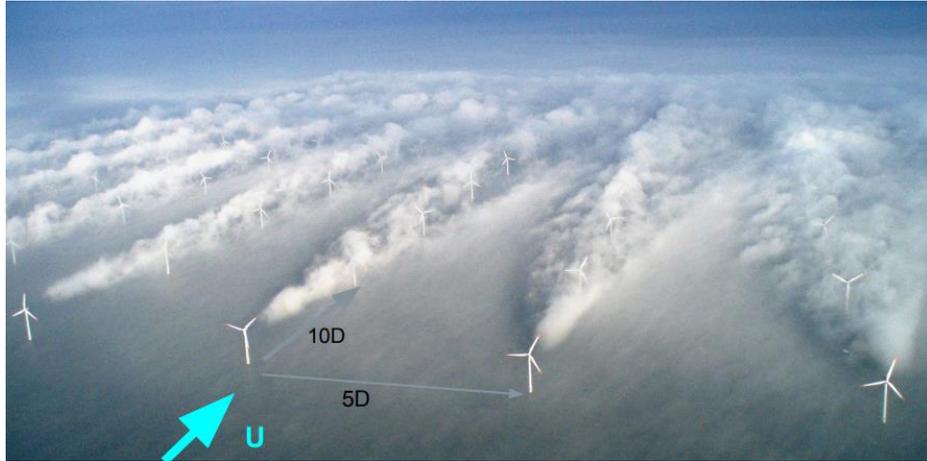


Figura 32.- Distancia necesaria entre aerogeneradores.

Los aerogeneradores utilizados tienen un diámetro de rotor de 128 m y, por lo tanto, la distancia que tiene que haber entre los aerogeneradores en la dirección paralela al viento es de 1280 m. Por otra parte, la distancia que deberán tener los aerogeneradores en la dirección perpendicular del viento es de 640 m. Estos cálculos se explican en el apartado 7.3.2 Cantidad de aerogeneradores y posicionamiento.

Teniendo en cuenta los anteriores resultados, se ha decidido que la disposición de los aerogeneradores sea la siguiente:

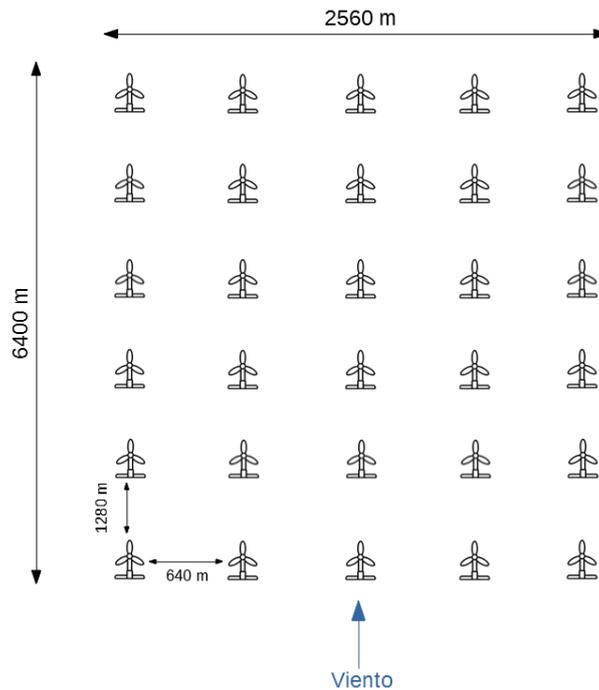


Figura 33.- Esquema del posicionamiento de aerogeneradores.

Por lo tanto, como se puede ver en la imagen 33, el parque eólico ocuparía un área de 6400 m x 2560 m, es decir, 16384000 m² o lo que es lo mismo, unos 1638,4 km².

7.2.5 Cimentación

La cimentación de los aerogeneradores queda oculta a la vista, pero es esencial ya que su objetivo es asegurar la estabilidad de la torre durante toda su vida útil. Se pueden distinguir dos tipos de cimentaciones teniendo en cuenta a la profundidad del mar a la que se encuentra el parque eólico offshore.

7.2.5.1 Cimentación fija

- **Monopilote:** para instalaciones que se ubican por debajo de los 15 metros de profundidad. Son estructuras bastante sencillas compuestas por un grueso cilindro de acero que se clava directamente en el fondo del mar. Llegan a enterrarse hasta 30 metros bajo el fondo del mar para sustentar la torre.
- **De gravedad:** para instalaciones que se ubican a menos o a 30 metros. Consiste en una gran plataforma de hormigón o acero de alrededor de 15 metros de diámetro y un peso alrededor de 1000 toneladas.
- **Jacket:** para instalaciones que se ubican a más de 30 metros de profundidad. Son cimentaciones con una armadura de celosía que incorporan tres o cuatro puntos de anclaje al fondo marino, de forma que aportan más seguridad a la fijación de torres.



Figura 34.- Tipos de cimentaciones fijas. (Iberdrola, Cimentaciones aerogeneradores marinos, s.f.)

7.2.5.2 Cimentación flotante

La eólica offshore flotante se basa en estructuras flotantes en vez de fijas que dan lugar a emplazamientos más alejados de la costa permitiendo aprovechar los fuertes vientos que soplan en las zonas más profundas mejorando, así, el rendimiento energético. Otra de las ventajas de este tipo de cimentaciones es el potencialmente bajo impacto medioambiental y las facilidades de fabricación e instalación ya que se pueden construir y ensamblar en tierra y luego trasladarlos a alta mar. Estas estructuras suelen estar hechas de hormigón, de acero o híbrido sobre la que se instala el aerogenerador y proporciona flotabilidad y estabilidad.

Existen diferentes tipos de cimentaciones flotantes que se escogerán dependiendo de las condiciones del mar y los fondos marinos, los vientos de la zona, el tamaño del aerogenerador, la profundidad de los puertos, las instalaciones de fabricación o la disponibilidad y precio de los materiales y equipos.

- Barge: tiene dimensiones parecidas a las de un barco. El tamaño de manga y eslora (largo y ancho) es mayor al del calado (altura). La plataforma flotante tiene una gran superficie de contacto con el agua, lo que garantiza la estabilidad. Al igual que los barcos, están diseñados para moverse y evitar sobrecargar y tensionar la estructura. Para minimizar estos movimientos, los equipos de perforación suelen estar equipados con placas de apoyo, es decir, superficies por debajo de la línea de flotación.
- Semi-submersible: está diseñado para minimizar el área de superficie en contacto con el agua, pero siempre maximizando el volumen, que es el que realmente desplaza la masa de agua y aporta flotabilidad. Geométricamente, una esfera sería lo ideal (máximo volumen con la menor superficie), pero la fabricación de una esfera no es práctica, por lo que los volúmenes flotantes se dividen en muchos cilindros, tubos verticales (o tuberías paralelas) unidos entre sí por vigas y unidos por varillas para crear una superficie sobre el que instalar las turbinas. Su estabilidad depende de su tamaño y de la distancia entre ellos.
- Spar: en este modelo, la mayor parte del peso se coloca en el punto más bajo para garantizar la estabilidad. La flotabilidad está determinada por la forma del cilindro y la estabilidad por el peso en el punto más bajo. A medida que las turbinas se hacen más grandes, es necesario utilizar cilindros muy largos para compensar el peso, lo que dificulta mucho la fabricación, el transporte y la instalación de este modelo.
- Tensiones legs platform (TLP): Es el modelo más novedoso pero el que mayor riesgo técnico actual tiene ya que la plataforma no flota cuando se instala la turbina sobre ella. El objetivo es mantener el tamaño lo más pequeño posible para reducir los costos de producción. La geometría de estrella con tres, cuatro o cinco brazos ayuda a minimizar el peso de cada brazo para que la base flote sin carga, es decir, sin aerogenerador instalado. Previo al montaje, para evitar que el conjunto vuelque debido a un centro de gravedad elevado, sobre la plataforma TLP se acoplan flotadores temporales y reutilizables, lo que a su vez permite su remolque hasta el sitio de fondeo en alta mar. Una vez llega allí, se conectan cables de acero tensionados y se desconectan los flotadores temporales para ser reutilizados en la siguiente plataforma TLP a instalar.



Figura 35.- Tipos de cimentaciones flotantes. (Iberdrola, Eólica marina flotante, s.f.)

Para este proyecto el tipo de cimentación que se ha escogido teniendo en cuenta que la ubicación de la planta eólica está a unos 200 metros de profundidad es una cimentación flotante semi-submersible.

7.2.6 Sistemas de fondeo (mooring) y sistema de anclaje

El sistema de fondeo es el elemento que fija y conecta de manera flexible la plataforma flotante y el punto de anclaje en el fondo marino. Estos suelen tener cadenas, cables de acero o cables de materiales sintéticos. La elección de uno u otro tipo de ancla depende de la profundidad, tipo de plataforma flotante y condiciones meteorológicas (oleaje, corrientes, viento) (Iberdrola, Eólica marina flotante, s.f.):

- Catenaria: Es la forma que adopta el fondeo o cable cuando no está tensionado y el factor principal para darle forma es su propio peso y es la forma más común. En este caso, los fondeos no se tensionan más allá de la carga que supone su propio peso. Se utilizan en aguas de entre 200 y 350 metros de profundidad y tienen bajo coste.
- Fondeos tensionados o taut mooring: Cuando un fondeo en catenaria se tensiona mecánicamente se busca reducir la huella del fondeo (superficie del fondo marino afectada) y la longitud de cable o cadena usada, y aumentar las restricciones de movimiento de la plataforma flotante.
- TLPs (Tensiones Legs Platforms): Los fondeos de las TLPs son tendones que funcionan de manera distinta a las catenarias tensionadas. Son indicados para grandes profundidades por el ahorro de material que suponen.

Por otro lado, las anclas son los elementos que conectan los fondeos al lecho marino. Existen diferentes tipos (Iberdrola, Cimentaciones aerogeneradores marinos, s.f.):

- Anclas de arrastre (dragging anchors): este sistema soporta la tensión en una dirección.
- Anclas de succión (suction buckets): son estructuras de acero (generalmente cilíndrico) que se encuentran sobre el fondo marino, sometidas a succión creando un diferencial de presión (vacío) y obligándolas a anclarse. Requieren un fondo marino de texturas equilibradas (arena o arena mixta) para funcionar correctamente y no son adecuados para fondos marinos con rocas o granos gruesos.
- Pilotes hincados o perforados (driven or dilled piles): estas son las mismas estructuras que se utilizan en las cimentaciones fijas para sujetar la subestructura al lecho marino. Suelen ser grandes cilindros metálicos huecos que se introducen en el lecho marino (en terrenos rocosos o duros, se requiere taladrar para instalarlos). Estos pilotes requieren de barcos especiales para instalarlos por lo que se genera ruido y sedimentos en suspensión. Por ello, en proyectos eólicos flotantes, su uso se limita a lugares donde las condiciones hagan imposible el uso de otras alternativas.
- Muertos o anclas de gravedad: se trata de enormes estructuras de hormigón que se superponen sobre el fondo marino. Suelen dejar enormes huellas en el fondo marino, por lo que es mejor limitar su uso a situaciones muy concretas y así minimizar el impacto.

Para este proyecto se ha escogido el sistema de fondeo catenaria ya que la central se ubica a unos 200 metros de profundidad y las anclas de arrastre.

7.2.7 Subestación offshore

La electricidad generada por los aerogeneradores se envía a una subestación, que convierte la energía en electricidad de alto voltaje (más de 150 kV).

Inicialmente, las subestaciones tenían altos costos de instalación debido a su gran peso (400 toneladas y hoy en día 10000-22000 toneladas) y era necesario, aparte del barco principal donde se colaba la subestación, barcos auxiliares para transportar las grúas. Sin embargo, hoy en día existen subestaciones “autoinstalables” que minimizan estos costes ya que no se necesitan barcos auxiliares para transportar las grúas. Este tipo de subestaciones se componen de un sistema de gatos y patas hidráulicas que les permite situarse de manera autónoma y automática desde el barco a los cimientos. (Armstrong, 2018)



Figura 36.- Subestación autoinstalable.

7.2.8 Conexión eléctrica

La energía generada por el aerogenerador se transporta a la subestación del parque eólico a través de un cable eléctrico submarino, que se caracteriza principalmente por una capa de protección aislante integrada y una carcasa de metal y plástico que protege el cable de la corrosión en el mar y posibles daños mecánicos durante el tránsito de un barco a otro. Para seleccionar el cable se requiere conocer el oleaje, las mareas y la actividad sísmica de la zona. Estos cables se entierran en el fondo marino entre 1 y 4 metros de profundidad y pueden tener un diámetro de hasta 25 centímetros y pesar alrededor de 100 kilogramos por metro. (González, 2018)

En cuanto a la transmisión de la energía eléctrica se puede hacer en corriente continua o corriente alterna:

- HVDC (High Voltaje Direct Current): las líneas HVDC se utilizan cuando se ha de hacer una conexión entre redes de CA incompatibles. La utilización DC, al ser de tipo monofásica, abarata los costes ya que se utilizan menos longitud de cable que el trifásico de tipo AC. Además, es un control más preciso, mejorando la estabilidad de la red y evitando una caída en cascada del sistema. Se utiliza para el transporte de energía eléctrica a grandes distancias.
- HVAC (High Voltaje three-phase Alternating Current): es un sistema de transmisión ya maduro y bastante estudiado y controlado, lo que aporta seguridad y variedad de solución frente posibles problemas de funcionamiento y adaptación a las instalaciones. Existen dos tipos de cables: el cable trifásico con tres conductores aislados y el cable monofásico que requiere tres cables separados. (Armstrong, 2018)

Por otro lado, la conexión eléctrica se puede realizar mediante las siguiente dos formas:

- El transporte de la electricidad generada por los aerogeneradores se realiza por una línea eléctrica hacia una subestación offshore (subestación ubicada en mar). Esta subestación representa el punto de partida de una nueva línea de transmisión que transportará suministro a otra subestación onshore (subestación de tierra) que es a menudo parte de la infraestructura eléctrica existente.
- El transporte de la electricidad generada por los aerogeneradores se realiza por una línea eléctrica hacia una subestación onshore.

La selección del sistema más adecuado dependerá principalmente de la potencia total la instalación y la distancia al punto de evacuación. Aunque la mayoría de los parques eólicos marinos actualmente en funcionamiento operan bajo el segundo esquema, se espera que, en el futuro, debido a la tendencia a instalar parques eólicos de mayor tamaño ubicadas más lejos de la costa, el primer esquema sea el más utilizado. La razón de esto es que permite el transporte de electricidad a voltajes más altos, con la misma distancia y potencia, lo que conduce a reducir la pérdida de energía relacionada con el transporte. (González, 2018)

En la siguiente imagen se puede ver un esquema de la conexión de un parque eólico a la red eléctrica.

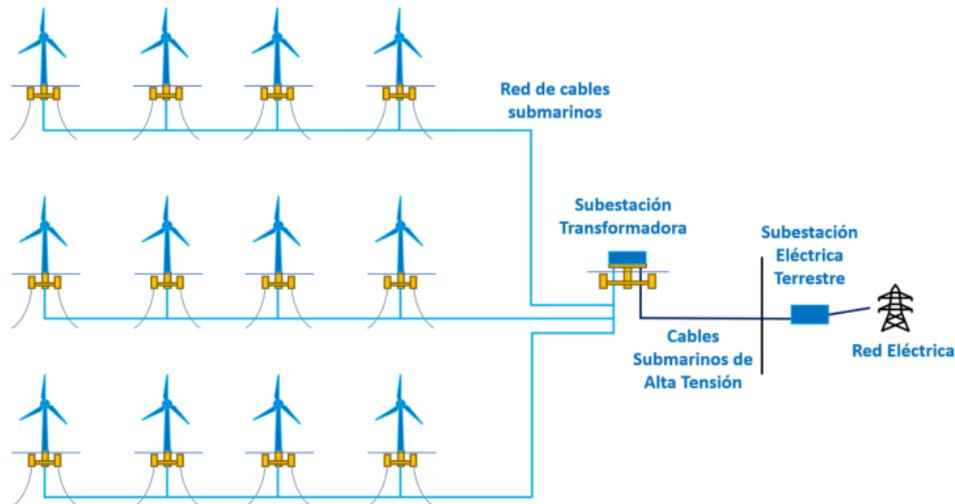


Figura 37.- Conexión de un parque eólico a la red eléctrica (Fuente AEE).

7.3 ACCIONES EN CADA FASE DEL PROYECTO

Para realizar la instalación de una planta de eólica offshore hay que definir las fases del proyecto y sus acciones. Estas fases se clasifican en tres grupos: construcción, operación y desmantelamiento y abandono.

A continuación, se detallarán las acciones que mayor impacto medioambiental genera de cada fase:

7.3.1 Fase de construcción

La fase de construcción es la primera fase del proyecto en el que se llevarán a cabo las acciones para el montaje de la planta. A continuación, se detallan dichas acciones:

- Estudio de viabilidad
- Diseño de la central
- Exploración de terrenos y elección del emplazamiento
- Adquisición del terreno
- Obtención de permisos y licencias de construcción
- Gestión de compras de equipos con plazo de entrega largos
- Contratación del personal de construcción
- Crear y acondicionar carreteras de acceso a la central. Asfaltado y señalización.
- Señalización de seguridad de la planta (carteles de peligro...)
- Obtención de los materiales necesarios
- Transporte del material de obra
- Transporte de equipos
- Excavaciones para la cimentación de aerogeneradores
- Cimentación
- Preparación de plataformas para los trabajos de construcción
- Montaje de aerogeneradores
- Instalación de equipos de medición de datos meteorológicos
- Conexión eléctrica: cableado, línea eléctrica de evacuación, subestación transformadora
- Tratamiento de residuos de la obra
- Vertidos accidentales

- Contaminación acústica: ruido y vibraciones
- Limpieza una vez finalizada la obra
- Empleo

7.3.2 Fase de operación

Una vez finalizada la fase de construcción comienza la fase de operación en el que se darán tareas de funcionamiento de la planta hasta el día de su cierre.

- Contratación del personal
- Puesta en operación de la central
- Mantenimiento de la central: mantenimiento de los aerogeneradores y subestructuras
- Mantenimiento de las líneas o tendidos eléctricos
- Cableado
- Presencia de los aerogeneradores y las infraestructuras eléctricas
- Movimiento de las aspas
- Contaminación acústica: ruidos, vibraciones
- Vertidos accidentales
- Movimiento y funcionamiento de maquinaria
- Gestión de residuos
- Gestión de riesgos
- Control de calidad
- Control de ruido y vibraciones
- Control de emisiones y efluentes
- Alumbrado y balizamiento para navegación marítima y aérea
- Generación de energía renovable
- Empleo

7.3.3 Fase de desmantelamiento y abandono

La última fase es la fase de desmantelamiento y abandono que comienza cuando la central alcanza su vida útil. En esta etapa, se desmantela toda la instalación y se restaura el sitio a su estado original para minimizar el impacto medio ambiental.

Las acciones desarrolladas en esta fase son las siguientes:

- Contratación del personal
- Planificación
- Desconexión de la instalación eléctrica
- Desmontaje y retirada de equipos (aerogeneradores, cimentaciones, cables)
- Desmontaje de la estación de medición
- Desinstalación de los sistemas de seguridad
- Demolición de la planta
- Gestión de residuos
- Transporte de residuos
- Contaminación acústica: ruidos, vibraciones
- Restauración de cimentaciones y suelos
- Restauración vegetal y paisajística
- Desempleo

7.4 RECURSOS

7.4.1 Recursos humanos

La cantidad de trabajadores necesarios en la construcción de una planta eólica offshore puede variar dependiendo del tamaño y la complejidad del proyecto.

Para el correcto funcionamiento de la planta eólica offshore, será necesario un equipo de profesionales altamente capacitado y especializado que sea capaz de asegurar el correcto funcionamiento y mantenimiento de la planta. Se requerirá un equipo de ingenieros para la investigación, diseño, construcción, planificación espacial y mantenimiento de la planta. Estos, podrán ser ingenieros civiles, mecánicos, eléctricos, electrónicos, químicos, entre otros.

En la fase de construcción inicial, se necesitará personal para llevar a cabo actividades como la preparación del terreno en el área costera, la instalación de cimientos o plataformas para las turbinas eólicas y la construcción de infraestructuras marinas como subestaciones y cables submarinos. Esta etapa puede requerir equipos de ingenieros civiles, operadores de maquinaria pesada, soldadores, electricistas, etc. Además, se requerirá un equipo de trabajadores para la instalación de las turbinas eólicas, una vez que se haya completado la infraestructura básica.

Por otro lado, como se necesita realizar un estudio económico para saber el presupuesto de la instalación de la planta, se requieren personas cualificadas para llevarlo a cabo.

Una vez que la instalación se haya puesto en marcha, se necesitará un equipo de técnicos, responsables del mantenimiento y reparación de los equipos y maquinarias de la planta, así como de las labores de monitoreo y control de la planta. El jefe de planta será la persona responsable del liderazgo estratégico y la gestión global de la central eólica offshore.

También será necesario contratar personal de seguridad, responsable de garantizar la seguridad de los trabajadores y de la planta, personal de gestión ambiental, responsable de garantizar el cumplimiento de las normas ambientales y de gestionar los impactos ambientales que puede generar la construcción de la planta eólica offshore, y personal de administración, responsable de la gestión financiera, contable, de compras, recursos humanos y otros aspectos administrativos. Además, habrá un equipo de limpieza para realizar la limpieza de toda la planta.

7.4.2 Grado de aceptación pública

El grado de aceptación pública de las plantas eólicas offshore puede variar dependiendo de diferentes factores, incluyendo la ubicación geográfica, las características del proyecto y el nivel de conciencia y comprensión de la energía renovable por parte de la población.

En general, las plantas eólicas offshore han recibido una creciente aceptación en muchos países debido a sus beneficios ambientales, como la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y la disminución de la dependencia de los combustibles fósiles. Sin embargo, también han surgido algunas preocupaciones y desafíos asociados con estos proyectos.

Una de las principales preocupaciones es el impacto visual de las turbinas eólicas en el paisaje marino, especialmente en áreas costeras y turísticas. En la siguiente imagen se puede ver el impacto visual que generaría un aerogenerador dependiendo de su distancia de la costa según la fuente Iberdrola.



Figura 38.- Impacto visual de un aerogenerador desde la costa.

Además, existen inquietudes relacionadas con el posible impacto ambiental en los ecosistemas y las especies marinos, incluyendo la posible colisión de aves o la interferencia con rutas migratorias. Sin embargo, los estudios y la experiencia han demostrado que se pueden tomar medidas de mitigación para reducir estos impactos, como la ubicación adecuada de los parques eólicos y la implementación de tecnologías que minimicen los riesgos para la fauna marina.

Es importante destacar que la aceptación pública puede variar significativamente según el contexto y la comunidad en particular. Algunas comunidades costeras pueden ver las centrales eólicas offshore como una oportunidad económica, generadora de empleo y desarrollo local, mientras que otras pueden tener más preocupaciones y preferir otros enfoques energéticos.

7.4.3 Cronograma

Para determinar la previsión de los pazos y la cantidad de meses que se van a emplear en la ejecución de las distintas actividades que forman la obra, se ha empleado el diagrama de Gantt. El diagrama muestra un gráfico de barras horizontales ordenadas por actividades a realizar. Estas actividades se vinculan entre sí pudiendo empezar una tras la finalización de la anterior, o empezar varias paralelamente en el tiempo.

En la parte izquierda del diagrama se puede observar las acciones o tareas con sus respectivas fechas de inicio y finalización y su duración previstas. A continuación, a la derecha, se muestra la duración de cada actividad mediante barras horizontales.

Se ha previsto que la duración total de construcción de la obra será de dos años y tres meses. Como se puede observar, el control de calidad, el control del impacto ambiental y la seguridad y salud se realizan desde el inicio de la primera acción hasta la puesta en marcha de la central.

Cabe destacar que este cronograma es un ejemplo y que la duración de cada acción y las fechas de inicio y finalización pueden variar significativamente dependiendo el tipo de proyecto, la tecnología y maquinaria utilizada, etc.

7.5 ALTERNATIVAS Y CRITERIOS

Para realizar el estudio de impacto ambiental, se deben proponer alternativas de mejora y evaluar su influencia medio ambiental, económica y social. Estas alternativas recogen todas las actuaciones conducentes a la construcción del parque eólico.

Las diversas alternativas podrán evitar muchos de los impactos, o, por lo menos, mitigar el daño que pueden causar en el ambiente.

Los modelos generales utilizados en la evaluación de alternativas se basan en el análisis de su comportamiento con diferentes criterios, cuya elección también se basa en las características ambientales del país donde se implementa el proyecto. Es importante subrayar que, entre las diversas opciones, siempre es valiosa la opción cero, que corresponde a la no implementación del proyecto. Los criterios más utilizados para elegir alternativas son:

- Criterios ambientales relacionados con la estructura y funcionamiento del ecosistema, factores y procesos ambientales.
- Criterios ambientales relacionados con la integridad o salud ecológica de los ecosistemas.
- Criterios que reflejan de forma general el impacto ambiental, la aptitud del territorio, la capacidad de acogida y la capacidad de carga.

Asimismo, los criterios deben ser representativos, independientes y fácilmente aplicables.

- Alternativa 0: no actuación

La alternativa 0 o la alternativa de no actuación, es la que consiste en no realizar el proyecto de la planta eólica offshore. Así, no habrá ningún impacto positivo ni negativo y se podrá comparar el impacto ambiental que supone la planta.

- Alternativa 1: Reducir la potencia de la planta

Esta alternativa consiste en reducir la potencia de la planta, es decir, en vez de construir una central de 150 MW de potencia, construir una de 100 MW de potencia.

Actualmente se puede conseguir energía mediante el uso de otras energías renovables por lo que se podría utilizar una potencia menor y aun así habría energía suficiente para abastecer a la población. Utilizando esta alternativa, se reduciría el número de aerogeneradores necesarios de 30 a 20 aerogeneradores y, por consiguiente, se reducirían los costos, y el impacto ambiental que podrían generar.

- Alternativa 2: incorporar aerogeneradores más eficientes

Actualmente las turbinas eólicas offshore están mejorando constantemente en términos de eficiencia y capacidad de generación de energía. Una alternativa de mejora es utilizar turbinas más grandes y eficientes que puedan capturar más energía del viento y generar más electricidad.

- Alternativa 3: integrar tecnologías de almacenamiento de energía

Las tecnologías de almacenamiento de energía, como baterías, pueden capturar el exceso de energía generada y utilizarla cuando la demanda sea alta o las condiciones de viento sean bajas.

Estos sistemas pueden mejorar la estabilidad de la red y aumentar la capacidad de respuesta de la planta a las fluctuaciones en la generación y demanda de energía.

- Alternativa 4: seguir con lo planeado

En esta alternativa se sigue con lo planeado, es decir, la construcción del parque eólico offshore de 150 MW.

7.5.1 Evaluación de alternativas

Las alternativas mencionadas anteriormente se han evaluado siguiendo tres métodos: método de ordenación simple, método de puntuación ponderada y método Electre, para así poder determinar cuál es la más adecuada. Estos cálculos se han hecho en la hoja de cálculo del Anexo 2.

Para realizar la evaluación se han tenido en cuenta tres criterios de ordenación: medio natural, medio social y medio económico, y se han definido diferentes criterios para cada uno de ellos.

- Medio natural
 - N1: Ocupación del terreno
 - N2: Modificación del paisaje
 - N3: Afectación al medio marino y costero
 - N4: Afectación a la fauna y a la flora
 - N5: Clima
 - N6: Producción de residuos sólidos
- Medio social
 - S1: Producción de ruido
 - S2: Aceptación social
 - S3: Impacto visual
 - S4: Tráfico aéreo
 - S5: Tráfico marino
 - S6: Seguridad
- Medio económico
 - E1: Turismo
 - E2: Desarrollo económico
 - E3: Generación de empleo

7.5.1.1 Método de ordenación simple

En este método, para cada criterio las alternativas se colocan en una escala de posición que va desde la alternativa A1 a An ($n = n^{\circ}$ de alternativas), siendo 1 la valoración menos favorable y n la más favorable. A continuación, se suman los valores dados en cada criterio y se compara de mayor a menor, donde la mejor alternativa es la de mayor calificación.

Tabla 4.- Método simple.

| Criterios | A0 | A1 | A2 | A3 | A4 |
|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| N1 | 5 | 1 | 2 | 2 | 2 |
| N2 | 5 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| N3 | 5 | 2 | 2 | 1 | 3 |
| N4 | 5 | 2 | 2 | 2 | 3 |
| N5 | 5 | 2 | 3 | 4 | 2 |
| N6 | 5 | 2 | 3 | 3 | 3 |
| S1 | 5 | 2 | 2 | 3 | 3 |
| S2 | 4 | 3 | 4 | 3 | 3 |
| S3 | 4 | 3 | 3 | 2 | 2 |
| S4 | 4 | 3 | 2 | 3 | 2 |
| S5 | 4 | 3 | 2 | 3 | 2 |
| S6 | 4 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| E1 | 1 | 3 | 4 | 4 | 4 |
| E2 | 1 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| E3 | 1 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| TOTAL | 58 | 41 | 44 | 45 | 44 |

Como se puede observar en la tabla anterior, el orden de mejor a peor alternativas es la siguiente: A0>A3>A2>A4>A1, siendo la alternativa de no actuación la mejor y la alternativa de reducir la potencia de la planta la peor.

7.5.1.2 Método de puntuación ponderada

En este método, para cada criterio, las alternativas se clasifican en una escala de 1 a 5, donde 1 será la peor alternativa y 5 la mejor. Los valores se determinan de acuerdo con la importancia subjetiva de cada término para cada criterio (natural, social y económico). A continuación, para cada criterio se distribuye un total de 100 puntos. Finalmente se comparan las alternativas al igual que en el método simple.

Tabla 5.- Método de puntuación ponderada: ordenación de las alternativas.

| Criterios | % | Peso | A0 | A1 | A2 | A3 | A4 |
|------------------|----------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| N1 | 50 | 5 | 5 | 1 | 2 | 2 | 2 |
| N2 | | 10 | 5 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| N3 | | 9 | 5 | 2 | 2 | 1 | 3 |
| N4 | | 13 | 5 | 2 | 2 | 2 | 3 |
| N5 | | 9 | 5 | 2 | 3 | 4 | 2 |
| N6 | | 4 | 5 | 2 | 3 | 3 | 3 |
| S1 | 30 | 3 | 5 | 2 | 2 | 3 | 3 |
| S2 | | 5 | 4 | 3 | 4 | 3 | 3 |
| S3 | | 4 | 4 | 3 | 3 | 2 | 2 |
| S4 | | 6 | 4 | 3 | 2 | 3 | 2 |
| S5 | | 6 | 4 | 3 | 2 | 3 | 2 |
| S6 | | 6 | 4 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| E1 | 20 | 5 | 1 | 3 | 4 | 4 | 4 |
| E2 | | 8 | 1 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| E3 | | 7 | 1 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| TOTAL | 100 | 100 | 58 | 41 | 44 | 45 | 44 |

La matriz relativa se realiza dividiendo los valores de cada alternativa y cada criterio, con los valores de la alternativa A0.

Tabla 6.- Método de puntuación ponderada: matriz relativa a la alternativa A0.

| Criterios | % | Peso | A0 | A1 | A2 | A3 | A4 |
|------------------|----------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| N1 | 50 | 5 | 1 | 0,2 | 0,4 | 0,4 | 0,4 |
| N2 | | 10 | 1 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,4 |
| N3 | | 9 | 1 | 0,4 | 0,4 | 0,2 | 0,6 |
| N4 | | 13 | 1 | 0,4 | 0,4 | 0,4 | 0,6 |
| N5 | | 9 | 1 | 0,4 | 0,6 | 0,8 | 0,4 |
| N6 | | 4 | 1 | 0,4 | 0,6 | 0,6 | 0,6 |
| S1 | 30 | 3 | 1 | 0,4 | 0,4 | 0,6 | 0,6 |
| S2 | | 5 | 1 | 0,75 | 1 | 0,75 | 0,75 |
| S3 | | 4 | 1 | 0,75 | 0,75 | 0,5 | 0,5 |
| S4 | | 6 | 1 | 0,75 | 0,5 | 0,75 | 0,5 |
| S5 | | 6 | 1 | 0,75 | 0,5 | 0,75 | 0,5 |
| S6 | | 6 | 1 | 0,75 | 0,75 | 0,75 | 0,75 |
| E1 | 20 | 5 | 1 | 3 | 4 | 4 | 4 |
| E2 | | 8 | 1 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| E3 | | 7 | 1 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| TOTAL | 100 | 100 | 15 | 19,35 | 20,7 | 20,9 | 20,6 |

La matriz ponderada se realiza multiplicando el valor del peso con cada alternativa y criterio.

Tabla 7.- Método de puntuación ponderada: matriz ponderada.

| Criterios | % | Peso | A0 | A1 | A2 | A3 | A4 |
|------------------|----------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| N1 | | 5 | 5 | 1 | 2 | 2 | 2 |
| N2 | | 10 | 10 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| N3 | 50 | 9 | 9 | 3,6 | 3,6 | 1,8 | 5,4 |
| N4 | | 13 | 13 | 5,2 | 5,2 | 5,2 | 7,8 |
| N5 | | 9 | 9 | 3,6 | 5,4 | 7,2 | 3,6 |
| N6 | | 4 | 4 | 1,6 | 2,4 | 2,4 | 2,4 |
| S1 | | 3 | 3 | 1,2 | 1,2 | 1,8 | 1,8 |
| S2 | | 5 | 5 | 3,75 | 5 | 3,75 | 3,75 |
| S3 | 30 | 4 | 4 | 3 | 3 | 2 | 2 |
| S4 | | 6 | 6 | 4,5 | 3 | 4,5 | 3 |
| S5 | | 6 | 6 | 4,5 | 3 | 4,5 | 3 |
| S6 | | 6 | 6 | 4,5 | 4,5 | 4,5 | 4,5 |
| E1 | | 5 | 5 | 15 | 20 | 20 | 20 |
| E2 | 20 | 8 | 8 | 40 | 40 | 40 | 40 |
| E3 | | 7 | 7 | 35 | 35 | 35 | 35 |
| TOTAL | 100 | 100 | 100 | 130,45 | 137,3 | 138,65 | 138,25 |

Como se puede observar en la tabla anterior, el orden de mejor a peor alternativas es la siguiente: A3>A4>A2>A1>A0, siendo la alternativa de integrar tecnologías de almacenamiento de energía la mejor y la alternativa de no actuación la peor.

7.5.1.3 Método Electre

Este método consiste en definir los criterios, valorar cada alternativa, A_i , de acuerdo con cada uno de los criterios, asignación de pesos relativos P_{ij} , a cada criterio y el cálculo de la matriz de concordancia C_{rd} y matriz de discordancia D_{rs} , entre cada par de alternativas.

Para realizar la matriz de concordancia entre dos alternativas, A_1 y A_2 , se suman los pesos de aquellos criterios para los cuales la alternativa A_1 es igual o superior a la alternativa A_2 , y se divide por la suma total de los pesos.

$$C_{1,2} = \left(\sum_{i=1}^n P_i \right) \rightarrow \frac{V_{1i} \geq V_{2i}}{\sum_{i=1}^n P_j}$$

El índice varía entre 0 (ausencia absoluta de preferencia de la alternativa, sea cual sea el criterio de valoración elegida) y 1 (preferencia total de la alternativa A_1 sobre la A_2).

Tabla 8.- Método Electre: matriz de concordancia.

| | A0 | A1 | A2 | A3 | A4 |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| A0 | X | 0,8 | 0,8 | 0,8 | 0,8 |
| A1 | 0,69 | X | 0,81 | 0,83 | 0,79 |
| A2 | 0,73 | 0,96 | X | 0,91 | 0,93 |
| A3 | 0,69 | 0,97 | 0,95 | X | 0,95 |
| A4 | 0,69 | 0,94 | 0,93 | 0,93 | X |

La matriz de discordancia entre las alternativas A1 y A2, es la mayor diferencia de puntuación a favor de la alternativa A2.

$$D_{1,2} = \frac{(V_2 - V_1)_{max}}{rango\ de\ la\ escala}$$

Tabla 9.- Método Electre: matriz de discordancia.

| | A0 | A1 | A2 | A3 | A4 |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| A0 | X | 1 | 1 | 1 | 1 |
| A1 | 1 | X | 0,25 | 0,5 | 0,25 |
| A2 | 0,75 | 0 | X | 0,25 | 0,25 |
| A3 | 1 | 0,25 | 0,25 | X | 0,5 |
| A4 | 0,75 | 0,25 | 0,25 | 0,5 | X |

Para realizar la matriz de ordenación, se comparan los valores obtenidos en las dos matrices por pares (entre dos alternativas) y se selecciona la que mayor o igual valor de concordancia y menor o igual valor de discordancia tenga entre ambas. Es decir, se tiene que cumplir la siguiente condición: si $C_{1,2} > C_{2,1}$ y $D_{1,2} \leq D_{2,1} \rightarrow A1$ se prefiere antes de A2.

Tabla 10.- Método Electre: matriz de ordenación.

| | A0 | A1 | A2 | A3 | A4 |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| A0 | X | A0 | A2 | A0 | A4 |
| A1 | X | X | A2 | A3 | A4 |
| A2 | X | X | X | A3 | A4 |
| A3 | X | X | X | X | A3 |
| A4 | X | X | X | X | X |

Como se puede observar en la tabla anterior, el orden de mejor a peor alternativas es la siguiente: $A3 > A4 > A2 > A0 > A1$, siendo la alternativa de integrar tecnologías de almacenamiento de energía la mejor y la alternativa de reducir la potencia de la planta la peor.

En la siguiente Tabla 11, se han comparado todos los resultados obtenidos con los distintos métodos, para así poder sacar una conclusión.

Tabla 11.- Comparación los resultados obtenidos.

| MÉTODO | SOLUCIÓN |
|----------------------|--------------------------|
| ORDENACIÓN SIMPLE | $A0 > A3 > A4 > A2 > A1$ |
| PUNTUACIÓN PONDERADA | $A3 > A4 > A2 > A1 > A0$ |
| ELECTRE | $A3 > A4 > A2 > A0 > A1$ |

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en los tres métodos, se ha decidido que la mejor opción es la A3, es decir, integrar tecnologías de almacenamiento de energía.

Una de las principales desventajas de las fuentes de energía renovables es que dependen de los fenómenos atmosféricos para generar electricidad. El problema es que, por su propia naturaleza, son todos impredecibles y están fuera de nuestro control. Hoy en día, los sistemas de almacenamiento de energía se ven como un importante futuro aliado de las energías renovables.

El almacenamiento de energía es un pilar fundamental en la transferencia de energía y la descarbonización en las instalaciones eléctricas. Se encarga de almacenar la energía renovable producida para poder liberarla y utilizarla cuando el mercado eléctrico lo demande y durante períodos de baja productividad. De esta manera, actúa como un equilibrio entre la oferta y la demanda, ayudando a estabilizar la red y fomentando aún más el uso de energía verde.

En la siguiente imagen aparecen algunos ejemplos de sistemas de almacenamiento de energético:

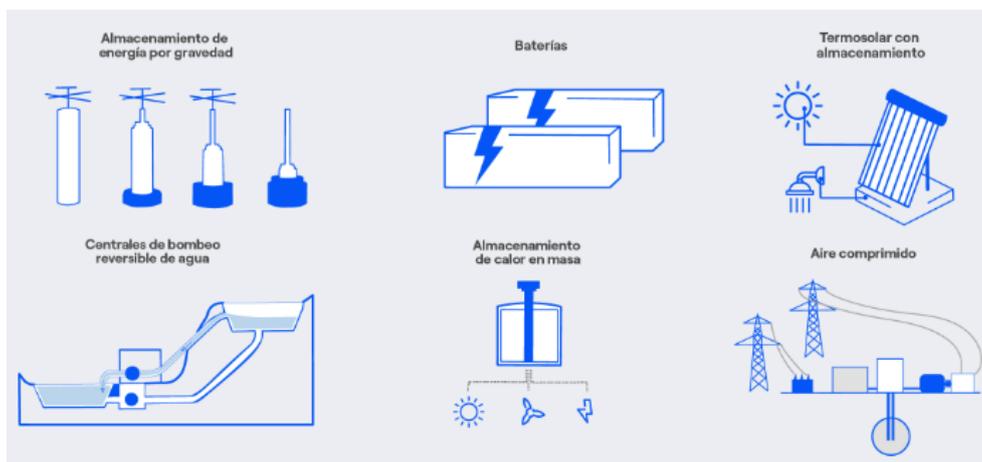


Figura 40.- Sistemas de almacenamiento energético. (Endesa, 2023)

En este proyecto se podrían utilizar baterías como dispositivos para almacenar energía. Son dispositivos en el que se utilizan procedimientos electroquímicos para almacenar la energía. Las baterías se componen de celdas conectadas en serie, en paralelo o en ambas formas. La celda está formada por los electrodos (cátodo, ánodo y electrolito) y separadores.

La energía eléctrica se almacena o libera mediante reacciones electroquímicas que transfieren electrones entre electrodos conectados internamente por electrolitos (soluciones líquidas, polímeros sólidos conductores, geles) para llevar a cabo reacciones redox (reacción de reducción, ganancia de electrones y reacción de oxidación, pérdida de electrones). Es un proceso en el que los componentes no se consumen, sino que solo se modifica su nivel de oxidación. Estos elementos pueden volver a su estado original en determinadas circunstancias. Existen diferentes tipos de baterías como baterías de ión-litio, baterías de plomo-ácido, baterías de sodio-sulfuro, baterías de redox de vanadio, entre otras. (Romero, s.f.)

7.6 FACTORES AMBIENTALES

Los factores ambientales son los distintos componentes del Medio Ambiente entre los cuales se desarrolla la vida en nuestro planeta. Pueden ser modificados por las acciones humanas, en ocasiones, provocando grandes alteraciones que pueden ocasionar graves problemas generalmente difíciles de valorar. (Vicente Cruz Mínguez, 2009)

En un mismo entorno hay factores que contribuyen mucho a la calidad ambiental considerados del entorno y otros que contribuyen poco. Por esta razón, a los factores ambientales se les asigna un peso relativo, es decir, se ponderan. Para ello se considera que el entorno tiene una total de 1000 unidades de importancia relativa y se reparten entre los factores afectados. En este caso los factores afectados son los siguientes:

Tabla 12.- Factores ambientales afectados.

| | | |
|---|--|---|
| SUBSISTEMA FÍSICO NATURAL | MEDIO INERTE | Aire Clima. Condiciones climáticas Tierra-suelo Medio marino y costero |
| | MEDIO BIÓTICO | Vegetación o flora Fauna Procesos del medio biótico |
| SUBSISTEMA PERCEPTUAL | MEDIO PERCEPTUAL | Paisaje intrínseco Intervisibilidad |
| SUBSISTEMA POBLACIÓN Y POBLAMIENTO | USOS DEL SUELO RÚSTICO | Uso recreativo al aire libre |
| | CARACTERÍSTICAS CULTURALES Y RELACIONES ECONÓMICAS | Características culturales |
| SUBSISTEMA SOCIO ECONÓMICO | POBLACIÓN | Estructura poblacional |
| | ECONOMÍA | Actividades y relaciones económicas |
| SUBSISTEMA NÚCLEOS E INFRAESTRUCTURA | INFRAESTRUCTURA Y SERVICIOS | Infraestructura no viaria |

Son varias las técnicas que se han desarrollado para poder realizar un proceso evaluativo. Para el estudio de la planta eólica offshore se van a utilizar las siguientes técnicas, donde participan 9 panelistas y los resultados se recogen en la hoja de cálculo del Anexo 3.

7.6.1 Método de ordenación por pares

Se entrega a cada panelista una matriz cuadrada (m x m) con los subfactores a ponderar en filas y en columnas y una tabla con dos columnas: una para la frecuencia absoluta y otra para la relativa.

Se pide a cada panelista que elija de cada par de subfactores el que le aparece más importante y que anote su número en la casilla del cruce, como se puede ver en la tabla 13. Después, se calcula la frecuencia absoluta que cada panelista le ha dado a cada subfactor V_j (Número de

veces que aparece el subfactor en la matriz) y su frecuencia relativa (V_{ij}). Y, por último, se calcula el peso asignado a cada subfactor, P_j , como el promedio de V_{ij} , como se puede ver en la tabla 14.

Siendo 1 subsistema físico natural, 2 subsistema perceptual, 3 subsistema población y poblamiento, 4 subsistema socio económico y 5 subsistema núcleos e infraestructuras.

Tabla 13.- Evaluación por pares de cada panelista.

| | | | | | |
|--------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Panelista 1 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | x | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | | x | 3 | 2 | 5 |
| 3 | | | x | 3 | 3 |
| 4 | | | | x | 5 |
| 5 | | | | | x |
| Panelista 2 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | x | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | | x | 3 | 4 | 5 |
| 3 | | | x | 3 | 3 |
| 4 | | | | x | 5 |
| 5 | | | | | x |
| Panelista 3 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | x | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | | x | 3 | 4 | 2 |
| 3 | | | x | 4 | 3 |
| 4 | | | | x | 4 |
| 5 | | | | | x |
| Panelista 4 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | x | 1 | 1 | 4 | 1 |
| 2 | | x | 2 | 4 | 2 |
| 3 | | | x | 4 | 5 |
| 4 | | | | x | 4 |
| 5 | | | | | x |
| Panelista 5 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | x | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | | x | 2 | 2 | 5 |
| 3 | | | x | 3 | 3 |
| 4 | | | | x | 4 |
| 5 | | | | | x |
| Panelista 6 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | x | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | | x | 3 | 4 | 2 |
| 3 | | | x | 3 | 3 |
| 4 | | | | x | 4 |
| 5 | | | | | x |
| Panelista 7 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | x | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | | x | 3 | 4 | 2 |
| 3 | | | x | 3 | 3 |

| | | | | | |
|--------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 4 | | | | x | 4 |
| 5 | | | | | x |
| Panelista 8 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | x | 1 | 1 | 4 | 1 |
| 2 | | x | 2 | 4 | 2 |
| 3 | | | x | 3 | 3 |
| 4 | | | | x | 4 |
| 5 | | | | | x |
| Panelista 9 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 1 | x | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | | x | 2 | 4 | 5 |
| 3 | | | x | 3 | 5 |
| 4 | | | | x | 4 |
| 5 | | | | | x |

Tras la evaluación por pares realizada por cada panelista, se obtiene la siguiente tabla donde se puede observar la distribución de unidades de importancia ponderal.

Tabla 14.- Clasificación final de los subsistemas y las UIP obtenidas mediante la evaluación por pares.

| | | SUBSISTEMAS | | | | |
|---|---|-------------|-----|-----|-----|-----|
| PANELISTAS | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| Frecuencia f_{ij} | 1 | 4 | 1 | 3 | 0 | 2 |
| | 2 | 4 | 0 | 3 | 1 | 2 |
| | 3 | 4 | 1 | 2 | 3 | 0 |
| | 4 | 3 | 2 | 0 | 4 | 1 |
| | 5 | 4 | 2 | 2 | 1 | 1 |
| | 6 | 4 | 1 | 3 | 2 | 0 |
| | 7 | 4 | 1 | 3 | 2 | 0 |
| | 8 | 3 | 2 | 2 | 3 | 0 |
| | 9 | 4 | 1 | 3 | 2 | 0 |
| Valor relativo asignado al subsistema i V_{ij} | 1 | 0,4 | 0,1 | 0,3 | 0 | 0,2 |
| | 2 | 0,4 | 0 | 0,3 | 0,1 | 0,2 |
| | 3 | 0,4 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0 |
| | 4 | 0,3 | 0,2 | 0 | 0,4 | 0,1 |
| | 5 | 0,4 | 0,2 | 0,2 | 0,1 | 0,1 |
| | 6 | 0,4 | 0,1 | 0,3 | 0,2 | 0 |
| | 7 | 0,4 | 0,1 | 0,3 | 0,2 | 0 |
| | 8 | 0,3 | 0,2 | 0,2 | 0,3 | 0 |
| | 9 | 0,4 | 0,1 | 0,3 | 0,2 | 0 |

| | | | | | |
|-----------------------------|--------|------|--------|------|-------|
| Valor relativo total | 3,4 | 1,1 | 2,1 | 1,8 | 0,6 |
| Valor relativo final | 0,38 | 0,12 | 0,23 | 0,20 | 0,07 |
| Valor en UIP | 377,78 | 122 | 233,33 | 200 | 66,67 |

Como se puede observar, el orden de importancia de mayor a menor será: subsistema físico natural > subsistema población y poblamiento > subsistema socio económico > subsistema perceptual > subsistema núcleos e infraestructuras.

7.6.2 Método de ordenación por rangos

Se entrega a cada panelista (E_i) un listado con los subfactores (m). Se pide a cada panelista que asigne a cada subfactor un rango R_{ij} (desde 0 hasta $m-1$) según la importancia que cree que tiene en el entorno.

Se confecciona una matriz ($m \times n$) con los subfactores en filas y los panelistas en columnas. A continuación, se calcula el peso de cada subfactor sumando todos los rangos que los panelistas le han dado a ese subfactor y dividiendo el resultado por la suma total de rangos, es decir, $[m(m-1)/2] * n$.

En la siguiente tabla se puede ver el orden de importancia mediante el método de ordenación por rangos que sería: medio inerte > medio biótico.

Tabla 15.- Clasificación del subsistema físico-natural y las UIP obtenidas mediante la ordenación por rangos.

| PANELISTAS | MEDIO INERTE | MEDIO BIÓTICO |
|-------------------|---------------------|----------------------|
| 1 | 1 | 0 |
| 2 | 0 | 1 |
| 3 | 0 | 1 |
| 4 | 0 | 1 |
| 5 | 1 | 0 |
| 6 | 0 | 1 |
| 7 | 1 | 0 |
| 8 | 1 | 0 |
| 9 | 1 | 0 |
| Suma | 5 | 4 |
| Valor Rel. | 0,56 | 0,44 |
| Valor UIP | 210 | 168 |

7.6.3 Método de ordenación escalar

Se entrega a cada panelista (E_i) un listado con los m subfactores. Se pide a cada panelista que asigne a cada subfactor un peso P_{ij} (con valores entre 0 y 10) según su importancia en el entorno. El peso asignado a cada subfactor puede repetirse.

Se calcula V_{rij} que es el valor relativo de cada subfactor para cada panelista. Después, se calcula el peso del subfactor como la media del valor relativo de todos los panelistas. Por último, se distribuyen las 1000 UIP de forma relativa.

En la siguiente tabla se puede ver el orden de importancia mediante el método de ordenación escalar que sería: aire > medio marino y costero > tierra-suelo > clima.

Tabla 16.- Clasificación del medio inerte y las UIP obtenidas mediante la ordenación escalar.

| PANELISTAS | AIRE | CLIMA | TIERRA-SUELO | MEDIO MARINO |
|---------------------|-------------|--------------|---------------------|---------------------|
| 1 | 8 | 4 | 7 | 6 |
| 2 | 7 | 5 | 5 | 8 |
| 3 | 8 | 8 | 8 | 7 |
| 4 | 8 | 7 | 7 | 7 |
| 5 | 10 | 8 | 8 | 9 |
| 6 | 8 | 5 | 6 | 6 |
| 7 | 10 | 10 | 9 | 9 |
| 8 | 9 | 9 | 8 | 7 |
| 9 | 7 | 7 | 6 | 7 |
| 1 | 0,32 | 0,16 | 0,28 | 0,24 |
| 2 | 0,28 | 0,20 | 0,20 | 0,32 |
| 3 | 0,32 | 0,32 | 0,32 | 0,28 |
| 4 | 0,32 | 0,28 | 0,28 | 0,28 |
| 5 | 0,40 | 0,32 | 0,32 | 0,36 |
| 6 | 0,32 | 0,20 | 0,24 | 0,24 |
| 7 | 0,40 | 0,40 | 0,36 | 0,36 |
| 8 | 0,36 | 0,36 | 0,32 | 0,28 |
| 9 | 0,28 | 0,28 | 0,24 | 0,28 |
| V. Rel. Tot. | 3 | 2,52 | 2,56 | 2,64 |
| V. Rel. Fin | 0,28 | 0,24 | 0,24 | 0,25 |
| Valor UIP | 59 | 49 | 50 | 52 |

Siguiendo los métodos explicados anteriormente, la repartición entre los factores afectados queda de la siguiente forma:

Tabla 17.- Ponderación final de los factores.

| | | | |
|---|---|-------------------------------------|-----|
| SUBSISTEMA FÍSICO NATURAL | MEDIO INERTE | Aire | 59 |
| | | Clima. Condiciones climáticas | 49 |
| | | Tierra-suelo | 50 |
| | | Medio marino y costero | 52 |
| SUBSISTEMA PERCEPTUAL | MEDIO BIÓTICO | Vegetación o flora | 68 |
| | | Fauna | 75 |
| | | Procesos del medio biótico | 25 |
| SUBSISTEMA PERCEPTUAL | MEDIO PERCEPTUAL | Paisaje intrínseco | 81 |
| | | Intervisibilidad | 41 |
| SUBSISTEMA POBLACIÓN Y POBLAMIENTO | USOS DEL SUELO RÚSTICO | Uso recreativo al aire libre | 181 |
| | CARACTERÍSTICAS CULTURALES Y RELACIONES ECONÓMICAS | Características culturales | 52 |
| SUBSISTEMA SOCIO ECONÓMICO | POBLACIÓN | Estructura poblacional | 111 |
| | ECONOMÍA | Actividades y relaciones económicas | 89 |
| SUBSISTEMA NÚCLEOS E INFRAESTRUCTURA | INFRAESTRUCTURA Y SERVICIOS | Infraestructura no viaria | 67 |

Como se puede ver en la tabla anterior, el factor más afectado sería el uso recreativo del aire libre seguido de la estructura poblacional y las actividades y relaciones económicas. Asimismo, el factor menos afectado sería los procesos del medio biótico, seguido de la intervisibilidad y el clima.

7.7 INVENTARIO AMBIENTAL

El inventario ambiental es la parte donde se analiza la información relacionada con los factores ambientales más importantes, que ayuda a establecer los posibles impactos ambientales durante la ejecución del proyecto. Por lo tanto, este apartado consta de una descripción del medio y del área donde se ha planteado ubicar la central. La ubicación seleccionada se encuentra entre Cadaqués y Begur, frente al golfo de Roses. Por lo que se va a coger como referencia Cadaqués.

7.7.1 Aire

Un factor importante que examinar es la calidad del aire de alrededor. Esta calidad dependerá de diferentes factores, que están clasificadas, de acuerdo con la fuente de emisión predominante en dicha localización, de la siguiente manera: tráfico e industrial.

El índice refleja el impacto potencial de la calidad del aire sobre la salud. Por este motivo, se le asigna la peor categoría en términos de calidad del aire de cualquiera de los contaminantes que se tienen en consideración para su estimación.

El índice de calidad del aire se calcula de acuerdo con el siguiente promedio temporal:

- Para el NO₂ y SO₂: Se utiliza la concentración media de la última hora.

- Para el O₃: Se utiliza la media móvil de las concentraciones de las últimas 8 horas.
- Para PM10 y PM2,5 se utiliza la media móvil de las concentraciones de las últimas 24 horas.

Estos índices se expresan en la siguiente imagen 41 teniendo en cuenta que los valores de todos los contaminantes de la tabla están expresados en µg/m³.

| SO ₂ | | PM2,5 | | PM10 | | O ₃ | | NO ₂ | | CATEGORÍA DEL ÍNDICE |
|-----------------|-----|--------|----|----------|-----|----------------|-----|-----------------|-----|-----------------------------|
| 0 | 100 | 0 | 10 | 0 | 20 | 0 | 50 | 0 | 40 | BUENA |
| 101 | 200 | 11 | 20 | 21 | 40 | 51 | 100 | 41 | 90 | RAZONABLEMENTE BUENA |
| 201 | 350 | 21 | 25 | 41 | 50 | 101 | 130 | 91 | 120 | REGULAR |
| 351 | 500 | 26 | 50 | 51 | 100 | 131 | 240 | 121 | 230 | DESFAVORABLE |
| 501 | 750 | 51 | 75 | 101 | 150 | 241 | 380 | 231 | 340 | MUY DESFAVORABLE |
| 751-1250 | | 76-800 | | 151-1200 | | 381-800 | | 341-1000 | | EXTREMADAMENTE DESFAVORABLE |

Figura 41.- Índices de calidad del aire. (BOE, 2019)

El ozono (O₃) si se respira en grandes cantidades puede provocar una irritación en los ojos, garganta, dolor de cabeza o de pecho.

Las partículas finas son partículas muy pequeñas suspendidas en el aire que tienen un diámetro de menos de 2,5 micras (PM2,5) y menos de 10 micras (PM10). Cuanto más pequeñas sean las partículas, más profundamente pueden desplazarse dentro de los pulmones y pueden causar efectos graves en la salud como enfermedades cardiacas y pulmonares.

El monóxido de carbono (CO) es un gas incoloro, altamente tóxico que puede causar la muerte cuando se respira a niveles elevados.

La inhalación de altos niveles de dióxido de nitrógeno (NO₂) aumenta el riesgo de afecciones respiratorias y provoca tos y dificultad para respirar.

El dióxido de azufre (SO₂) es un gas irritante y tóxico, afecta sobre todo las mucosidades y los pulmones provocando ataques de tos, bronquitis y congestión en los conductos bronquiales.

El índice de calidad del aire incorpora recomendaciones sanitarias para la población en general y para la población sensible, en línea con las recomendaciones sanitarias del índice de calidad del aire europeo. La población sensible incluye tanto a adultos como a niños con problemas respiratorios como a adultos con afecciones cardiacas. Dichas recomendaciones se pueden ver en la imagen 42 de abajo.

| Calidad del aire | Mensajes para la salud | Recomendaciones para la salud | |
|-----------------------------|---|---|--|
| | | Grupos de riesgo y personas sensibles | Población general |
| Buena | Calidad del aire satisfactoria | Disfruta de tus actividades al aire libre de manera normal. | Disfruta de tus actividades al aire libre de manera normal. |
| Razonablemente buena | Calidad del aire aceptable, la contaminación no supone un riesgo para la salud. | Disfruta de tus actividades al aire libre de manera normal. | Disfruta de tus actividades al aire libre de manera normal. |
| Regular | La calidad del aire probablemente no afecte a la población general pero puede presentar un riesgo moderado para los <i>grupos de riesgo</i> . | Considera reducir las actividades prolongadas y enérgicas al aire libre. Las <i>personas con asma o enfermedades respiratorias</i> deben seguir cuidadosamente su plan de medicación. Las <i>personas con problemas del corazón</i> pueden experimentar palpitaciones, dificultad en la respiración o fatiga inusual. | Disfruta de tus actividades al aire libre de manera normal. Sin embargo, vigila la aparición de síntomas como tos, irritación de garganta, falta de aire, fatiga excesiva o palpitaciones. |
| Desfavorable | <i>Toda la población</i> puede experimentar efectos negativos sobre la salud y los <i>grupos de riesgo</i> efectos mucho más serios. | Considera reducir las actividades al aire libre, y realizarlas en el interior o posponerlas para cuando la calidad del aire sea buena o razonablemente buena. Sigue el plan de tratamiento médico meticulosamente. | Considera reducir las actividades prolongadas y enérgicas al aire libre, especialmente si experimentas tos, falta de aire o irritación de garganta. |
| Muy desfavorable | Condiciones de emergencia para la salud pública, la población entera puede verse seriamente afectada. | Reduce toda actividad al aire libre, y considera realizar las actividades en el interior o posponerlas para cuando la calidad del aire sea buena o razonablemente buena. Sigue el plan de tratamiento médico meticulosamente. | Considera reducir las actividades al aire libre, y realizarlas en el interior o posponerlas para cuando la calidad del aire sea buena o razonablemente buena. |
| Extremadamente desfavorable | Condiciones de emergencia para la salud pública, la población entera puede verse gravemente afectada. | Evita la estancia prolongada al aire libre. Sigue el plan de tratamiento médico, en su caso, meticulosamente, y acude a un servicio de urgencias si tu estado de salud empeora. | Reduce toda actividad al aire libre y considera realizar las actividades en el interior o posponerlas para cuando la calidad del aire sea buena o razonablemente buena. Utiliza la protección adecuada para los trabajos que deban ser realizados al aire libre. |

Figura 42.- Recomendaciones sanitarias según el índice de calidad. (BOE, 2019)

En concreto, en Cadaqués, la calidad del aire se considera satisfactoria, y la contaminación del aire presenta un riesgo menor o nulo. Los contaminantes principales son las partículas en suspensión menores a 2,5 micrómetros (PM2.5) y en menor medida, de mayor a menor concentración, se encuentran el ozono (O₃), partículas en suspensión menores de 10 micrómetros (PM10), dióxido de nitrógeno (NO₂), monóxido de carbono (CO) y dióxido de azufre (SO₂). (tu tiempo, s.f.)

7.7.2 Clima. Condiciones climáticas

El emplazamiento de la central eólica offshore se encuentra entre Cadaqués y Begur. A continuación, se va a analizar el clima y las condiciones climáticas en Cadaqués. En Cadaqués, los veranos son cortos, calurosos, húmedos y mayormente despejados y los inviernos son largos, fríos, ventosos y parcialmente nublados. Las temperaturas mínimas son de alrededor de 15 grados entre noviembre y marzo, siendo el mes de enero el más frío con una temperatura media promedio de 5 °C y una temperatura máxima promedio de 12 °C. Sin embargo, el verano es templado con una temperatura máxima diaria de 24 °C. Agosto es el mes más caluroso con una temperatura máxima promedio de 26 °C y una temperatura mínima promedio de 19 °C.

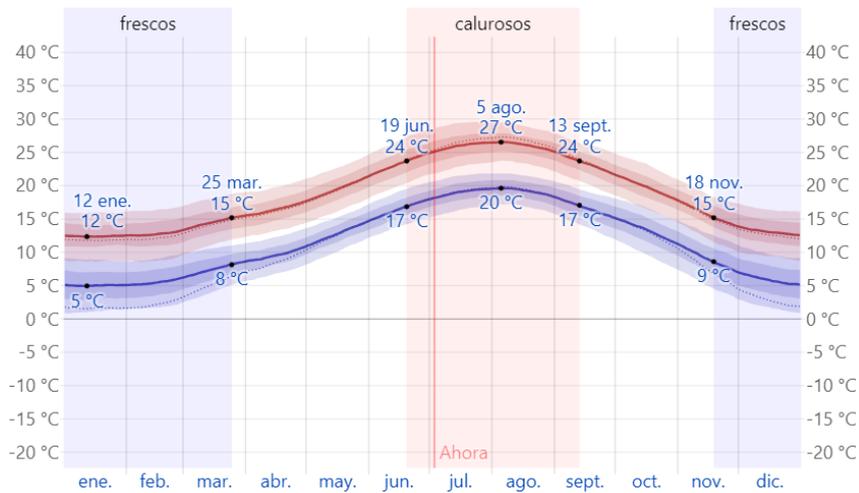


Figura 43.- Promedio mensual de temperatura en Cadaqués. (Weather Spark, s.f.)

Cadaqués tiene una variación considerable de lluvia mensual por estación. El mes en que más llueve es octubre, con un promedio de 70 milímetros de lluvia y el mes con menos lluvia es julio, con un promedio de 19 milímetros de lluvia.

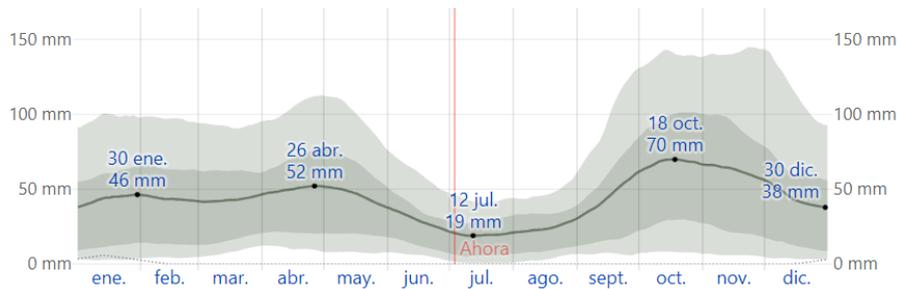


Figura 44.- Promedio mensual de lluvia en Cadaqués. (Weather Spark, s.f.)

Como se puede ver en la siguiente imagen, el promedio del porcentaje del cielo cubierto con nubes varía durante el año. A principios del mes de junio comienza el periodo de menos nubes, con una duración de 2,7 meses y termina a principios del mes de septiembre. El mes de julio es el más despejado. Por otro lado, el periodo más nuboso comienza a principios de septiembre, con una duración de 9,3 meses y finalizando a mediados de junio. El mes más nublado es octubre.

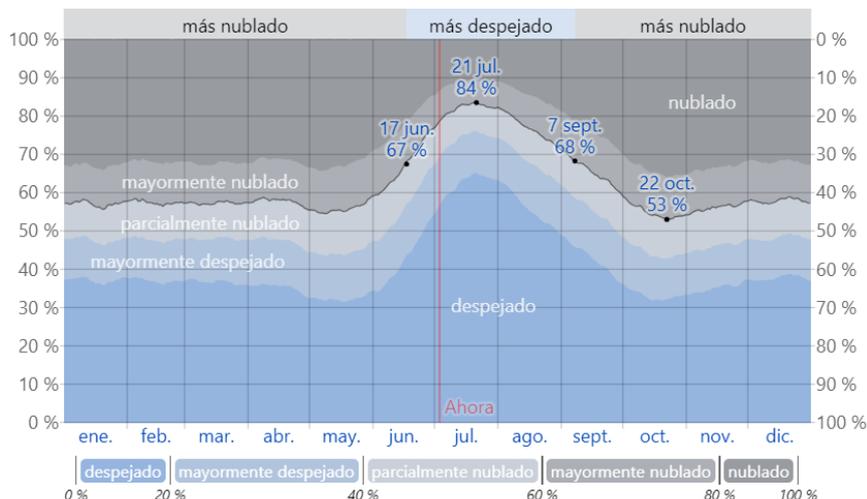


Figura 45.- Promedio mensual de nubes en Cadaqués. (Weather Spark, s.f.)

En cuanto a la precipitación, un día mojado es un día con por lo menos 1 milímetro de líquido.

El periodo más mojado comienza a principios de septiembre y termina a mediados de junio, con una duración de 9,4 meses. El mes más mojado es abril. Sin embargo, la temporada más seca comienza a mediados de junio y finaliza a principios de septiembre con una duración de 2,6 meses. El mes más seco es julio.



Figura 46.- Promedio mensual de precipitación en Cadaqués. (Weather Spark, s.f.)

La velocidad promedio del viento por hora en Cadaqués tiene variaciones estacionales considerables en el transcurso del año.

La parte más ventosa del año dura 6,0 meses, entre los meses de octubre y abril, con velocidades promedio del viento de más de 18,9 kilómetros por hora. El mes más ventoso del año en Cadaqués es diciembre, con vientos a una velocidad promedio de 22,2 kilómetros por hora.

El tiempo más calmado del año dura 6,0 meses, entre los meses de abril y octubre. El mes más calmado del año en Cadaqués es agosto, con vientos a una velocidad promedio de 15,5 kilómetros por hora.

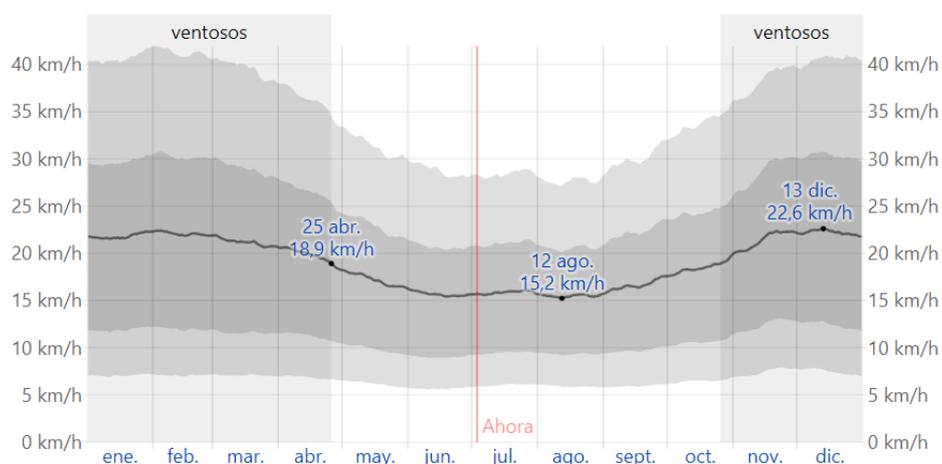


Figura 47.- Velocidad del viento promedio en Cadaqués. (Weather Spark, s.f.)

En la siguiente imagen se puede observar que la dirección del viento promedio por hora predominante en Cadaqués es del norte.

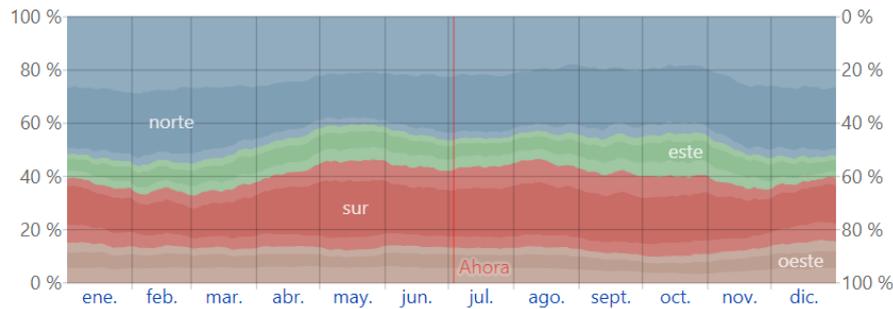


Figura 48.- Dirección del viento en Cadaqués. (Weather Spark, s.f.)

7.7.3 Tierra-suelo

El relieve de Cataluña está representada aproximadamente por tres grandes unidades estructurales morfológicas generales: los Pirineos, una cadena montañosa que conecta la península ibérica con el continente europeo y se encuentra al norte de Cataluña; otra unidad formada por la alternancia de elevaciones y llanuras paralelas a la costa mediterránea, conocida como Sistema Mediterráneo Catalán o Cordilleras Costeras Catalanas, y la última unidad estructural situada en el centro de la primera comarca, conocida como Depresión Central, forma la parte oriental comarca del valle del Ebro. (Las costas catalanas, s.f.)

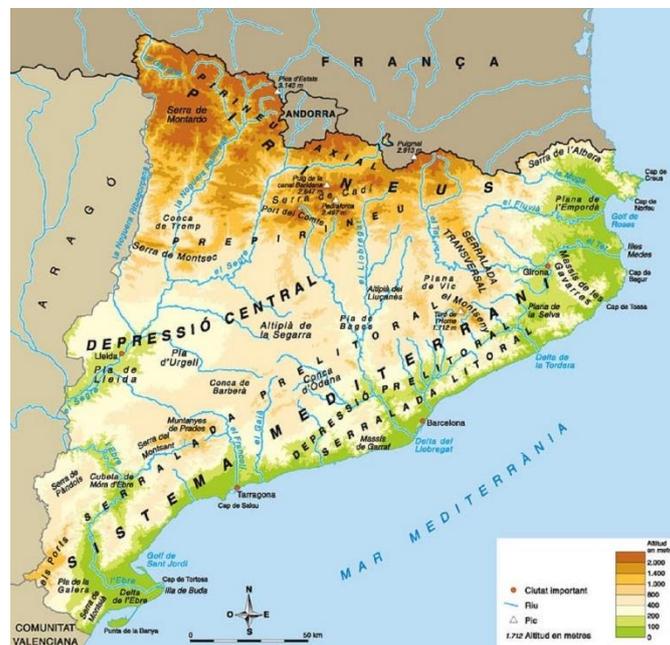


Figura 49.- Relieves de Cataluña. (Elnacional.cat, 2018)

Como se puede ver en la siguiente imagen, la mayor parte del suelo existente en la costa de Cataluña se utiliza para la agricultura. En una menor medida, se utiliza para pesca y acuicultura y para uso residencial. Por otro lado, también se pueden observar zonas moradas que corresponden a redes de transporte y logística.

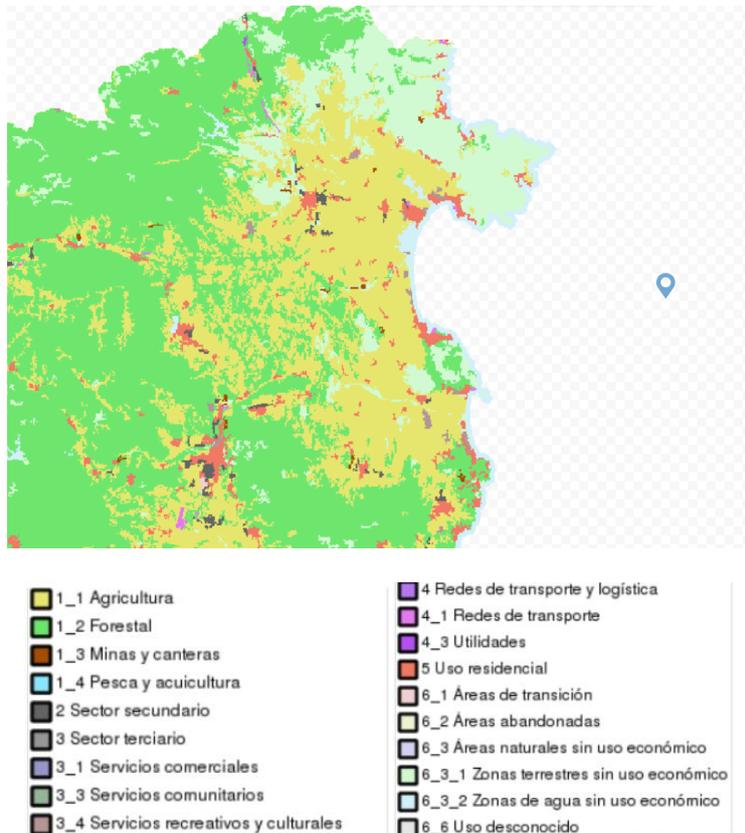


Figura 50.- Usos del suelo existente en la costa de Cataluña. (IBERPIX, 2023)

7.7.4 Medio marino y costero

Cataluña se encuentra en el noreste de España y a su costa llega el mar Mediterráneo, un mar interior delimitado por el sur de Europa, el norte de Asia y el norte de África

El Mar Mediterráneo cubre un área de aproximadamente 2,5 millones de kilómetros cuadrados con un ancho de aproximadamente 3.800 km de este a oeste y una distancia máxima de norte a sur, entre Francia y Argelia, de aproximadamente 900 km. El Mediterráneo es un mar cerrado, conectado con el Océano Atlántico a través del Estrecho de Gibraltar, de unos 15 km de ancho y 290 m de profundidad, y con el Mar Negro a través de los Dardanelos, con una anchura máxima de sólo 7 km y una profundidad media de 55 m. La conexión con el mar Rojo se produce a través del canal de Suez.

El mar Mediterráneo consta de dos cuencas principales, la occidental y la oriental, separadas por el Canal de Sicilia, de unos 150 km de ancho y 400 m de profundidad. El punto más profundo de todo el Mediterráneo se encuentra a 4.982 m, en una cuenca estrecha cercana a la costa del sudoeste de Grecia dentro de la fosa Helénica, junto a otras pequeñas cuencas de más de 4.000 m de profundidad. La parte menos profunda se encuentra en el Adriático norte, con una profundidad máxima de 200 m.

El río más largo que desemboca en el Mediterráneo es el Nilo en Egipto, cuya cuenca se extiende varios miles de kilómetros hacia el interior de la parte nordeste del continente africano. Otro río que desemboca en el Mediterráneo es el río Ródano que nace en los Alpes centrales en Suiza y fluye a través del lago de Ginebra y por el sudeste de Francia hasta el golfo de León, en la parte occidental del mar Mediterráneo. El tercer río más importante que desemboca en el Mediterráneo es el Po, situado al norte de Italia. El Po desagua los flancos del sur de los Alpes

y la parte norte de la cordillera de los Apeninos, pasa por la llanura del Po y desemboca en el norte del mar Adriático. Por último, el cuarto río más importante que desemboca en el Mediterráneo es el Ebro, en España. (eea.europa)

En la siguiente imagen se puede ver la temperatura media promedio del agua en Cadaqués. La época del año cuando el agua está más caliente es entre julio y septiembre, con una duración de 2,6 meses y una temperatura promedio de 20 °C. El mes del año cuando el agua está más caliente es agosto, con una temperatura promedio del agua de 22 °C. Sin embargo, la época de año cuando el agua está más fría es entre diciembre y mayo, con una duración de 4,8 meses y una temperatura promedio inferior a 14 °C. El mes del año cuando el agua está más fría es en febrero, con una temperatura promedio del agua de 13 °C.

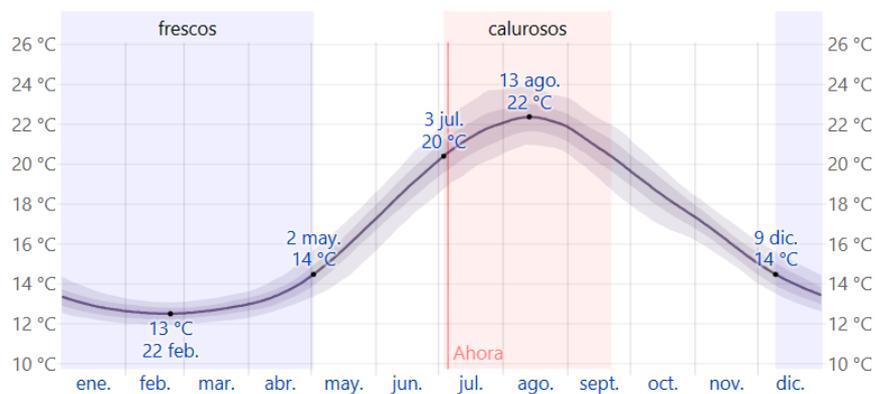


Figura 51.- Temperatura promedio del agua en Cadaqués. (Weather Spark, s.f.)

La costa catalana tiene más de 500 km de longitud, tiende a ser rectilínea sin grandes accidentes geográficos. Los únicos accidentes marítimos los configura el contacto de los Pirineos con el mar, formando el Cap de Creus, junto al cual se halla el golfo de Rosas. También se encuentra la Costa Brava que se caracteriza por sus acantilados de pequeña altura y calas escondidas. A continuación, se encuentran las playas del Maresme, en paralelo a la Cordillera Litoral. La costa de Barcelona se caracteriza por playas artificiales y un gran puerto comercial. Por último, se encuentran el Golfo de Sant Jordi y las tierras bajas del Delta del Ebro que se componen de islas y penínsulas como las de la Punta del Fagar al norte y La Banya al sur. (Las costas catalanas, s.f.)

7.7.5 Vegetación o flora

Los estudios llevados a cabo por la Institución Catalana de Historia Natural han identificado más de 1.000 taxones de plantas vasculares, contando especies y subespecies. Esta riqueza florística es gracias a la ubicación geográfica, una marcada variación altitudinal y la naturaleza caliza del sustrato. En cuanto a la vegetación o flora aparecen las siguientes especies (Fundació Catalunya La pedrera, 2023):

- Vegetación forestal: predominan los bosques de coníferas o *aciculifolios* donde se encuentran tres especies de pinos, dos correspondientes al piso montano, la laricio (*Pinus nigra ssp salzmannii*) y el pino silvestre (*Pinus sylvestris*), y una de subalpina, el pino negro (*Pinus uncinata*).
- Vegetación arbustiva: Se puede encontrar el boj (*Buxus sempervirens*) y también hay matorrales, matorrales de romero y aliagares: los sabinars (*Juniperus phoenicea*), los matorrales oromediterráneos de erizo (*Erinacea anthyllis*), los matorrales subalpinos de enebro (*Juniperus communis ssp enana*) y la gayuba (*Arctostaphylos uva-ursi*).

- Vegetación de prado: se encuentran dos comunidades diferentes, el prado de junquillos, con serpol blanco, que presenta una composición florística singular rica en endemismos (*Teucrium polium ssp aragonense*, *Thymus serpyllum ssp fontqueri*), y los prados alpinos de *Festuca gautieri* (*Festuca gautieri*).
- Vegetación rupícola: Se han localizado seis comunidades diferentes, con especies interesantes como el *Antirrhinum molle* (endemismo de los Prepirineos centrales), la oreja de oso (*Ramonda myconi*) y la corona de rey (*Saxifraga longifolia*).
- Cultivos y prados de siega: olivos y almendros, en pequeñas huertas, pasando por cultivos cerealísticos, forrajeros y de pasto. El cultivo de las patatas es característico de la zona, y en especial de las partes más elevadas. Los prados de (*Arrhenatherum elatius*), los característicos prados dedicados a la producción forrajera.

7.7.6 Fauna

En cuanto a la fauna, en los bosques se encuentran especies como el urogallo, el corzo o el pito negro; en los prados y matorrales viven liebres, conejos y zorros; los lugares rocosos acogen rebecos y topos de tartera; en los ríos destacan la trucha autóctona y la nutria, y en las balsas y humedales el tritón pirenaico y la rana roja. Algunos de las especies a destacar son el buitre negro (*Aegypius monachus*), águila real (*Aquila chrysaetos*), quebrantahuesos (*Gypaetus barbatus*), alimoche (*Neophron percnopterus*), buitre leonado (*Gyps fulvus*), asno catalán (*Equus asinus*), rupicapra (*Rupicapra rupicapra*) y armiño (*Mustela erminea*).

Por otro lado, en el mediterráneo catalán se encuentran más de 120 especies de peces, crustáceos y cefalópodos. Los más consumidos son la pescadilla, las sardinas, el gallo, el atún, los boquerones, las anchoas y el congrio. (Fundació Catalunya La pedrera, 2023)

7.7.7 Procesos del medio biótico

La construcción de la planta eólica offshore podría afectar negativamente la cadena alimentaria y ciclos de reproducción de la fauna marina y de las aves. Por lo que se tendrán en cuenta dichas especies a la hora de construir la central.

7.7.8 Paisaje intrínseco

La construcción de una planta eólica offshore puede afectar a la calidad del paisaje marino ya que se realiza la construcción en un espacio donde antes estaba totalmente despejado. Aun así, como se ha comentado anteriormente, la central se sitúa suficientemente alejado de la costa para que genere un impacto visual mínimo.

7.7.9 Intervisibilidad

La intervisibilidad hace referencia al potencial de vistas y a la incidencia visual. Es un factor a tener en cuenta ya que analiza el impacto visual que puede generar la construcción de una planta, en este caso, la planta eólica offshore.

La ubicación donde se construirá la central está suficientemente alejada de la costa por lo que generaría un impacto visual mínimo. Como se ha comentado anteriormente, el impacto visual que generaría un aerogenerador será menor a media que se aleja de la costa.

7.7.10 Uso recreativo al aire libre

Cadaqués es la localidad más oriental de la península ibérica. Es un pueblo pesquero que ocupa la mayor parte de la costa de levante del cabo de Creus, en la Costa Brava. Su ubicación frente al mar y su entorno natural lo convierten en un destino perfecto para disfrutar de actividades recreativas al aire libre.

Una de las actividades que se practica tanto en Cadaqués como en toda la costa catalana es la pesca. La pesca recreativa en el mar es una actividad con una larga tradición que se remonta a las costas mediterráneas. En Cataluña, los más de 550 km de costa, aporta un gran número de pescadores aficionados. Según un estudio reciente de la DGPAM (2020), hay unos 54.000 pescadores recreativos en Cataluña que practican al menos una de las tres modalidades de pesca: desde orilla, desde embarcación o submarina. Al igual que otras actividades humanas, la pesca es una fuente de presión sobre el medio marino y debe tenerse en cuenta su impacto sobre los recursos biológicos y los ecosistemas. (gencat, La pesca recreativa a la costa catalana. Guia d'espècies, 2020)

El baño es otra de las actividades muy practicadas en Cadaqués y en la costa catalana. Existen diversas playas y calas donde los turistas y ciudadanos disfrutan del baño. Además, excepto en épocas de grandes olas o mal tiempo, se puede practicar el buceo, el submarinismo o el esnórquel en las aguas cristalinas.

Por otro lado, el senderismo es otra de las actividades que se practica ya que existen diversas rutas por la costa que permiten explorar el paisaje montañoso y disfrutar de impresionantes vistas panorámicas desde sus miradores turísticos.

7.7.11 Características culturales

Cadaqués es un pueblo con una rica historia y una fuerte identidad cultural. Cadaqués ha sido refugio y una fuente de inspiración para muchos artistas a lo largo de los años. Salvador Dalí, uno de los pintores más influyentes del siglo XX, vivió cerca de Cadaqués y su casa, hoy en día, es un museo popular en la zona. El casco antiguo conserva gran parte de su encanto tradicional con casas blancas con puertas y ventanas de colores vivos. (Hisour, s.f.)

El estilo de vida de Cadaqués es tranquilo, relajado y se centra en disfrutar de la belleza natural y el ambiente pintoresco del pueblo. Está rodeado de impresionantes paisajes naturales, incluyendo el mar Mediterráneo, montañas y parques naturales. Este pueblo tiene varias tradiciones arraigadas que se celebran a lo largo del año y reflejan la historia, la cultura y las creencias de la comunidad local (Visit Cadaqués, s.f.).

En cuanto a la aceptabilidad del proyecto, como se ha comentado anteriormente, Los parques eólicos marinos están ganando aceptación en muchos países debido a los beneficios ambientales, como la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero y una menor dependencia de los combustibles fósiles. Además, este proyecto en concreto está ubicada suficientemente alejada de la costa generando un impacto visual mínimo.

7.7.12 Estructura poblacional

La construcción de la plata eólica offshore generaría empleo en la zona ya que sería necesario un grupo de personas especializadas como empleados de limpieza, construcción, desmantelamiento, etc.

7.7.13 Actividades y relaciones económicas

Cadaqués es un pueblo que depende en gran medida del turismo como actividad económica principal. Las actividades relacionadas con el turismo, tanto en términos de servicios como de comercio, son vitales para la economía local. Atrae a turistas de todo el mundo debido a su belleza natural, su patrimonio cultural y su legado artístico. El turismo impulsa la economía local y genera empleo en sectores como la hostelería, la restauración, los alojamientos turísticos, los servicios de guía turístico y las actividades recreativas al aire libre.

Debido a su ubicación junto al mar, Cadaqués ofrece una variedad de actividades náuticas que atraen a turistas y visitantes. El alquiler de embarcaciones, excursiones en barco, el buceo y el esnórquel son actividades populares en la zona. Esto genera empleo en el sector de servicios marítimos y actividades recreativas.

Además, la construcción de la planta aumentaría el empleo de la zona y podría aumentar el turismo local ya que muchos turistas están interesados en las energías renovables y podrían ver la planta como una atracción en sí misma. Sin embargo, la construcción de una central eólica offshore podría tener implicaciones para las actividades turísticas relacionadas con el mar, como el buceo, el esnórquel o los paseos en barco. Aun así, este proyecto se ubica lejos de la costa por lo que, en caso de generar impacto en dichas actividades, sería mínimo.

7.7.14 Infraestructura no viaria

La infraestructura no viaria se refiere a las instalaciones y servicios que no están directamente relacionados con las carreteras como son la infraestructura hidráulica (abastecimiento), infraestructura energética, infraestructura de comunicación no viaria y aeropuertos.

En cuanto a la infraestructura hidráulica, Cadaqués cuenta con instalaciones y servicios relacionados con el abastecimiento del agua potable, el tratamiento de aguas residuales y la gestión del agua en general. Se han hecho diversas obras hidráulicas en los sistemas fluviales de la Costa Brava para evitar inundaciones como canales de riego, diques, desvíos, construcción de embalses, entre otras cosas. (Dolors Roset Pagès)

Cadaqués cuenta con un pequeño puerto que se utiliza principalmente para embarcaciones de pesca y recreo. El puerto ofrece servicios para los propietarios de barcos y visitantes, como amarres, suministro de combustible, fondeos, etc. Además, tiene un paseo marítimo que recorre el borde costero del pueblo.

La comunidad de Cataluña tiene cuatro principales aeropuertos: el aeropuerto internacional de Barcelona, el aeropuerto de Girona, el aeropuerto de Reus y el aeropuerto de Lérida. El aeropuerto más cercano a Cadaqués es el aeropuerto de Girona ubicada en la localidad de Vilobí d'Onyar, a 13 kilómetros del centro de la ciudad de Girona y a unos 95 km al norte/este de Barcelona.

En cuanto a la infraestructura energética, en el año 2022, la energía nuclear fue la principal fuente de energía para la generación de electricidad en Cataluña, representando el 56,2 % de la producción total. Además, la generación eléctrica del ciclo combinado y cogeneración suponen el 18,6 % y el 8,3 % respectivamente. A su vez, la producción total de electricidad a partir de fuentes de energía no renovables en Cataluña asciende al 84,4 %.

La energía hidroeléctrica y la eólica son las principales fuentes de energía renovable para la generación de electricidad en Cataluña, con un 6,8 % y un 5,8 %, respectivamente. La

producción total de electricidad a partir de fuentes de energía renovables en Cataluña en 2022 asciende al 15,6 %. (gencat, Balance de energía eléctrica de Cataluña, s.f.)

Se ha comentado anteriormente que España es el tercer Estado del mundo en cuanto a potencia eólica instalada, sólo por detrás de los Estados Unidos y China. Cataluña ocupa el noveno lugar en el estado español, detrás de comunidades como Castilla-La Mancha, Castilla y León, Galicia y Andalucía. A principios de año 2022, Castilla-La Mancha ocupaba la primera posición con 3.415 MW, mientras que Cataluña tenía solo 420,44 MW, lo que supone un 2,5 % de los 16.740 MW instalados en el España, según cifras de la Asociación Empresarial Eólica (AEE). Actualmente, en Cataluña hay 17 parques eólicos operativos ubicados en Barcelona, Lleida y Tarragona. Además, hay 52 parques eólicos con autorización administrativa concedida, con una potencia instalada de 1.533,85 MW. (gencat, Energía Eólica en Cataluña, 2010)

El Gobierno de Cataluña presentó una previsión energética para Cataluña hasta 2050 (*Prospectiva Energética 2050*), un plan de acción que llevará al país a la neutralidad climática (cero emisiones de CO₂) durante este tiempo. El trabajo analiza las posibilidades de desarrollo del sistema energético catalán y propone una serie de estrategias y medidas para reducir la demanda en más de 30 puntos (el consumo final de energía en Cataluña en 2050 será inferior al 30,3 % actual) y que reduciría la dependencia energética en un 6,7 % (actualmente 94,2 %). Para lograr este objetivo, el gobierno considera imprescindible la eficiencia energética y las fuentes de energía renovables (12.000 megavatios de nueva energía eólica y fotovoltaica prevista para 2030; 62.000 megavatios para 2050), que supondrán solo el 2,5 % del territorio. (Barrero, 2022)

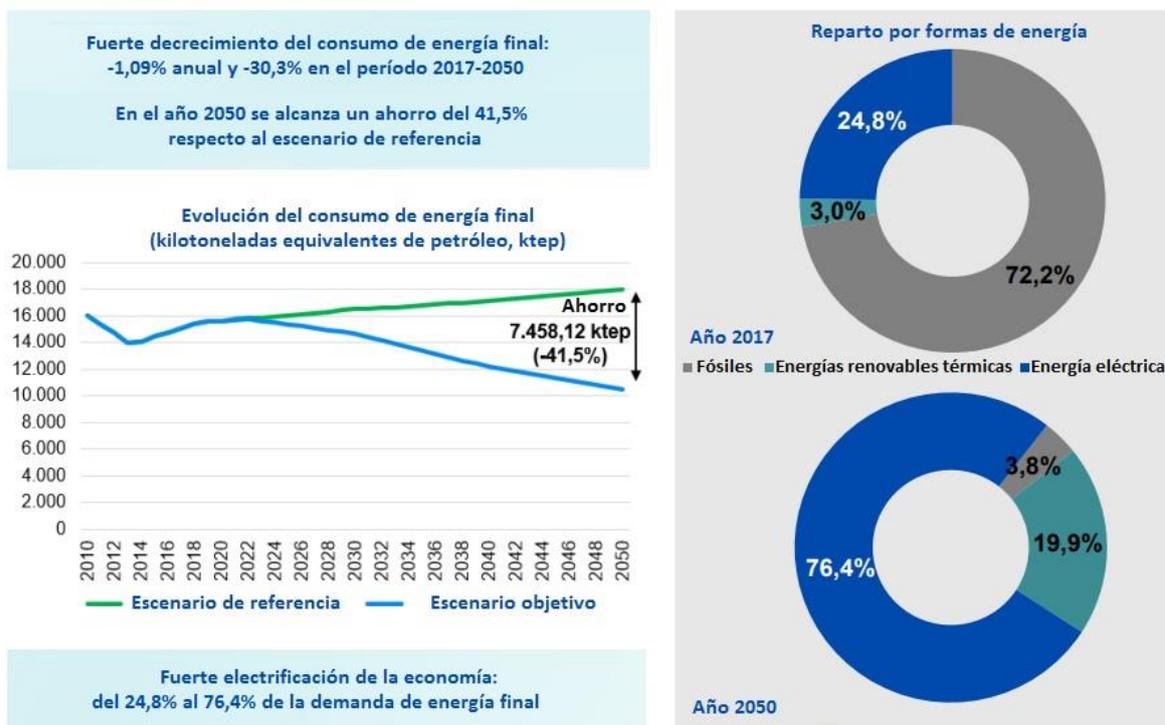


Figura 52.- Objetivos principales de la prospectiva Energética 2050. (Barrero, 2022)

7.8 MATRIZ DE IDENTIFICACIÓN DE EFECTOS

En las siguientes tablas se pueden ver las acciones que van a generar impactos en cada factor en el proceso de construcción, en el proceso de operación y en el proceso de desmantelamiento y abandono. Una vez construidas las matrices de identificación de efectos en cada fase del proyecto, se analizarán cualitativa y cuantitativamente dichas acciones.

| FACTORES | | | ACCIONES | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|-----------------------------|--|-----------------------|----------------------|--|-------------------------|--------------------------------------|-------------------------------|---|----------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------------|-----------------------|----------------------------------|-------------|----------------------------|--------------------|----------------------------|---|-------------------------|-----------------------|------------------------|----------|--------|---|
| | | | Construcción | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | Estudio de viabilidad | Diseño de la central | Exploración de terrenos y elección del emplazamiento | Adquisición del terreno | Permisos y licencias de construcción | Gestión de compras de equipos | Contratación del personal de construcción | Carreteras de acceso | Señalización de seguridad | Obtención de materiales | Transporte de material de obras | Transporte de equipos | Excavaciones para la cimentación | Cimentación | Preparación de plataformas | Conexión eléctrica | Montaje de aerogeneradores | Equipos de medición de datos meteorológicos | Tratamiento de residuos | Vertidos accidentales | Contaminación acústica | Limpieza | Empleo | |
| Subsistema físico natural | Medio inerte | Aire | | | | | | | | X | | | X | X | X | | | | | | | | | | | |
| | | Clima | | | | | | | | | | | X | X | X | | | | | | | | | | | |
| | | Tierra-suelo | | | | | | | | | X | | | X | X | | | | | | X | X | X | | | |
| | Medio biótico | Medio marino y costero | | | | | | | | | | | X | X | X | | | | | X | | | | | | |
| | | Vegetación o flora | | | | | | | | | X | | | X | X | | | | | X | | | | | | |
| Subsistema perceptual | Medio perceptual | Fauna | | | | | | | | X | | | | | | | | | | | | X | X | | | |
| | | Procesos del medio biótico | | | | | | | | | X | | | | | | | | | | | X | X | | | |
| | | Paisaje intrínseco | | | | | | | | | X | | | | | | | | | | | | | | | X |
| Subsistema población y poblamiento | Usos del suelo rústico | Uso recreativo al aire libre | | | | | | | | X | X | | | | | | | | | X | | | | | X | |
| | | Características culturales y relaciones económicas | | | X | | | | | X | | | | | | | X | X | X | | X | | | X | | |
| Subsistema socio económico | Población | Estructura poblacional | X | X | X | | | | X | X | | | X | X | X | | X | X | X | | | | | | X | |
| | Economía | Actividades y relaciones económicas | | | | X | X | X | X | | | X | | | | | | | | | | | | | X | |
| Subsistema núcleos e infraestructura | Infraestructura y servicios | Infraestructura no viaria | | | | | | | | | | X | | | | | | | X | | | | | | | |

Figura 53.- Matriz de identificación de efectos en la fase de construcción.

| FACTORES | | | ACCIONES | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|-----------------------------|--|---------------------------|---------------------|-----------------------------|---|----------|--|---------------------|------------------------|-----------------------|---|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------------------|----------------------------------|--------------------------|---------------------------------|--------|---|
| | | | Operación | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | Contratación del personal | Puesta en operación | Mantenimiento de la central | Mantenimiento de las líneas o tendidos eléctricos | Cableado | Presencia aerogeneradores e infraestructuras | Movimiento de aspas | Contaminación acústica | Vertidos accidentales | Movimiento y funcionamiento de maquinaria | Gestión de residuos | Gestión de riesgos | Control de calidad | Control de ruido y vibraciones | Control de emisiones y efluentes | Alumbrado y balizamiento | Generación de energía renovable | Empleo | |
| Subsistema físico natural | Medio inerte | Aire | | | | | | | | | | X | | | X | | | | | | |
| | | Clima | | | | | | | | | | | | | | X | | X | | | |
| | | Tierra-suelo | | X | | | | X | | | | X | | | | X | | X | | | |
| | Medio biótico | Medio marino y costero | | X | | | X | | | | | X | | X | | | | X | | | |
| | | Vegetación o flora | | X | | | X | | | | | X | | X | | | | X | | | |
| Subsistema perceptual | Medio perceptual | Fauna | | X | | | X | | X | X | X | X | X | X | | | | | | | |
| | | Procesos del medio biótico | | X | | | X | | | | | | | | | | X | | | | |
| | | Paisaje intrínseco | | | | | X | X | | | | | | | | X | | | X | | |
| Subsistema población y poblamiento | Usos del suelo rústico | Uso recreativo al aire libre | | | | | | | | | X | X | | | | | | X | X | | |
| | | Características culturales y relaciones económicas | | | | | | | | | | | | X | X | X | X | X | | X | X |
| Subsistema socio económico | Población | Estructura poblacional | X | | X | X | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Economía | Actividades y relaciones económicas | X | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Subsistema núcleos e infraestructura | Infraestructura y servicios | Infraestructura no viaria | | | | | | | | | | | | | | | | | | X | |

Figura 54.- Matriz de identificación de efectos en la fase de operación.

| FACTORES | | | ACCIONES | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|--|-------------------------------------|-----------------------------|---------------|---|----------------------------------|---------------------------------------|-------------------------|---------------------|------------------------|------------------------|--|-------------------------------------|-----------|
| | | | Desmantelamiento y abandono | | | | | | | | | | | |
| | | | Contratación del personal | Planificación | Desconexión de la instalación eléctrica | Desmontaje y retirada de equipos | Desmontaje de la estación de medición | Demolición de la planta | Gestión de residuos | Transporte de residuos | Contaminación acústica | Restauración de cimentaciones y suelos | Restauración vegetal y paisajística | Desempleo |
| Subsistema físico natural | Medio inerte | Aire | | | | X | X | X | | X | | | | |
| | | Clima | | | | | | | | X | | | | |
| | | Tierra-suelo | | | | | | X | X | X | | X | X | |
| | Medio biótico | Medio marino y costero | | | | | | X | | | | X | X | |
| | | Vegetación o flora | | | | | | X | X | | | | | |
| | | Fauna | | | | | | X | X | | X | | | |
| Subsistema perceptual | Medio perceptual | Procesos del medio biótico | | | | | | X | | | | | | |
| | | Paisaje intrínseco | | | | | | | | | X | X | | |
| | | Intervisibilidad | | | | | | | | | X | X | | |
| Subsistema población y poblamiento | Usos del suelo rústico | Uso recreativo al aire libre | | | | | | | | X | | | | |
| | Características culturales y relaciones económicas | Características culturales | X | | | | | | X | | | | X | |
| Subsistema socio económico | Población | Estructura poblacional | X | | X | X | X | | | X | | X | X | |
| | Economía | Actividades y relaciones económicas | X | X | | | | | | | | | X | |
| Subsistema núcleos e infraestructura | Infraestructura y servicios | Infraestructura no viaria | | | X | | | | | | | | | |

Figura 55.- Matriz de identificación de efectos en la fase de desmantelamiento y abandono.

7.9 VALORACIÓN CUALITATIVA Y CUANTITATIVA

En este apartado se analizarán en más profundidad los impactos ocasionados por las acciones. Para ello, se hará una valoración cualitativa y cuantitativa para cada acción.

7.9.1 Valoración cualitativa

Mediante la valoración cualitativa se analiza el impacto ambiental que causan las acciones que se llevan a cabo en diferentes factores y se determina la importancia de cada acción.

Para realizar la valoración cualitativa se han tenido en cuenta los parámetros que aparecen en la siguiente Imagen 56:

| Valoración cualitativa de impactos ambientales | | | | |
|---|---|--|---|---|
| Se reparten 1000 UIP entre todos los factores ambientales | | | | |
| Fórmula de la importancia: $I = +/- (3IN + 2EX + MD + PE + CR + EF + II + PR)$ | Intensidad (IN). Baja=1, Media=2, Alta=4, Muy alta=8, Total=12 | Extensión (EX). Puntual=1, Parcial=2, Extensa=4, Total=8, Crítica (+4) | Momento (MO). Largo plazo=1, Medio plazo=2, Inmediato=4, Crítico (+4) | Capacidad de recuperación (CR). Reversible=2, Irreversible-Recuperable=4, Irreversible-Mitigable=8, Irreversible-Irrecuperable=12 |
| | Persistencia (PE). Fugaz=1, Temporal=2, Permanente=4 | Efecto (EF). Indirecto=1, Directo=4 | Interrelación de impactos (II). Acumulativa=4, Simple=2, Sinérgica=8 | Periodicidad (PR). Irregular=1, Periódica=2, Continua=4 |
| Máximo valor de la importancia (Imax) | 100 | Mínimo valor de la importancia (Imin) | 13 | |

Figura 56.- Parámetros para tener en cuenta en la valoración cualitativa.

- **Signo:** define la valoración de un factor para que sea beneficio o perjudicial. (Positivo o beneficioso: el efecto aumenta la calidad del factor, negativo o perjudicial: el efecto disminuye la calidad del factor).
- **Intensidad:** define la cantidad de calidad ambiental que se pierde. (Mínimo o bajo, medio, alto, notable o muy alto, total).
- **Extensión:** define el porcentaje del entorno en que se manifiesta el efecto. (Puntual: muy localizado en el entorno, parcial: zona apreciable del entorno, extenso: gran parte del entorno, total: de forma general a todo el entorno, crítico: en un lugar crítico).
- **Momento:** define el tiempo desde que comienza la acción (t_0) hasta que aparece el efecto (t_j). (Inmediato: $t_0 = t_j$, latente a corto plazo: $t_j - t_0 < 1$ año, latente a medio plazo: $1 \leq t_j - t_0 < 5$, latente a largo plazo: $t_j - t_0 \geq 5$ años, crítico).
- **Capacidad de recuperación:** define la respuesta por parte del factor hacia un efecto determinado para llegar a recuperar las condiciones iniciales anteriores al efecto (reversible: el factor si se recupera por sí solo, irreversible-recuperable: el factor no se recupera por sí solo pero con medidas correctoras se recupera toda la calidad ambiental, irreversible-mitigable: el factor no se recupera por sí solo pero con medidas correctoras se recupera parte de la calidad ambiental, irreversible-irrecuperable: el factor no se recupera por sí solo y nunca se recupera la calidad ambiental).
- **Persistencia:** define el tiempo desde la aparición del efecto hasta el retorno a las condiciones previas a la acción. (Temporal-fugaz: < 1 año, temporal: 1-3 años, temporal-pertinaz: 3-10 años, permanente: > 10 años).

- **Efecto:** define la manifestación del efecto sobre un factor. (Directo o primario: consecuencia directa de la acción, indirecto o secundario: a partir de un impacto primario).
- **Interrelación de impactos:** define la adición de impactos procedentes de distintas acciones. (Acumulativo: suma de efectos, sinérgico: mayor que la suma de efectos, simple: afecta a un solo componente ambiental, no provoca impactos secundarios y no es cumulativo ni sinérgico).
- **Periodicidad:** define la regularidad de manifestación del efecto. (Continuo: mientras dura la acción hay pérdida de calidad ambiental, discontinuo-periódico: el efecto aparece intermitentemente, discontinuo-irregular: el efecto aparece de forma imprevisible).

Una vez definida cada parámetro, se ha analizado el impacto que va a generar cada acción en cada factor. Los impactos pueden ser reducidos, compatibles, moderados, severos o críticos:

- Impacto ambiental reducido: se le atribuye a un impacto positivo. No hace falta aplicar medidas correctoras.
- Impacto ambiental compatible: se le atribuye a un impacto que tiene una importancia por debajo de 25 ($|I| < 25$). No hace falta aplicar medidas correctoras.
- Impacto ambiental moderado: se le atribuye a un impacto que tiene una importancia entre 25 y 50 ($25 \leq |I| < 50$). No hace falta aplicar medidas correctoras.
- Impacto ambiental severo: se le atribuye a un impacto que tiene una importancia entre 50 y 75 ($50 \leq |I| < 75$). Se aplican medidas correctoras para reducir el impacto.
- Impacto ambiental crítico: se le atribuye a un impacto que tiene una importancia entre 75 y 100 ($75 \leq |I| < 100$). Se aplican medidas correctoras para reducir el impacto.

Para lograr resultados se ha hecho todo lo explicado en una hoja de cálculo del Anexo 4 y los cálculos se explican en el 7.3.3 Cálculo de los impactos en la valoración cualitativa y cuantitativa.

Hay que destacar que la mayoría de las acciones generan impactos negativos, pero hay algunos que generan impactos positivos también. Entre las positivas, destacan los sistemas de control de calidad, control de emisiones y efluentes y control de ruido y vibraciones. Estas acciones pueden ayudar a mejorar el parque reduciendo accidentes por contaminación de emisiones y efluentes o contaminación acústica. También es de destacar el valor positivo de la restauración vegetal y paisajística y la restauración de suelos y cimentaciones en la parte de desmantelamiento, ya que al construir el parque la vegetación de la tierra y el impacto visual se ven negativamente aceptados.

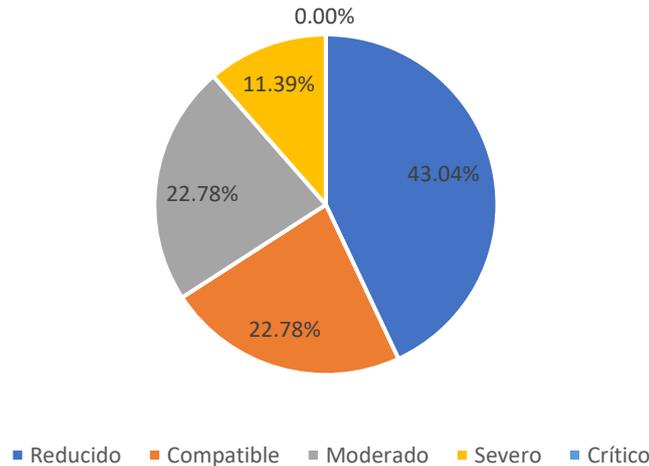


Figura 57.- Porcentaje global de cada tipo de impacto en la valoración cualitativa antes de aplicar las medidas correctoras.

Como se puede observar en la imagen anterior, la mayor parte de los impactos son reducidos, es decir, generan impactos positivos. Por otro lado, hay impactos compatibles y moderados los cuales hay que disminuir para que el proyecto afecte lo menos posible al medio ambiente y los habitantes. Por último, los impactos severos son mínimos y no hay ningún impacto crítico. Esto tiene sentido ya que esta fuente de energía, la energía eólica, es de origen renovable.

7.9.2 Valoración cuantitativa

Una vez hecha la valoración cualitativa, y, por lo tanto, habiendo determinado la importancia de los impactos, se procede a hacer la valoración cuantitativa. Es decir, se va a llevar a cabo un enfoque sobre los esfuerzos para aplicar valores numéricos a cada efecto analizado anteriormente. Esta valoración cuantitativa se ha hecho para las acciones que tengan un valor de importancia igual o superior a 50.

Esta valoración cuantitativa se hace para conseguir una valoración más objetiva y real, ya que la cualitativa es bastante subjetiva. Para ello, se han usado indicadores ambientales para poder cuantificar su valor de forma numérica. Todos estos cálculos de la magnitud de cada impacto, se ha realizado en una hoja Excel al igual que en el punto anterior. En resumen, esta valoración cuantitativa se basa en el análisis objetivo de cada impacto para así conocer su magnitud sobre el factor correspondiente.

Al igual que en el apartado anterior, se han tenido en cuenta los parámetros que aparecen en la siguiente Imagen 58:

| Valoración cuantitativa de impactos ambientales | | | |
|--|---|---|---|
| se reparten 1000 UIP entre todos los factores ambientales | | | |
| Fórmula de la importancia: $I = +(MO + PE + RV + SI + AC + EF + PR + MC)$ | Momento (MO). Largo plazo=1; Medio plazo=2; Inmediato=4; Crítico (+4) | Persistencia (PE). Fugaz=1; Temporal=2; Permanente=4 | Capacidad de recuperación (CR). Reversible=2; Irreversible-Recuperable=4; Irreversible-Mitigable=8; Irreversible-Irrecuperable=12 |
| | Causa-efecto (EF). Indirecto=1 Directo=4 | Interrelación de impactos (II). Simple=2; Acumulativa=4; Sinérgica=8 | Periodicidad(PR). Irregular=1; Periódica=2; Continua=4 |
| máximo valor de la importancia (Imax) | | 40 | mínimo valor de la importancia (Imin) |
| | | | 8 |

Figura 58.- Parámetros para tener en cuenta en la valoración cuantitativa.

Los factores cuantitativos poseen una unidad de medida convencional (medibles). Por lo que se valora la calidad ambiental por cada factor considerando dos escenarios: sin / con proyecto y sin / con medidas correctoras aplicadas.

A continuación, se va a mostrar el listado de factores e indicadores utilizados en este caso:

- **Aire.** Polvo, humos y partículas en suspensión. Promedio diario de la concentración de polvo y partículas en suspensión.
- **Clima.** Índices de aptitud climática. Aptitud del clima para los usos principales del territorio (semicualitativo).
- **Tierra-suelo.** Relieve y carácter topográfico. % de superficie alterada.
- **Medio marino y costero.** Relieve y fondo marino. % de superficie alterada.
- **Vegetación o flora.** Vegetación. % de variación de valor de conservación de las diferentes unidades de vegetación.
- **Fauna.** Número de hábitats faunísticos de especies silvestres. % de variación del valor de conservación de las diferentes unidades faunísticas.
- **Paisaje intrínseco.** Calidad del paisaje. % de variación del valor de conservación del paisaje.
- **Intervisibilidad.** Incidencia visual. % del ámbito de estudio desde el que se observa el impacto.
- **Uso recreativo al aire libre.** Uso recreativo al aire libre. % de variación de la superficie equivalente destinada a espacios de ocio.
- **Características culturales.** Aceptabilidad social del proyecto. % de población en contra del proyecto.
- **Estructura poblacional.** Empleo. % de empleo neto.
- **Actividades y relaciones económicas.** Actividades económicas afectadas. Variación del empleo en las actividades afectadas.
- **Infraestructura no viaria.** Infraestructura energética. Grado de adecuación de las estructuras energéticas.

Al igual que en la valoración cualitativa, los impactos se dividen en cinco grupos. En este caso, los límites de cada grupo se escogen dependiendo del valor de la magnitud de todos los impactos del factor (V_p) logrados. Los impactos pueden ser reducidos, compatibles, moderados, severos o críticos:

- Impacto ambiental reducido: se le atribuye a una magnitud positiva. No hace falta aplicar medidas correctoras.
- Impacto ambiental compatible: se le atribuye a una magnitud por debajo de -10 ($V_p < -10$). No hace falta aplicar medidas correctoras.
- Impacto ambiental moderado: se le atribuye a una magnitud entre -10 y -20 ($-10 \leq V_p < -20$). No hace falta aplicar medidas correctoras.
- Impacto ambiental severo: se le atribuye a una magnitud entre -20 y -30 ($-20 \leq V_p < -30$). Se aplican medidas correctoras para reducir el impacto.
- Impacto ambiental crítico: se le atribuye a una magnitud entre -30 y -40 ($-30 \leq V_p < -40$). Se aplican medidas correctoras para reducir el impacto.

Para lograr resultados se ha hecho todo lo explicado en una hoja de cálculo del Anexo 5 y los cálculos se explican en el 7.3.3 Cálculo de los impactos en la valoración cualitativa y cuantitativa.

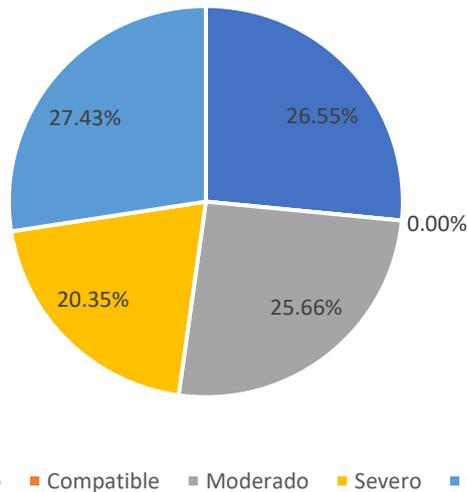


Figura 59.- Porcentaje global de cada tipo de impacto en la valoración cuantitativa antes de aplicar las medidas correctoras.

Al contrario de la valoración cualitativa, en la valoración cuantitativa existen impactos severos y críticos debido a que los límites de cada grupo se logran dependiendo del valor de la magnitud. A estos impactos hay que aplicarles medidas correctoras para disminuir su valor.

7.10 VALORACIÓN Y MEDIDAS CORRECTORAS

En este apartado se describirán las medidas correctoras tomadas en el proyecto para evitar, reducir o compensar las afecciones previamente y evaluadas. Cabe destacar que una medida correctora se puede implementar a más de un factor. Después, se resumirán los datos obtenidos en la valoración cuantitativa y cualitativa en un informe final.

Tabla 18.- Medidas correctoras a implementar en la fase de construcción.

| Fase de construcción | |
|------------------------|--|
| Alteraciones | Medidas correctoras |
| Generación de polvo | -Humedecer previamente las áreas afectadas. -Regar las zonas exteriores de limpieza, carga o descarga de productos polvorientos, así como las vías y caminos por los que transite la maquinaria. -Los vehículos utilizados para el transporte de materiales dispondrán sistemas de filtrado de humos y de amortiguación del ruido. |
| Ruido | -Los vehículos y la maquinaria tendrán sistemas silenciadores para minimizar la generación de ruido. -Controlar las emisiones sonoras. -Realizar un seguimiento de los niveles de ruido. |
| Contaminación lumínica | -Adaptar la intensidad de las luces de balizamiento al que fije la norma vigente. |

| | |
|--|---|
| Emisión de contaminantes a la atmósfera | - Los vehículos deberán cumplir la normativa vigente en cuanto a límites de emisiones de gases. |
| Disminución de la calidad de la tierra y contaminación por excavaciones | -Realizar inspecciones periódicas como toma de muestras para análisis químico, muestreo del terreno y el agua, sistemas de detección de fugas etc. |
| Destrucción de la vegetación y del hábitat de ciertas especies animales o de las condiciones necesarias para su reproducción | -En cuanto a la alimentación, con las medidas periódicas que se han comentado en el apartado anterior, se asegurara que no queden impurezas en la tierra y en el agua durante y después de la fase de construcción. -Intentar cubrir una parcela lo más pequeña posible para la construcción de la planta para que afecte en la menor medida a la movilidad de las especies. |
| Construcción de carreteras de acceso | -Respetar la tipología de paisaje de la zona. |
| Construcción de la planta | -Respetar la tipología de paisaje de la zona. |
| Efectos negativos en la fauna | -Realizar un inventario previo, antes del inicio de la obra, para detectar la presencia de especies en la zona. -Gestión de los residuos producidos. |
| Destrucción de vegetación y flora | -Revegetación del entorno. -Gestión de los residuos producidos. -Definición de un tratamiento apropiado de los efluentes líquidos producidos que alcance los límites de calidad requeridos para el vertido. |
| Disminución de la calidad del paisaje | -Instalar aerogeneradores uniformes con mismas características visuales. -Reducir el número de aerogeneradores instalados, eligiendo los de mayor potencia, |

Tabla 19.- Medidas correctoras a implementar en la fase de operación.

| Fase de operación | |
|-----------------------------------|---|
| Alteraciones | Medidas correctoras |
| Destrucción de vegetación y flora | -Revegetación del entorno. -Gestión de los residuos producidos. -Definición de un tratamiento apropiado de los efluentes líquidos producidos que alcance los límites de calidad requeridos para el vertido. |
| Efectos negativos en la fauna | -Realizar un inventario previo, antes del inicio de la obra, para detectar la presencia de especies en la zona. -Gestión de los residuos producidos. -Realizar un seguimiento de la movilidad de las aves. |
| Ruido | -Sistemas de corrección acústica. |

| | |
|--|--|
| | <ul style="list-style-type: none"> -Controlar las emisiones sonoras. -Realizar un seguimiento de los niveles de ruido. |
|--|--|

Tabla 20.- Medidas correctoras a implementar en la fase de desmantelamiento y abandono.

| Fase de desmantelamiento y abandono | |
|---|--|
| Alteraciones | Medidas correctoras |
| Generación de polvo | <ul style="list-style-type: none"> -Humedecer previamente las áreas afectadas. -Regar las zonas exteriores de limpieza, carga o descarga de productos polvorientos, así como las vías y caminos por los que transite la maquinaria. -Los vehículos utilizados para el transporte de materiales dispondrán sistemas de filtrado de humos y de amortiguación del ruido. |
| Ruido | <ul style="list-style-type: none"> -Los vehículos tendrán silenciadores en los escapes para minimizar la generación de ruido. |
| Impacto visual | <ul style="list-style-type: none"> -Recuperar el paisaje inicial. |
| Deterioro del estado de otras estructuras no viarias y el terreno en sí | <ul style="list-style-type: none"> -Desmantelamiento ordenado y seguro, sin afectar el alrededor, y para ello es necesario retirar el material de forma organizada. -Será imprescindible tener todas las actividades que se deben hacer organizadas por un registro y calendario semanal, donde se detallan los horarios para cada actividad, evitando el colapso de varias de ellas. -Registrar previamente el tipo de material a retirar, la cantidad de elementos a retirar, el número de vehículos de cargas a utilizar... Además, ese material tiene que ser retirado de la vía rápidamente para que no moleste a la hora de ejecutar otras actividades. |

– Valoración cualitativa

En el informe final de la valoración cualitativa se analiza el número de impactos detectados por cada factor ambiental, el valor de la importancia de los impactos (IN), el número de medidas correctoras que se aplican a dicho factor ambiental, el valor de importancia calculada con las medidas correctoras propuestas (ICC) y la diferencia que se genera en el valor de la importancia teniendo en cuenta y no teniendo en cuenta las medidas correctoras (INCC).

Tabla 21.- Resumen de la valoración cualitativa.

| INFORME FINAL | | | | | |
|---|-----------------------|---------------|----------------------------------|---------------|---------------|
| VALORACIÓN CUALITATIVA | | | | | |
| Factor ambiental | Nº de impactos | IN | Nº de medidas correctoras | ICC | INCC |
| 1.1.1 Aire | 11 | -22,15 | 2 | 9,45 | -12,7 |
| 1.1.2 Clima | 4 | -1,88 | 0 | 7,38 | 5,5 |
| 1.1.3 Tierra-Suelo | 15 | -10,43 | 2 | 9,11 | -1,32 |
| 1.1.6 Medio marino y costero | 12 | -14,55 | 3 | 8,06 | -6,49 |
| 1.2.1 Vegetación o flora | 14 | -14,02 | 7 | 14,66 | 0,64 |
| 1.2.2 Fauna | 18 | -12,66 | 8 | 12,72 | 0,06 |
| 1.2.3 Procesos del medio biótico | 3 | -9,94 | 0 | 2,82 | -7,12 |
| 2.1.1 Paisaje intrínseco | 12 | -6,37 | 6 | 11,56 | 5,19 |
| 2.1.2 Intervisibilidad | 12 | -3,22 | 76 | 6,55 | 3,33 |
| 3.1.1 Uso recreativo al aire libre | 10 | 11,68 | 7 | 19,41 | 31,09 |
| 3.2.1 Características culturales | 14 | 1,84 | 4 | 13,05 | 14,89 |
| 4.1.2 Estructura poblacional | 22 | 41,1 | 1 | 35,72 | 76,82 |
| 4.2.2 Actividades y relaciones económicas | 8 | 12,92 | 0 | 36,83 | 49,75 |
| 5.1.2 Infraestructura no viaria | 3 | 1,91 | 0 | 32,34 | 34,25 |
| TOTAL, ENTORNO | 158 | -25,77 | 46 | 219,66 | 193,89 |
| JUICIO | | | | | |
| Tipo de impacto global | Reducido | Compatible | Moderado | Severo | Crítico |
| Número (sin medidas) | 68 | 36 | 36 | 18 | 0 |
| Porcentaje (sin medidas) | 43,04 % | 22,78 % | 22,78 % | 11,39 % | 0 % |
| Número (con medidas) | 68 | 76 | 11 | 3 | 0 |
| Porcentaje (con medidas) | 43,04 % | 48,10 % | 6,96 % | 1,9 % | 0 % |

En las siguientes dos gráficas se puede ver los valores de los impactos antes y después de aplicar las medidas correctoras. Los factores más afectados negativamente son el aire, el medio marino y costero, la vegetación o flora y la fauna. Esto se debe a que gran parte de las acciones de construcción y desmantelamiento tiene un gran impacto sobre estas. Por lo que se tendrán que aplicar medidas correctoras para reducir el impacto negativo.

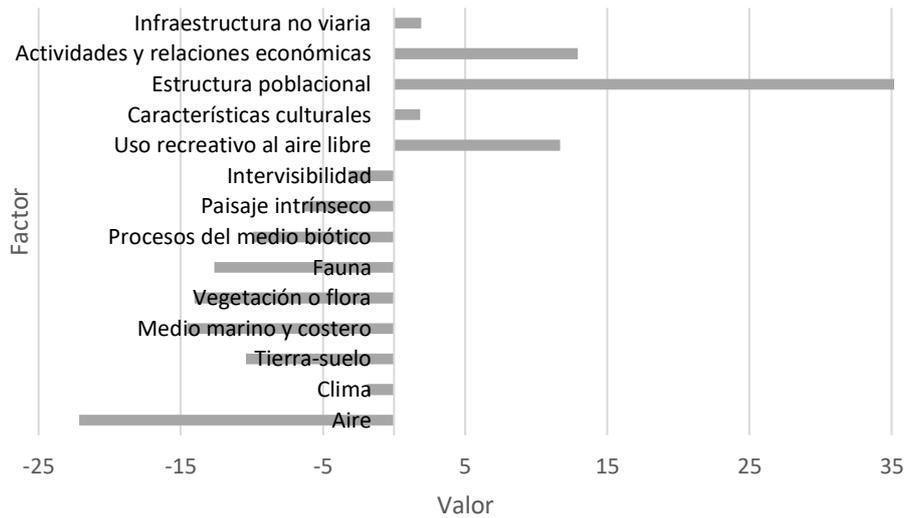


Figura 60.- Valor de los impactos antes de aplicar las medidas correctoras.

Después de aplicar las medidas correctoras, se puede ver que el valor de los impactos negativos de los factores mencionados anteriormente disminuye considerablemente. Por ejemplo, en el aire se consigue disminuir de un impacto de -22,15 a -12,7; en el medio marino y costero de -14,55 a -6,49; en la vegetación o flora de -14,02 a 0,64 y en la fauna de -12,66 a 0,06.

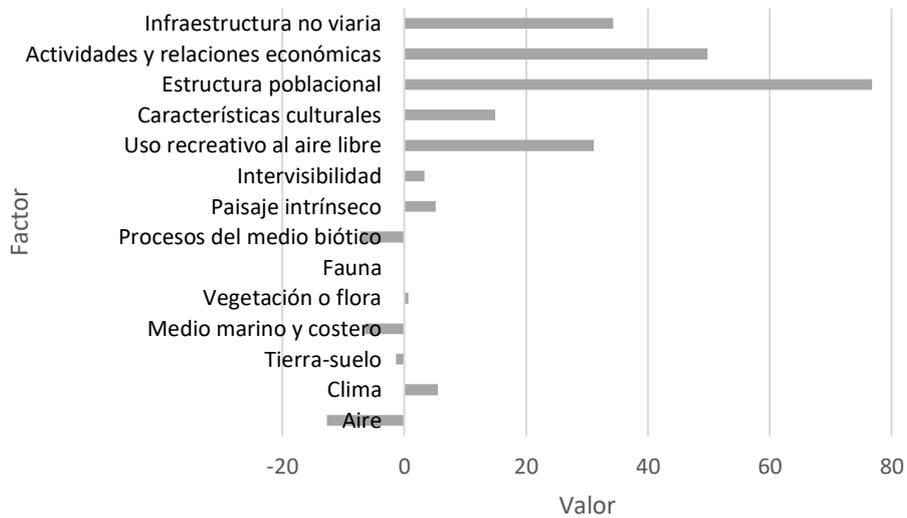


Figura 61.- Valor de los impactos después de aplicar las medidas correctoras.

Por otro lado, se ha hecho un gráfico donde se puede ver el porcentaje global de cada tipo de impacto después de aplicar las medidas correctoras.

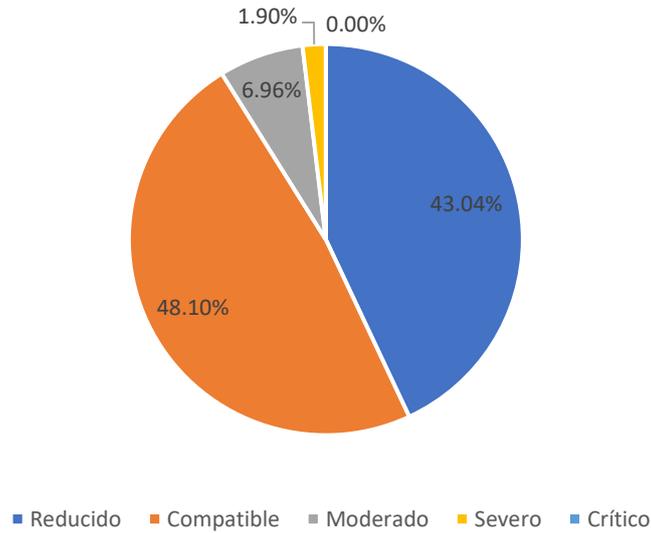


Figura 62.- Porcentaje global de cada tipo de impacto en la valoración cualitativa después de aplicar las medidas correctoras.

Para poder comparar el resultado de aplicar medidas correctoras se ha creado el siguiente gráfico. Como se puede ver, el impacto severo y moderado disminuyen considerablemente y aumenta el impacto compatible que tiene un valor de importancia menor. Por tanto, se puede afirmar que la aplicación de las medidas correctoras disminuye el impacto ambiental que puede generar el proyecto.

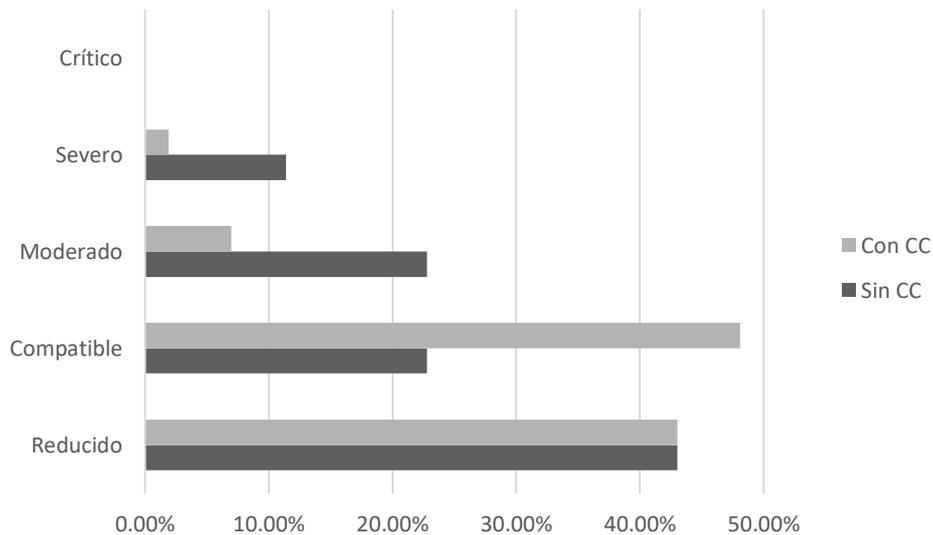


Figura 63.- Comparativa del porcentaje global de cada tipo de impacto antes y después de aplicar medidas correctoras.

– Valoración cuantitativa

En el informe final de la valoración cuantitativa se analiza el número de impactos detectados por cada factor ambiental, el valor de la magnitud de los impactos del factor correspondiente (Vp), el número de medidas correctoras que se aplican a dicho factor ambiental, el valor de la magnitud calculada con las medidas correctoras propuestas (Vp CC) y la diferencia que se genera en el valor de la magnitud teniendo en cuenta y no teniendo en cuenta las medidas correctoras (Vp con + CC).

Teniendo en cuenta que a las acciones que generan impactos positivos no es necesario aplicarles medidas correctoras, como es el caso del clima, se consigue la siguiente tabla.

Tabla 22.- Resumen de la valoración cuantitativa.

| INFORME FINAL | | | | | |
|---|-----------------------|-------------------|----------------------------------|---------------|-------------------|
| VALORACIÓN CUANTITATIVA | | | | | |
| Factor ambiental | Nº de impactos | Vp | Nº de medidas correctoras | Vp CC | Vp con +CC |
| 1.1.1 Aire | 5 | -31,8 | 3 | 27,52 | -4,28 |
| 1.1.2 Clima | - | - | - | - | - |
| 1.1.3 Tierra-Suelo | 8 | -18,03 | 0 | 18,03 | 0 |
| 1.1.6 Medio marino y costero | 8 | -26,39 | 5 | 23,12 | -3,27 |
| 1.2.1 Vegetación o flora | 11 | -15,73 | 0 | 14,44 | -1,29 |
| 1.2.2 Fauna | 16 | -31,42 | 11 | 29,6 | -1,82 |
| 2.1.1 Paisaje intrínseco | 9 | -24,62 | 5 | 17,25 | -7,37 |
| 2.1.2 Intervisibilidad | 10 | -13,86 | 0 | 11,32 | -2,54 |
| 3.1.1 Uso recreativo al aire libre | 6 | -29,33 | 3 | 17,65 | -12,27 |
| 3.2.1 Características culturales | 10 | -33,82 | 1 | 25,82 | -8 |
| 4.1.2 Estructura poblacional | 22 | 8,32 | 0 | 1,5 | 9,82 |
| 4.2.2 Actividades y relaciones económicas | 5 | 23,59 | 0 | 8,02 | 31,62 |
| 5.1.2 Infraestructura no viaria | 3 | 0,56 | 0 | -0,56 | 0 |
| TOTAL ENTORNO | 113 | -193,12 | 28 | 193,71 | 0,59 |
| JUICIO | | | | | |
| Tipo de impacto global | Reducido | Compatible | Moderado | Severo | Crítico |
| Número (sin medidas) | 30 | 0 | 29 | 23 | 31 |
| Porcentaje (sin medidas) | 26,55 % | 0 % | 25,66 % | 20,35 % | 27,43 % |

| | | | | | |
|--------------------------|---------|--------|-----|-----|-----|
| Número (con medidas) | 110 | 3 | 0 | 0 | 0 |
| Porcentaje (con medidas) | 97,35 % | 2,65 % | 0 % | 0 % | 0 % |

En las siguientes dos gráficas se puede ver los valores de la magnitud antes y después de aplicar las medidas correctoras. Los factores más afectados negativamente son las características culturales, el aire y la fauna.

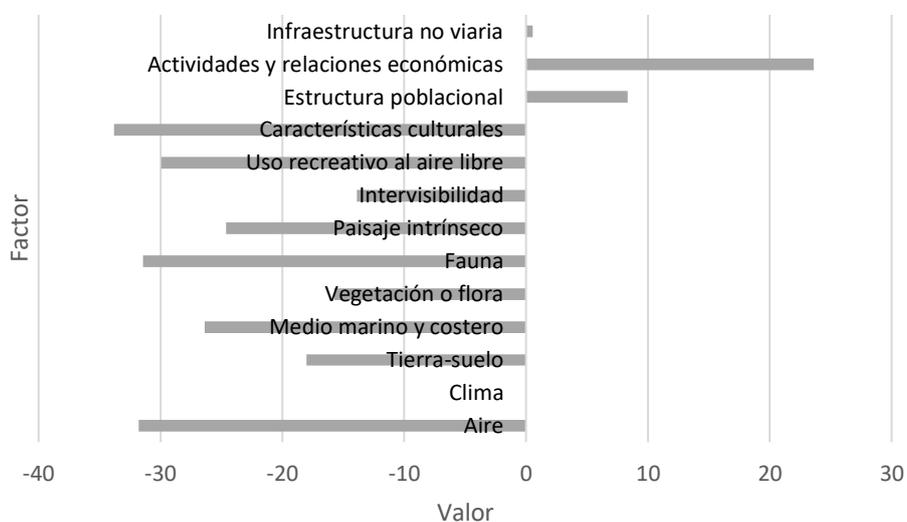


Figura 64.- Valor de la magnitud antes de aplicar las medidas correctoras.

Al igual que en la valoración cualitativa, se han aplicado medidas correctoras para disminuir los valores negativos de las magnitudes de cada factor. Como se puede observar, una vez aplicadas las medidas correctoras, los valores de la magnitud se convierten en positivos excepto el valor de la infraestructura no viaria. Aun así, este último corresponde a un impacto compatible por lo que no causará daños importantes.

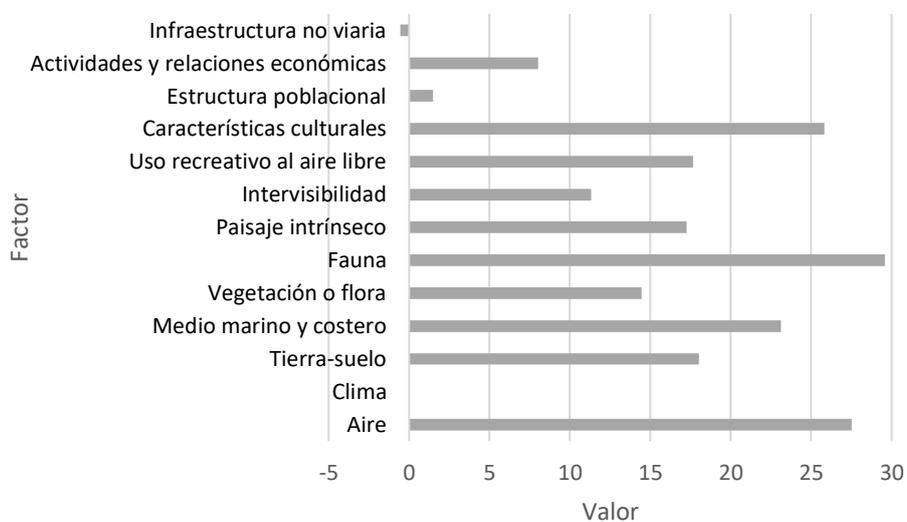


Figura 65.- Valor de la magnitud después de aplicar las medidas correctoras.

Por otro lado, se ha hecho un gráfico donde se puede ver el porcentaje global de cada tipo de impacto después de aplicar las medidas correctoras.

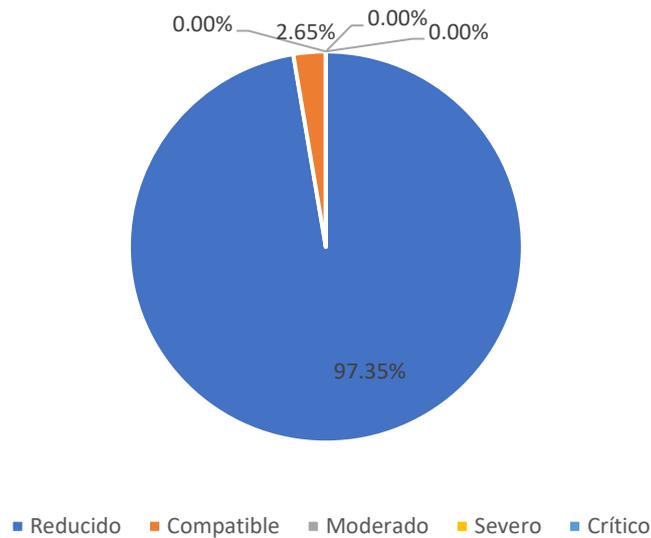


Figura 66.- Porcentaje global de cada tipo de impacto en la valoración cuantitativa después de aplicar las medidas correctoras.

Para poder comparar el resultado de aplicar medidas correctoras se ha creado el siguiente gráfico. Como se ha comentado anteriormente, todos los impactos pasan a ser de tipo reducido excepto uno que es de tipo compatible. Por tanto, se puede afirmar que la aplicación de las medidas correctoras disminuye el impacto ambiental que puede generar el proyecto.

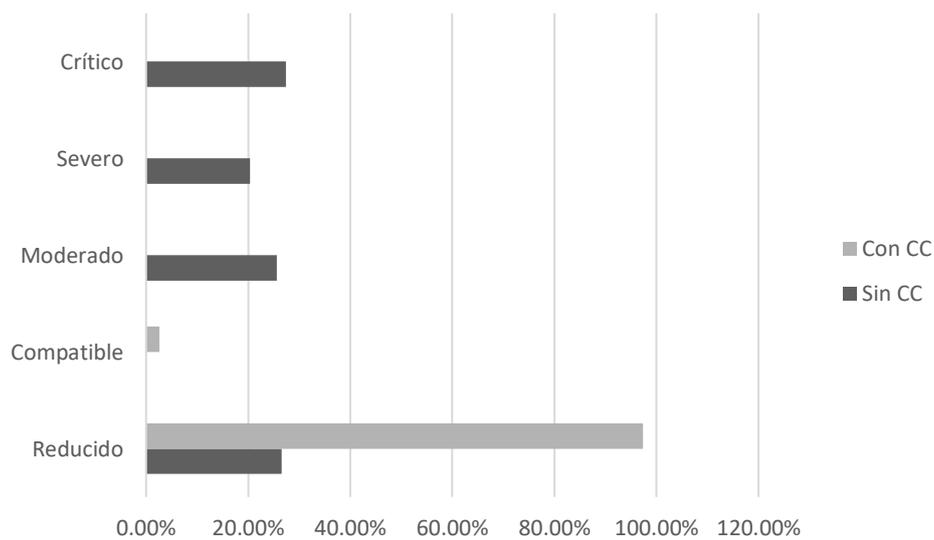


Figura 67.- Comparativa del porcentaje global de cada tipo de impacto antes y después de aplicar medidas correctoras.

8. METODOLOGÍA SEGUIDA EN EL DESARROLLO

8.1 DESCRIPCIÓN DE TAREAS, FASES, EQUIPOS O PROCEDIMIENTOS

Para la realización de este proyecto, se ha utilizado un ordenador con conexión a Internet. Para empezar, se ha hecho una búsqueda general de información sobre las plantas de energía eólica offshore, la situación de la energía eólica, etc. A continuación, se han ido completando cada apartado de manera ordenada, como se puede ver en el diagrama de Gantt del siguiente apartado.

Se ha seguido el procedimiento utilizado durante el año escolar en la asignatura de impacto ambiental, además de la teoría y metodologías explicadas en dicha asignatura.

Por último, se han hecho las correcciones y mejoras necesarias y un último repaso antes de la entrega del proyecto.

8.2 PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO: DIAGRAMA DE GANTT

En este diagrama de Gantt se puede ver la planificación llevada a cabo en la realización del trabajo.

| ACTIVIDAD | Junio | | | | Julio | | | | Agosto | | | | Septiembre |
|--|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| | Semana 1 | Semana 2 | Semana 3 | Semana 4 | Semana 5 | Semana 6 | Semana 7 | Semana 8 | Semana 9 | Semana 10 | Semana 11 | Semana 12 | Semana 13 |
| MEMORIA | | | | | | | | | | | | | |
| Búsqueda de información | | | | | | | | | | | | | |
| RESUMEN | | | | | | | | | | | | | |
| INTRODUCCIÓN | | | | | | | | | | | | | |
| Fuentes de energía | | | | | | | | | | | | | |
| Situación energética actual | | | | | | | | | | | | | |
| CONTEXTO | | | | | | | | | | | | | |
| Energía eólica en el mundo, en Europa y en España | | | | | | | | | | | | | |
| Energía eólica offshore | | | | | | | | | | | | | |
| Evaluación de impacto ambiental | | | | | | | | | | | | | |
| Normativa | | | | | | | | | | | | | |
| OBJETIVOS Y ALCANCE DEL TRABAJO | | | | | | | | | | | | | |
| BENEFICIOS | | | | | | | | | | | | | |
| DESCRIPCIÓN DE REQUERIMIENTOS | | | | | | | | | | | | | |
| SELECCIÓN DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA | | | | | | | | | | | | | |
| Descripción del proyecto | | | | | | | | | | | | | |
| Descripción de la central | | | | | | | | | | | | | |
| Acciones en cada fase del proyecto | | | | | | | | | | | | | |
| Recursos | | | | | | | | | | | | | |
| Alternativas y criterios | | | | | | | | | | | | | |
| Factores ambientales | | | | | | | | | | | | | |
| Inventario ambiental | | | | | | | | | | | | | |
| Matriz de identificación de efectos | | | | | | | | | | | | | |
| Valoración cualitativa y cuantitativa | | | | | | | | | | | | | |
| METODOLOGÍA SEGUIDA EN EL DESARROLLO | | | | | | | | | | | | | |
| DESCRIPCIÓN DE TAREAS FASES, EQUIPOS O REQUERIMIENTOS | | | | | | | | | | | | | |
| PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO | | | | | | | | | | | | | |
| DESCRIPCIÓN DE LOS CÁLCULOS | | | | | | | | | | | | | |
| ASPECTOS ECONÓMICOS | | | | | | | | | | | | | |
| DESCRIPCIÓN DEL PRESUPUESTO | | | | | | | | | | | | | |
| ANÁLISIS DE RENTABILIDAD | | | | | | | | | | | | | |
| CONCLUSIONES | | | | | | | | | | | | | |
| BIBLIOGRAFÍA | | | | | | | | | | | | | |
| CORRECCIONES | | | | | | | | | | | | | |

Figura 68.- Diagrama de Gantt del proyecto.

8.3 DESCRIPCIÓN DE LOS CÁLCULOS

8.3.1 Selección del modelo de aerogenerador

Para seleccionar el modelo de aerogenerador que se utilizará en la planta eólica offshore se han tenido en cuenta las curvas de potencia de cada modelo, la distribución Weibull, el factor de capacidad y la probabilidad de cada modelo.

Para empezar, se ha calculado la probabilidad de cada modelo mediante la siguiente ecuación:

$$P(V_1 \leq V \leq V_2) = e^{-\left(\frac{V_1}{c}\right)^k} - e^{-\left(\frac{V_2}{c}\right)^k} \quad (1)$$

Donde P es un valor porcentual entre las horas que sopla el viento entre las velocidades V_1 y V_2 , c es el factor de escala (m/s) y k es el factor de forma que caracteriza la asimetría o sesgo de la función de probabilidad (m/s).

Para obtener el valor de estos dos últimos parámetros, se necesita la distribución Weibull en la ubicación donde se encuentra la central, la cual da información sobre la variación del viento en dicha localización. Para este caso obtenemos los siguientes valores: $c = 9,84$ m/s y $k = 1,64$ m/s.

Una vez obtenido los valores de la probabilidad y la distribución Weibull, se puede calcular la cantidad de horas que trabaja el aerogenerador al año, multiplicando la probabilidad por las horas totales en un año (8760 h).

A continuación, mediante la curva de potencia de cada modelo de aerogenerador, se puede calcular la energía anual de cada modelo. Para ello, hay que multiplicar la potencia por la cantidad de horas calculadas anteriormente en cada probabilidad. La curva de potencia representa la potencia eléctrica de un aerogenerador a diferentes velocidades del viento. Este parámetro es relevante y suele ser facilitado por el fabricante de cada aerogenerador en su comercialización. Una vez calculado la energía anual para cada probabilidad, se puede calcular la producción de energía anual ideal y la real, suponiendo que va a haber un 5% de pérdidas.

Para finalizar, se calcula el factor de capacidad (CF) que representa la energía anual producida (AEP) respecto a la energía que produciría la central si estuviese funcionando a potencia nominal (P_r) durante todas las horas del año.

$$CF = \frac{AEP (kWh)}{P_r (kW) \cdot 365 \cdot 24} \quad (2)$$

8.3.2 Cantidad de aerogeneradores y posicionamiento

Para calcular el número de aerogeneradores necesarios, hay que dividir la potencia total del parque eólico entre la potencia nominal de cada aerogenerador:

$$N^{\circ}_{aerogeneradores} = \frac{Potencia\ total\ del\ parque\ eólico}{Potencia\ nominal\ de\ cada\ aerogenerador} \quad (3)$$

En este caso, el cálculo sería:

$$N^{\circ}_{aerogeneradores} = \frac{150\ MW}{5\ MW} = 30\ aerogeneradores$$

Los aerogeneradores utilizados tienen un diámetro de rotor de 128 m y, por lo tanto, la distancia que tiene que haber entre los aerogeneradores en la dirección paralela al viento es de 1280 m.

$$\text{Distancia entre aerogeneradores en la dirección del viento} = 128 \text{ m} \cdot 10 = 1280 \text{ m}$$

Por otra parte, la distancia que deberán tener los aerogeneradores en la dirección perpendicular del viento es de 640 m.

$$\text{Distancia entre aerogeneradores perpendicularmente} = 128 \text{ m} \cdot 5 = 640 \text{ m}$$

8.3.3 Cálculo de los impactos en la valoración cualitativa y cuantitativa

Valoración cualitativa

Para el cálculo de la importancia se utiliza la siguiente fórmula en la que se tienen en cuenta la intensidad, la extensión, el momento, la persistencia, la capacidad de recuperación, el efecto, la interrelación de impactos y la periodicidad. Estos atributos se han explicado en el 6.9.1 Valoración cualitativa.

$$I = \pm (3IN + 2EX + MO + PE + CR + EF + II + PR) \quad (4)$$

Una vez calculado la importancia, se procede a calcular la importancia estandarizada mediante la siguiente ecuación cuando se cumple la condición de que sea diferente a 0. Si es igual a 0, el valor de la importancia estandarizada será 0.

$$i_{st} = \frac{i^{\pm} - I_{min}}{I_{max} - I_{min}} \quad (5)$$

Donde i es el valor de importancia, I_{min} es el mínimo valor de la importancia que será 13, y I_{max} es el máximo valor de la importancia que será 100.

A continuación, se calcula la importancia ponderada mediante la siguiente ecuación.

$$i_p = \frac{i_{st}^{\pm} \cdot PF}{100} \quad (6)$$

Donde PF es el peso de cada factor y i_{st} es la importancia estandarizada.

Una vez calculados dichos valores, se puede calcular el valor de la importancia de los impactos del factor correspondiente mediante la ecuación 7, la diferencia del valor de la importancia con sin medidas correctoras y con medidas correctoras (ecuación 8), y el valor de la importancia con medidas correctoras (ecuación 9).

$$IN = i_p^+ - i_p^- \quad (7)$$

$$INCC = i_p^+ - i_p^- (\text{con CC}) \quad (8)$$

$$ICC = INCC - IN \quad (9)$$

Por último, se calcula la importancia total del impacto provocado por el proyecto en ausencia de medidas correctoras (ecuación 10), la importancia total del impacto de las medidas correctoras (ecuación 11) y la importancia total del impacto provocado por el proyecto y las medidas correctoras (ecuación 12).

$$IN_p = \sum CC \quad (10)$$

$$IN_{PCC} = \sum (INCC - IN) \quad (11)$$

$$IN_{Pcon+CC} = IN_P + IN_{PCC} \quad (12)$$

Valoración cuantitativa

El cálculo del valor de la importancia en la valoración cuantitativa se realiza igual que en la valoración cualitativa, pero sin tener en cuenta los atributos de impacto de intensidad y la extensión.

$$I = \pm (MO + PE + CR + EF + II + PR) \quad (13)$$

Para el cálculo de la importancia estandarizada se utiliza la ecuación 4 pero en este caso el mínimo valor de la importancia será 8 y el máximo valor de la importancia será 40 ya que no se tienen en cuenta los valores de la intensidad y la extensión. Para el cálculo de la importancia ponderada se utiliza la ecuación 6.

Una vez calculados dichos valores, se calculan el valor de la importancia de los impactos del factor correspondiente mediante la ecuación 7, la diferencia del valor de la importancia con sin medidas correctoras y con medidas correctoras (ecuación 8), y el valor de la importancia con medidas correctoras (ecuación 9).

A continuación, se calcula la magnitud de los impactos del factor ya que el objetivo de la valoración cuantitativa es calcular la magnitud de los impactos. Para ello se utilizan indicadores asignados a cada medio.

$$V_p = \left[\frac{1}{1+T} + \frac{T \cdot |i_{st}^+ - i_{st}^-| - 50}{50 \cdot (1+T)} - (CA_{con} - CA_{sin}) \right] \cdot PF \quad (14)$$

Donde T es un valor propio de cada indicado y CA es la calidad ambiental antes y después de aplicar las medidas correctoras.

Por último, se calcula el valor del impacto total provocado por el proyecto sin medidas correctoras (ecuación 15), el valor del impacto total provocado por las medidas correctoras (ecuación 16), y el valor del impacto total provocado por el proyecto y las medidas correctoras (ecuación 17).

$$IN_P = \sum V_p \quad (15)$$

$$IN_{PCC} = \sum V_{pCC} \quad (16)$$

$$IN_{Pcon+CC} = IN_P + IN_{PCC} \quad (17)$$

8.3.4 Cálculo VAN, TIR y LCOE

El valor del VAN se calcula mediante la siguiente ecuación.

$$VAN = -1 + \sum_{t=1}^n \frac{C_t - P_t}{(1+i)^t} \quad (18)$$

Donde t es el tiempo de periodos que han transcurrido desde el inicio (año), C_t es la cuantía de los cobros realizados en el periodo t, P_t es la cuantía de los pagos efectuados en el periodo t, i es el tipo de interés acumulado al que actualizamos los flujos de caja en el periodo t (%).

El TIR corresponde a aquella tasa de descuento, o costo de capital, que logra que el VAN del proyecto sea cero, o que la inversión inicial sea exactamente igual al valor actual del flujo neto de fondos. El cálculo del TIR se realizará con la siguiente fórmula:

$$TIR = \frac{r}{(1 - \frac{1}{(1+r)^n})} \quad (19)$$

Donde r es la tasa de descuento y n es la vida útil de la central.

El cálculo del LCOE se realiza mediante la siguiente ecuación:

$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{I_t + M_t + F_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+r)^t}} \quad (20)$$

Donde I_t es la inversión realizada durante el año t, M_t son los costes de operación y mantenimiento en el año t, F_t son los costes de combustible en el año t, E_t es la electricidad generada durante el año t, r es la tasa de descuento y n es la vida útil de la planta.

9. ASPECTOS ECONÓMICOS

9.1 DESCRIPCIÓN DEL PRESUPUESTO

En este apartado se tabularán los presupuestos que supondría cada fase de la central. Hay que tener en cuenta que es un presupuesto aproximado y que podría variar significativamente dependiendo del emplazamiento, los materiales, el transporte, etc. utilizado.

En la siguiente dos tablas se puede ver el presupuesto aproximado para la fase de construcción:

Tabla 23.- Presupuesto de permisos y licencias de obras.

| PERMISOS Y LICENCIAS DE OBRAS | |
|--------------------------------------|-------------------|
| | PRECIO (€) |
| Permisos y licencias de obras | 750.000 |
| TOTAL | 750.000 |

Tabla 24.- Presupuesto de construcción.

| CONSTRUCCIÓN | | |
|------------------------------------|-----------------|--------------------|
| | CANTIDAD | PRECIO (€) |
| Aerogenerador | 30 | 150.000.000 |
| Cimentación | 30 | 30.000.000 |
| Sistema de fondeo y anclaje | 30 | 60.000.000 |
| Subestación | | 12.000.000 |
| Cableado | | 20.500.000 |
| Instalación eléctrica | | 1.500.000 |
| Excavación y movimiento de tierras | | 2.500.000 |
| Transporte | | 9.000.000 |
| Obra civil | | 20.000.000 |
| Montaje | | 15.000.000 |
| Maquinaria | | 5.000.000 |
| Materiales | | 400.000 |
| TOTAL | | 325.900.000 |

Otra etapa para tener en cuenta es la fase de operación y mantenimiento:

Tabla 25.- Presupuesto de operación y mantenimiento.

| OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO | |
|---|-------------------|
| | PRECIO (€) |
| Costo anual de mantenimiento | 1.500.500 |
| Salario del jefe de planta | 50.000 |
| Salario del jefe de operación | 80.000 |
| Salario del jefe de mantenimiento | 80.000 |
| Salario del personal de mantenimiento | 60.000 |
| Salario del jefe de seguridad | 50.000 |
| Salario de los operarios | 50.000 |
| Salario de ingenieros | 60.000 |
| Salario de los trabajadores de limpieza | 30.000 |
| Gastos de gestión administrativa | 100.000 |

| | |
|--------------|-----------|
| TOTAL | 2.060.500 |
|--------------|-----------|

Una vez finalizada la vida útil del parque, se desmantela y se abandona. En la siguiente tabla se puede observar el presupuesto aproximado para dicha fase:

Tabla 26.- Presupuesto de desmantelamiento.

| DESMANTELAMIENTO | |
|-------------------------|-------------------|
| | PRECIO (€) |
| Desmantelamiento | 4.750.000 |
| TOTAL | 4.750.000 |

Por último, se han recogido los presupuestos aproximados para acciones secundarias:

Tabla 27.- Presupuesto de otras acciones.

| OTROS | |
|----------------------------------|-------------------|
| | PRECIO (€) |
| Ordenadores | 30.000 |
| Licencias software | 6.000 |
| Equipos de medición y simulación | 14.000 |
| Pruebas de funcionamiento | 12.000 |
| Limpieza | 14.500 |
| Control de calidad | 200.000 |
| Impacto ambiental | 200.000 |
| Seguridad y salud | 200.000 |
| TOTAL | 676.500 |

Por tanto, la inversión total teniendo en cuenta todas las acciones anteriores será 334.137.000 €.

Además, también hay que tener en cuenta que las medidas correctoras que se proponen tendrán un presupuesto. Aun así, el presupuesto dependerá del tipo de medidas correctoras implantadas ya que algunas medidas correctoras no generan grandes impactos económicos y mejoran mucho la calidad ambiental.

Tabla 28.- Presupuesto de las medidas correctoras.

| MEDIDAS CORRECTORAS | |
|----------------------------|-------------------|
| | PRECIO (€) |
| Medidas correctoras | 10.000 |

Se ha supuesto que el presupuesto de las medidas correctoras será de 10.000 €.

9.2 ANÁLISIS DE RENTABILIDAD

Para empezar, se han calculado el VAN y el TIR para analizar si la central es viable y rentable, estos, son dos tipos de herramientas financieras muy potentes que determinan si una nueva inversión o una oportunidad de expansión vale la pena. El VAN (Valor Actual Neto) calcula la rentabilidad de la inversión y expresa los resultados en términos de unidades de valor monetario. El TIR (Tasa Interna de Retorno) expresa los resultados en términos relativos en forma de porcentaje y señala la tasa a la cual se recupera la inversión inicial de la central. Dichos parámetros se relacionan entre sí con el flujo de caja de los negocios.

Para que un proyecto sea rentable y viable, el valor del VAN debe ser positivo y se calcula mediante la ecuación 18 del apartado 7.3.4 Cálculo de VAN, TIR y LCOE.

El TIR corresponde a aquella tasa de descuento, o costo de capital, que logra que el VAN del proyecto sea cero, o que la inversión inicial sea exactamente igual al valor actual del flujo neto de fondos. El cálculo del TIR se realizará con la ecuación 19 del apartado 7.3.4 Cálculo de VAN, TIR y LCOE.

El VAN debe de ser positivo para que el inversionista gane más sobre lo que tenía pensado ganar. Si es cero, entonces el inversionista gana sólo para pagar sus costes de capital. Pero si es negativo, indica cuánto le faltó al proyecto para que el inversionista ganara lo que deseaba, aunque no necesariamente indica pérdidas. Por lo tanto, se desea que el VAN salga positivo.

Por lo general, el VAN y el TIR conducen la misma decisión. Es decir, si el VAN es positivo, la TIR es mayor que la tasa de descuento, y se aceptan los proyectos. Si el VAN es cero, la TIR es exactamente igual a la tasa de descuento y deben buscarse otras razones para aceptar o rechazar el proyecto, porque el inversionista gana justo para pagar sus costes de capital. Por último, si el VAN es negativo, la TIR es menor que la tasa de descuento exigida por el inversionista, por lo tanto, no gana todo lo que deseaba obtener, lo que conduce a no realizar el proyecto.

Para el cálculo del VAN y TIR se utilizarán las siguientes hipótesis básicas:

Tabla 29.- Hipótesis básicas.

| | |
|---|---------|
| Inflación prevista | 3,5 % |
| Aumento de los ingresos | 1,4 % |
| Vida útil | 25 años |
| WACC (tasa de interés de los fondos propios) | 8,5 % |
| r | 6,325 % |
| Coste de las emisiones de CO₂ | 0 € |

La energía eólica es una energía renovable e intensiva en capital, aunque presentan características atractivas desde el punto de vista de riesgo al tener periodo de construcción corto, bajos costes de operación y no tener costes de combustible ni de emisiones. Por lo tanto, los costes de emisiones CO₂ se van a considerar nulos.

Para calcular los ingresos hay que tener en cuenta el coste medio diario de la electricidad que se ha obtenido por la fuente OMIE, el número de aerogeneradores y la energía real obtenida por el aerogenerador, y a este valor hay que sumarle el porcentaje de aumento de los ingresos que se supondrá que será de un 1,4 % cada año. A los gastos de mantenimiento y operación se le aplicará la inflación prevista de 3,5 % cada año. El cash-flow o caja de flujo es la diferencia entre los ingresos y los gastos de cada año y el payback se calcula sumando el cash-flow de diferentes años.

Así, se consigue un valor de TIR de 8,07 % y un valor de VAN de 115777917,1 €. Como se puede observar, el valor del VAN es positivo por lo que el inversionista ganará más sobre lo que deseaba ganar. Por otro lado, como se ha explicado anteriormente, como el valor del VAN es positivo, el valor del TIR tiene que ser superior a la tasa de descuento como sucede en este caso.

Por otro lado, se puede observar que en el año 8 el payback, indicador que refleja el periodo de retorno de una inversión, es positivo por lo que el proyecto comienza a obtener beneficios, es decir, es rentable.

En la siguiente imagen se pueden ver los resultados obtenidos:

| Año | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|-------------------------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Inversión (€) | -334137000 | | | | | | | |
| Ingresos (€) | | 53,252,112 | 53,997,641 | 54,753,608 | 55,520,159 | 56,297,441 | 57,085,605 | 57,884,804 |
| Mantenimiento y operación (€) | | -11694795 | -12104112.8 | -12527756.8 | -12966228.3 | -13420046.3 | -13889747.9 | -14375889 |
| Cash Flow | -334137000 | 41557316.61 | 41893528.35 | 42225851.38 | 42553930.4 | 42877394.63 | 43195857.19 | 43508914.48 |
| Cálculo de payback | -334137000 | -292579683 | -250686155 | -208460304 | -165906373 | -123028979 | -79833121.4 | -36324207 |

| 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | | | | | | | | | |
| 58,695,191 | 59,516,923 | 60,350,160 | 61,195,063 | 62,051,793 | 62,920,519 | 63,801,406 | 64,694,626 | 65,600,350 | 66,518,755 |
| -14879045 | -15399812 | -15938805 | -16496663 | -17074047 | -17671638 | -18290146 | -18930301 | -19592861 | -20278611 |
| 43816145.6 | 44117111.7 | 44411355.2 | 44698399.3 | 44977746.9 | 45248880.4 | 45511260.4 | 45764324.9 | 46007489.2 | 46240143.9 |
| 7491938.66 | 51609050.4 | 96020405.6 | 140718805 | 185696552 | 230945432 | 276456693 | 322221018 | 368228507 | 414468651 |

| 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 |
|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| | | | | | | | |
| 67,450,018 | 68,394,318 | 69,351,838 | 70,322,764 | 71,307,283 | 72,305,585 | 73,317,863 | 74,344,313 |
| -20988363 | -21722955 | -22483259 | -23270173 | -24084629 | -24927591 | -25800057 | -26703059 |
| 46461655.1 | 46671362.7 | 46868579.7 | 47052591.4 | 47222654 | 47377994 | 47517806.5 | 47641254.6 |
| 460930306 | 507601668 | 554470248 | 601522840 | 648745494 | 696123488 | 743641294 | 791282549 |

Figura 69.- Resultados obtenidos en la vida útil de la planta.

Por otro lado, se ha calculado el valor del LCOE con la ecuación 20 del apartado 7.3.4 Cálculo de VAN, TIR y LCOE. El concepto de LCOE (Levelized Cost of Energy o Coste Nivelado de la Energía), en su forma simple, consiste en calcular el costo promedio total de construir y operar una central eléctrica y dividirlo entre la energía total a ser generada durante su vida útil. (IDB, 2018)

Se ha conseguido un valor de LCOE de 0,05 €/kWh. Este valor es similar a la que se obtiene de la bibliografía por lo que se puede confirmar que el cálculo es correcto.

Como se puede ver en la siguiente imagen obtenido por la fuente IRENA, el valor de LCOE en la eólica marina ha ido disminuyendo año tras año. Entre los años 2010 y 2021, el valor promedio ponderado de LCOE disminuyó un 60 % desde 0,188 USD/kWh a 0,075 USD/kWh. Esto es debido al aumento de la experiencia y de la competición, los avances en la tecnología de aerogeneradores y el establecimiento de cadenas de suministros locales y regionales.



Figura 70.- Evolución del LCOE en eólica offshore. (IRENA, 2021)

10. CONCLUSIONES

Uno de los aspectos clave a analizar es la situación energética actual, tanto a nivel local como nacional y mundial, ya que se encuentra en un estado de transición cada vez más activo hacia el desarrollo sostenible. Se puede decir que en los próximos años será necesario un desarrollo energético que ayude a descarbonizar el mundo. Por tanto, es necesario realizar una transición energética hacia un sistema más sostenible mediante el uso de energía renovable. En este aspecto, la energía eólica es fundamental para la reducción de los gases de efecto invernadero.

Una de las razones clave del crecimiento y desarrollo de la energía eólica es la llegada de los parques eólicos marinos. Las turbinas eólicas marinas utilizan las mismas fuentes de viento que la eólica terrestre, pero existen algunas diferencias entre ellas como el medio, el bajo impacto visual y acústico que generan por su emplazamiento en alta mar, lejos de la costa, y la capacidad de producir una mayor cantidad de energía en comparación con la eólica onshore ya que en alta mar el viento no encuentra barreras y por lo tanto su fuerza es mucho mayor.

Por otro lado, es muy importante investigar y seleccionar variables antes de diseñar un proyecto. Para empezar, la elección del sitio adecuado ya que la construcción de un parque eólico offshore tiene un gran impacto en la población y en el lugar donde se ubica. En este caso, se ha ubicado en la costa de Cataluña por la gran velocidad del viento y la densidad de potencia eólica, exactamente entre Cadaqués y Begur, a una profundidad de 200 m y a una distancia de 20-30 km desde la costa. Se encuentra fuera de los principales espacios protegidos y está próxima a los nodos de red de transporte de alta tensión (400 kV) de La Farga y Santa Llogaia. Asimismo, no entorpece el tráfico aéreo ni el tráfico marítimo ya que se sitúa suficientemente lejos de la costa para no ser perjudicial. Por otro lado, se ha hecho el diseño de la central seleccionando el modelo de aerogenerador más adecuado y el tipo de cimentación, de fondeo y de anclaje.

En cuanto a las alternativas de mejora, se han propuesto 4 alternativas y se ha evaluado las consecuencias ambientales que tendrían la implementación de dichas alternativas mediante tres métodos (método simple, método de puntuación ponderada y método electre). Para realizar la evaluación se han tenido en cuenta tres criterios de ordenación: medio natural, medio social y medio económico, y se han definido diferentes criterios para cada uno de ellos. Así se ha decidido que la mejor alternativa es integrar tecnologías de almacenamiento de energía.

En cuanto a los factores ambientales, se han utilizado tres métodos (ordenación por pares, ordenación por rangos, ordenación escalar) para analizar la importancia que tiene cada factor. El factor con mayor ponderación es el uso recreativo del aire libre seguido de la estructura poblacional y las actividades y relaciones económicas. Asimismo, el factor menos afectado sería los procesos del medio biótico, seguido de la intervisibilidad y el clima.

En cuanto al proceso de evaluación de impactos, se ha hecho una valoración cualitativa y cuantitativa y se ha llegado a la conclusión de que algunos van a tener mayor influencia sobre algunos factores que otros. Entre las acciones que generan impactos positivos, destacan los sistemas de control de calidad, control de emisiones y efluentes y control de ruido y vibraciones. Estas acciones pueden ayudar a mejorar el parque reduciendo accidentes por contaminación de emisiones y efluentes o contaminación acústica.

Una vez realizadas las evaluaciones para el proyecto mediante el uso de las diferentes hojas de cálculo, se han propuesto medidas correctoras para disminuir los impactos que tienen las acciones en cada factor y evaluar dichos impactos con y sin medidas correctoras. Así, se ha

llegado a la conclusión de que la implantación de medidas correctoras mejora mucho los impactos tanto en la evaluación cualitativa como en la evaluación cuantitativa.

Por último, para analizar si el proyecto es viable económicamente o no, se ha llevado un análisis económico analizando el presupuesto de cada fase del proyecto y de las medidas correctoras y realizando un análisis de rentabilidad mediante el cálculo del VAN, TIR y LCOE. En este caso, tanto el VAN como el TIR tienen valores positivos por lo que se puede afirmar que el proyecto es económicamente viable. Asimismo, el valor del LCOE obtenido es muy similar a la que se obtiene de la bibliografía por lo que el cálculo realizado es correcto.

11. BIBLIOGRAFÍA

- AEE. Asociación empresarial eólica. (s.f.). Obtenido de <https://aeeolica.org/sobre-la-eolica/la-eolica-en-el-mundo/>
- Armstrong, I. d. (2018). Criterios de instalación de un parque eólico marino.
- Barrero, A. (7 de Febrero de 2022). Cataluña quiere instalar 12.000 megavatios de potencia renovable en los próximos nueve años. *Renewable energy magazine*. Obtenido de <https://www.energias-renovables.com/panorama/cataluna-quiere-instalar-12-000-megavatios-de-20220207>
- BOE. (2013). *Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental*.
- BOE. (28 de Marzo de 2019). Obtenido de <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2019-4494>
- bp. (2022). *Statistical review of world energy*. Obtenido de <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2022-full-report.pdf>
- Campello, L. S. (2011). Impactos ambientales de un parque eólico marino. Retos y oportunidades. El caso de Huelva.
- CENER. (2023). *Mapa Ibérico de alta resolución*. Obtenido de <https://www.mapaeolicoiberico.com/map;latitude=42.12754;longitude=3.48742;altura=50;dato=micro>
- CNMC. (21 de Febrero de 2023). *Información mensual de estadísticas sobre producción de energía eléctrica a partir de renovables, cogeneración y residuos*. Obtenido de <https://www.cnmc.es/estadistica/informacion-mensual-de-estadisticas-sobre-produccion-de-energia-electrica-partir-de-13>
- Cursos energía renovables. (s.f.). *Parques Eólicos Marinos: Ventajas y Desventajas*. Obtenido de <https://estudiarenergiasrenovablesonline.es/parques-eolicos-marinos-ventajas-y-desventajas/>
- Descubre la energía. (s.f.). *Fuentes de energía*. Obtenido de <https://descubrelaenergia.fundaciondescubre.es/sobre-la-energia/fuentes-de-energia/>
- Dolors Roset Pagès, D. S. (s.f.). Las obras hidráulicas en los sistemas fluviales de la costa Brava: preferencias locales y limitaciones de un modelo convencional de adaptación al riesgo de inundación.
- eea.europa. (s.f.). Estado y presiones del medio ambiente marino y del litoral mediterráneo.
- El periódico de la energía. (10 de Marzo de 2023). *La potencia eólica instalada en España roza los 30 GW, duplicando el incremento en 2022 con 1.670 MW más*. Obtenido de <https://elperiodicodelaenergia.com/potencia-eolica-instalada-espana-roza-30-gw-duplicando-incremento-2022-1-670-mw/>

- Elnacional.cat. (20 de Julio de 2018). *Los relieves de Catalunya*. Obtenido de https://www.elnacional.cat/es/cultura/test-coneixements-relieues-catalunya_289995_102.html
- EMODnet Map Viewer. (2023). Obtenido de <https://emodnet.ec.europa.eu/geoviewer/>
- ENAIRES. (2023). Obtenido de <https://www.enaire.es/home>
- Endesa. (1 de Febrero de 2023). *Sistemas de almacenamiento de energía: los mejores aliados cuando el sol y el viento nos dejan*. Obtenido de <https://www.endesa.com/es/la-carare/energias-renovables/sistemas-almacenamiento-energia-aliados-descarbonizacion>
- Energías renovadas. (21 de Noviembre de 2012). *Componentes de un aerogenerador*. Obtenido de <https://energiasrenovadas.com/componentes-de-un-aerogenerador/>
- Fuentes de energía*. (s.f.). Obtenido de <https://energicitateconnatalia.wordpress.com/energia-eolica/aerogeneradores/partes/>
- Fundació Catalunya La pedrera. (2023). *Fauna y flora*. Obtenido de <https://www.fundaciocatalunya-lapedrera.com/es/espacios-naturaleza/montana-alinya/fauna-flora#:~:text=En%20los%20bosques%20se%20encuentran,la%20nutria%2C%20y%20en%20las>
- gencat. (18 de Octubre de 2010). *Energía Eólica en Cataluña*. Obtenido de https://icaen.gencat.cat/web/.content/06_relacions_institucionals_i_comunicacio/02_agenda/actes_i_jornades/arxiu/20101018_programa_parqueseolicoscataluna.pdf
- gencat. (2020). *La pesca recreativa a la costa catalana. Guia d'espècies*. Obtenido de <https://agricultura.gencat.cat/ca/detalls/Publicacio/2020-Guia-despecies.-La-pesca-recreativa-a-la-costa-catalana>
- gencat. (s.f.). *Balance de energía eléctrica de Cataluña*. Obtenido de https://icaen.gencat.cat/es/energia/estadistiques/resultats/anuals/balanc_energia/index.html#:~:text=La%20producci%C3%B3n%20bruta%20de%20energ%C3%ADa,2%25%20de%20la%20producci%C3%B3n%20total.
- Global wind atlas. (2023). Obtenido de <https://globalwindatlas.info/es/area/Spain>
- González, I. d. (2018). Estudio de implantación de un parque eólico offshore flotante en la costa de Cantabria.
- Hisour. (s.f.). *Cadaqués, comarcas de Girona, Cataluña, España*. Obtenido de <https://www.hisour.com/es/cadaques-girona-counties-catalonia-spain-58883/>
- Iberdrola. (s.f.). *Cimentaciones aerogeneradores marinos*. Obtenido de <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/cimentaciones-aerogeneradores-marinos>
- Iberdrola. (s.f.). *Energía eólica marina*. Obtenido de https://www.iberdrola.com/documents/20125/40546/Infografia_Como_Funciona_Parque_Eolico.pdf/18651bf2-9a0a-f388-6537-b5be9a7d526f?t=1627454860664

- Iberdrola. (s.f.). *Eólica marina flotante*. Obtenido de <https://www.iberdrola.com/innovacion/eolica-marina-flotante>
- IBERPIX. (2023). Obtenido de <http://www.ign.es/iberpix/visor>
- IDB, I.-A. D. (28 de Septiembre de 2018). Obtenido de <https://idbinvest.org/en/node/52786>
- IRENA, I. R. (2021). *Renewable power generation costs in 2021*. Obtenido de https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2022/Jul/IRENA_Power_Generation_Costs_2021.pdf?rev=34c22a4b244d434da0accde7de7c73d8
- Las costas catalanas*. (s.f.). Obtenido de https://premisrecerca.uvic.cat/sites/default/files/webform/8a542dd80f8bed1b3b577312a75ffcfed8331405_TR%20COSTAS%20CATALANAS.pdf
- Marine traffic. (2023). Obtenido de <https://www.marinetraffic.com/en/ais/home/centerx:1.8/centery:42.0/zoom:7>
- Mártel, I. (19 de Septiembre de 2019). *Diario público*. Obtenido de <https://blogs.publico.es/ignacio-martil/2018/09/19/situacion-actual-y-perspectivas-de-futuro-de-la-energia-eolica/>
- Medio ambiente. (s.f.). *Evaluación del impacto ambiental (EIA)*. Obtenido de <https://medioambiente.jcyl.es/web/es/calidad-ambiental/evaluacion-impacto-ambiental.html>
- Ministerio para la Transición Ecológica y el reto. (Diciembre de 2021). *Hoja de ruta eólica marina y energías del mar en España*. Obtenido de <https://www.lamoncloa.gob.es/consejodeministros/resumenes/Documents/2021/101221-Hoja-ruta-eolica-marina.pdf>
- Miteco. (s.f.). *La red Natura 2000 en España*. Obtenido de https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/espacios-protegidos/red-natura-2000/rn_espana.aspx
- Miteco. (s.f.). *Plan de energías renovables 2011-2020*. Obtenido de https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/legislacion/documentacion/PER_2011-2020_VOL_I_tcm30-178649.pdf
- Munguía, S. F. (21 de Marzo de 2018). *Diario Renovables*. Obtenido de <https://www.diariorenovables.com/2018/03/primer-parque-eolico-marino-del-mundo.html>
- Naciones Unidas. (s.f.). *Energías renovables: energías para un futuro más seguro*. Obtenido de <https://www.un.org/es/climatechange/raising-ambition/renewable-energy>
- Red eléctrica de España. (3 de Diciembre de 2021). *La demanda de energía eléctrica de España asciende un 4% en noviembre*. Obtenido de <https://www.ree.es/es/sala-de-prensa/actualidad/nota-de-prensa/2021/12/la-demanda-de-energia-electrica-de-espana-asciende>

- Red eléctrica de España. (s.f.). *El horizonte de la red eléctrica en España*. Obtenido de https://www.ree.es/sites/default/files/01_ACTIVIDADES/Documentos/planificacion/catalu%C3%B1a_v2.pdf
- Rodríguez, J. A. (16 de noviembre de 2019). *El problema energético mundial. Energías renovables y cambio climático*. Obtenido de <https://e-management.mx/2019/11/16/el-problema-energetico-mundial-energias-renovables-y-cambio-climatico/>
- Romero, A. H. (s.f.). *Baterías para Almacenamiento de Energía*. Obtenido de <https://biblus.us.es/bibing/proyectos/abreproy/70692/fichero/10+Baterias+para+Almacenamiento+de+Energ%C3%ADa.pdf>
- The Wind Power. (4 de Junio de 2018). *Gamesa G128/5000*. Obtenido de https://www.thewindpower.net/turbine_es_968_gamesa_g128-5000.php
- The Wind Power. (9 de Mayo de 2023). *Siemens-Gamesa SG 8.0-167 DD*. Obtenido de https://www.thewindpower.net/turbine_es_1558_siemens-gamesa_sg-8.0-167-dd.php
- The Wind Power. (24 de Junio de 2023). *Vestas v164-9500*. Obtenido de https://www.thewindpower.net/turbine_es_1476_vestas_v164-9500.php
- tu tiempo. (s.f.). *Calidad del aire en Cadaqués*. Obtenido de <https://www.tutiempo.net/calidad-del-aire/cadaques.html>
- Vector Renewables. (1 de Febrero de 2023). *¿Sabes lo que es el 'efecto estela' en un parque eólico?* Obtenido de <https://www.vectorenrenewables.com/es/recursos/blog/sabes-lo-que-es-el-efecto-estela-en-un-parque-eolico#:~:text=El%20efecto%20estela%20es%20el,a%20los%20parques%20e%C3%B3licos%20vecinos>
- Vicente Cruz Mínguez, E. G. (2009). Sistema de evaluación de impacto ambiental.
- Visit Cadaqués. (s.f.). *Fiestas y actividades*. Obtenido de <http://www.visitcadaques.org/?lang=es&sec=cultura&sub=festes>
- Weather Spark. (s.f.). *El clima y el tiempo promedio en todo el año en Cadaqués*. Obtenido de <https://es.weatherspark.com/y/49003/Clima-promedio-en-Cadaqu%C3%A9s-Espa%C3%B1a-durante-todo-el-a%C3%B1o>
- Wind Europe. (28 de Febrero de 2023). *Wind energy in Europe: 2022 Statistics and the outlook for 2023-2027*. Obtenido de <https://windeurope.org/intelligence-platform/product/wind-energy-in-europe-2022-statistics-and-the-outlook-for-2023-2027/>

ANEXOS

Anexo 1: Selección de aerogenerador y rentabilidad.xlsx

Anexo 2: Alternativas.xlsx

Anexo 3: Factores ambientales.xlsx

Anexo 4: Valoración cualitativa de impacto.xls

Anexo 5: Valoración cuantitativa de impacto.xls