

MÁSTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA ENERGÉTICA SOSTENIBLE

## TRABAJO FIN DE MÁSTER

# EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL DE UN PARQUE EÓLICO OFFSHORE

<b>Estudiantes</b>	Estébanez García, Raquel
<b>Profesora</b>	Rozas Guinea, Saroa
<b>Departamento</b>	Ingeniería energética
<b>Curso académico</b>	2021-2022

## RESUMEN

---

El presente Trabajo Fin de Master se basa en la evaluación del impacto ambiental (EIA) de un parque eólico offshore.

El primer paso es escoger el mejor emplazamiento donde se pueda obtener una óptima fuente de energía; y para ello se van a analizar 3 localizaciones diferentes y se compararán criterios naturales, sociales y económicos mediante métodos de calificación. Una vez escogido el emplazamiento destacado se prosigue con la elección del aerogenerador que más energía genere, teniendo en cuenta el presupuesto entre otros aspectos. También será necesario escoger un tipo de cimiento donde colocar el aerogenerador, y se tendrá en cuenta la batimetría.

Por otra parte, para poder evaluar el impacto del proyecto propuesto, se van a seleccionar los factores ambientales y las acciones que inciden sobre el medio ambiente. De esta manera, al relacionar estos dos aspectos, se podrá comenzar con la valoración de los impactos calculando el grado de importancia y de magnitud de cada acción.

Una vez visto el impacto causado por construir un parque eólico de dicho calibre, se propondrán medidas correctoras con intención de minimizarlo. Para comprobar que las medidas correctoras escogidas son las correctas se volverá a valorar los impactos teniendo en cuenta esas mejoras.

Para concluir el proyecto se realizará un análisis de rentabilidad, de esta manera se podrá constatar si la propuesta es viable o no, y si se podría llevar a cabo.

Palabras clave: parque eólico, offshore, EIA, impacto ambiental, factores ambientales, Mar del Norte, Helgoland, batimetría, viento, aerogenerador, energía.

## **LABURPENA**

---

Master Amaierako Lana itsasoko parke eoliko baten ingurumen-inpaktuaren ebaluazioan (EIA) oinarritzen da.

Lehenengo pausoa energia-iturri optimoa lor daitekeen tokirik onena aukeratzea da; eta horretarako 3 leku ezberdin aztertuko dira eta irizpide naturala, soziala eta ekonomikoa alderatuko dira kualifikazio metodoen bidez. Hoberena den kokapena aukeratu ondoren, eta aurrekontuak kontuan hartuta, energia gehien sortzen duen aerosorgailua hautatuko da. Era berean, aerosorgailua kokatzen den zimentua hautatuko da batimetria kontuan hartuz.

Bestalde, proposatutako proiektuaren eragina ebaluatzeko, ingurumenari eragiten dioten ingurumen-faktoreak eta ekintzak hautatuko dira. Modu honetan, bi alderdiak lotuz, eraginaren ebaluazioarekin hasi daiteke ekintza bakoitzaren garrantzia eta magnitudea kalkulatz.

Parke eoliko bat eraikitzearen eragina ikusita, neurri zuzentzaileak proposatuko dira, eragina txikitzeko asmoz. Behin hautatuta, inpaktuak berriro ebaluakuko dira hobekuntzak kontuan hartuta, modu honetan aukeratutako neurri zuzentzaileak zuzenak direla egiaztatu ahal izateko.

Proiektua amaitzeko, errentagarritasun-analisia burutuko da, era honetan proposamena bidegarria den ala ez egiaztatu ahal izango da.

Hitz gakoak: parke eolikia, offshore, EIA, ingurumen-inpaktua, ingurumen-faktoreak, Ipar itsasoa, Helgoland, sakontasuna, Haizea, aerosorgailua, energia.

## **ABSTRACT**

---

The present Final Master's Project is based on the environmental impact assessment (EIA) of an offshore wind power station.

The first step is to choose the best location where an optimal source of energy can be obtained; and for this, 3 different locations will be analyzed through qualification methods where natural, social and economic criteria will be compared. Once the location is chosen, considering the budget, the choice of the wind turbine must be taken. It is also necessary to choose a type of foundation to establish the wind turbine; for that the bathymetry will be taken into account.

On the other hand, in order to evaluate the impact of the proposed project, the environmental factors and the actions that affect the environment will be selected. Once these two aspects could be related, it will be possible to begin with the assessment of the impacts by calculating the degree of importance and magnitude of each action.

After seeing the impact that a wind power station can cause, corrective measures will be proposed with the intention of minimizing that impact. To make sure that the chosen corrective measures are the correct ones, the evaluation is going to start again but taking into account these improvements.

To conclude, a profitability analysis will be carried out, in this way it will be possible to verify if the proposal is viable or not, and if it could be carried out.

Key words: wind power station, offshore, EIA, environmental impact, environmental factors, North Sea, Helgoland, bathymetry, wind, wind turbine, energy.

# ÍNDICE

<b>RESUMEN</b>	I
<b>LABURPENA</b>	II
<b>ABSTRACT</b>	III
<b>1.- INTRODUCCIÓN</b>	1
1.1.- LAS DIFERENTES FUENTES DE ENERGÍA	1
1.2.- MEDIDAS PARA EL CAMBIO CLIMÁTICO	4
1.3.- LA EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL (EIA)	6
<b>2.- CONTEXTO</b>	8
2.1.- SITUACIÓN ENERGÉTICA ACTUAL	8
2.2.- EVOLUCIÓN DE LA ENERGÍA EÓLICA OFFSHORE	13
2.3.- VENTAJAS Y DESVENTAJAS	15
2.4.- TRANSPORTE Y MANTENIMIENTO	15
<b>3.- OBJETIVOS</b>	17
<b>4.- BENEFICIOS</b>	18
<b>5.- DESCRIPCIÓN DE REQUERIMIENTOS</b>	19
<b>6.- ANÁLISIS DE LAS ALTERNATIVAS</b>	21
6.1.- ALTERNATIVAS DE LOCALIZACIÓN	21
6.1.1.- No actuación	22
6.1.2.- Mar del Norte	22
6.1.3.- Islas Canarias	23
6.1.4.- Galicia	24
6.2.- EVALUACIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA	25
6.1.- Método simple de ordenación.	26
6.2.- Método ponderado.	27
6.3.- Método electre.	33
6.4.- Resultados de los métodos.	34
<b>7.- DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA</b>	36
7.1.- LOCALIZACIÓN	36
7.2.- AEROGENERADORES	37
7.3.- CIMENTACIÓN	40
7.4.- CONEXIÓN ELÉCTRICA	42
7.5.- ACCIONES	43
7.5.1.- Fase de construcción	44

7.5.2.- Fase de funcionamiento	44
7.5.3.- Fase de desmantelamiento y abandono	44
7.6.- DIAGRAMA DE GANTT DE LA PLANIFICACIÓN DE LA OBRA	45
7.7.- CLASIFICACIÓN FACTORES AMBIENTALES	47
7.7.1.- Clasificación de los subsistemas	47
7.7.2.- Clasificación de los medios	48
7.7.3.- Clasificación de los factores	49
7.7.4.- Resultado de la clasificación	50
7.8.- INVENTARIO AMBIENTAL	50
7.8.1.- Aire	50
7.8.2.- Clima	51
7.8.3.- Tierra-Suelo	53
7.8.4.- Medio marino y costero	56
7.8.5.- Vegetación o flora	58
7.8.6.- Fauna	59
7.8.7.- Intervisibilidad	60
7.8.8.- Uso recreativo al aire libre	61
7.8.9.- Características culturales	61
7.8.10.- Actividades y relaciones económicos	62
7.8.11.- Infraestructura no viaria	62
7.9.- MATRIZ DE IDENTIFICACIÓN DE EFECTO	66
7.9.1.- Construcción	67
7.9.2.- Vida útil	68
7.9.3.- Desmantelamiento y abandono	68
<b>8.- VALORACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES</b>	69
8.1.- VALORACIÓN CUALITATIVA DE LOS IMPACTOS	70
8.2.- VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LOS IMPACTOS	71
8.3.- MEDIDAS CORRECTORAS	73
8.3.1.- Cimentación Suction Bucket	74
8.3.2.- Pintura no tóxica	75
8.3.3.- Alternativas para los residuos generados	76
8.3.4.- Aplicar sensores	76
8.3.5.- Focos regulables	76
8.3.6.- Alterar el terreno indispensable	77
8.3.7.- Emplear un correcto mantenimiento	77

8.3.8.- Sistema de reducción catalítico	77
8.3.9.- Sensores para aves	78
8.3.10.- Aisladores en los engranajes	78
8.4.- VALORACIÓN CUALITATIVA CON MEDIDAS CORRECTORAS	78
8.5.- VALORACIÓN CUANTITATIVA CON MEDIDAS CORRECTORAS	80
8.6.- INFORME FINAL	81
<b>9.- METODOLOGÍA SEGUIDA EN EL DESARROLLO</b>	<b>84</b>
9.1.- DESCRIPCIÓN DE TAREAS, FASES, EQUIPOS O PROCEDIMIENTOS	84
9.2.- DIAGRAMA DE GANTT DE LA PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO	84
9.3.- DESCRIPCIÓN DE LOS CÁLCULOS	86
9.3.1.- Cálculos de aerogeneradores	86
9.3.2.- Cálculos de las valoraciones de los impactos	86
<b>10.- ASPECTOS ECONÓMICOS</b>	<b>88</b>
10.1- DESCRIPCIÓN DEL PRESUPUESTO	88
10.1.1.- Presupuesto de la inversión	88
10.1.2.- Presupuesto de las mejoras	90
10.2.- ANÁLISIS DE RENTABILIDAD	91
<b>11.- CONCLUSIONES</b>	<b>95</b>
<b>12.- BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>96</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>103</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

---

<b>Figura 1.</b> Análisis de las toneladas de CO2 emitidas por GWh producido en los diferentes tipos de energía.....	4
<b>Figura 2.</b> Las principales cumbres climáticas y sus hitos. ....	5
<b>Figura 3.</b> Consumo mundial de energía primaria en 2018. ....	8
<b>Figura 4.</b> Consumo de energía primaria en 2018 en Europa. ....	9
<b>Figura 5.</b> Consumo de energía primaria en 2018 en España. ....	9
<b>Figura 6.</b> La producción renovable en el mundo. ....	10
<b>Figura 7.</b> La producción renovable en Europa. ....	10
<b>Figura 8.</b> La producción renovable en España. ....	11
<b>Figura 9.</b> Instalación eólica global en el 2020. ....	12
<b>Figura 10.</b> Procedimiento de la evaluación de impacto ambiental ordinaria. ....	13
<b>Figura 11.</b> Parque eólico offshore. ....	14
<b>Figura 12.</b> Mapa de parcelas para la presentación de proyectos de energía eólica marina en España .	22
<b>Figura 13.</b> Localización geográfica. ....	22
<b>Figura 14.</b> Rosa de los vientos del Mar del Norte. ....	23
<b>Figura 15.</b> Rosa de los vientos de las Islas Canarias. ....	24
<b>Figura 16.</b> Rosa de los vientos de Galicia. ....	24
<b>Figura 17.</b> Evolución de los aerogeneradores. ....	38
<b>Figura 18.</b> Curvas de potencia: a) SG 8.0-167 DD, b) G128/5000, c) G87/2000, d) SWT 6.0-154. ..	39
<b>Figura 19.</b> Distribución de Weibull en el Mar del Norte. ....	39
<b>Figura 20.</b> Tipos de cimentaciones para aerogeneradores offshore. ....	41
<b>Figura 21.</b> Estructura Jacket. ....	42
<b>Figura 22.</b> Diagrama de Gantt de la planificación de obra. ....	46
<b>Figura 23.</b> Temperaturas medias y precipitaciones. ....	52
<b>Figura 24.</b> Cielo nublado, sol y días de precipitación. ....	52
<b>Figura 25.</b> Cantidad de precipitaciones. ....	53
<b>Figura 26.</b> Velocidad media del viento y ráfagas de viento (kts). ....	53
<b>Figura 27.</b> Acantilado de Helgoland .....	54
<b>Figura 28.</b> Edafología de los alrededores del Mar del Norte. ....	55
<b>Figura 29.</b> Edafología de la zona: a) Podzol; b) Fluvisol; c) Histosol. ....	56
<b>Figura 30.</b> Temperaturas promedio del agua en Helgoland. ....	57
<b>Figura 31.</b> Rutas de las aves migratorias en Europa. ....	60
<b>Figura 32.</b> Producción de energía en Alemania en el 2020. ....	64
<b>Figura 33.</b> Distribución de las energías renovables en Alemania. ....	64
<b>Figura 34.</b> Los parques marinos en el mar del Norte. ....	65
<b>Figura 35.</b> Porcentaje global de los impactos del proyecto sin medidas en la valoración cualitativa.	71
<b>Figura 36.</b> Porcentaje global de los impactos del proyecto sin medidas en la valoración cuantitativa	73
<b>Figura 37.</b> Estructura “Suction Bucket” para aerogeneradores. ....	74
<b>Figura 38.</b> La instalación del vaso de succión. ....	75
<b>Figura 39.</b> Sensores para proteger a las aves. ....	78
<b>Figura 40.</b> Porcentaje global de los impactos del proyecto con medidas en la valoración cualitativa.	79
<b>Figura 41.</b> Comparación global de los porcentajes de los impactos del proyecto en la valoración cualitativa. ....	79
<b>Figura 42.</b> Porcentaje global de los impactos del proyecto con medidas en la valoración cuantitativa .....	80



<b>Figura 43.</b> Comparación global de los porcentajes de los impactos del proyecto en la valoración cuantitativa.....	80
<b>Figura 44.</b> Diagrama de Gantt de la planificación del proyecto. ....	85
<b>Figura 45.</b> Evolución del LCOE y precios de adjudicación en subastas europeas.....	94

## ÍNDICE DE TABLAS

---

<b>Tabla 1.</b> Criterios naturales.....	25
<b>Tabla 2</b> Criterios sociales. ....	25
<b>Tabla 3.</b> Criterios económicos.....	25
<b>Tabla 4.</b> Método simple de ordenación.....	26
<b>Tabla 5.</b> Ordenación de las alternativas. ....	30
<b>Tabla 6.</b> Matriz relativa a la alternativa A1. ....	31
<b>Tabla 7.</b> Matriz ponderada.....	32
<b>Tabla 8.</b> Matriz de concordancia. ....	33
<b>Tabla 9.</b> Matriz de discordancia. ....	34
<b>Tabla 10.</b> Matriz de ordenación.....	34
<b>Tabla 11.</b> Descripción y comparación de valores de los modelos de turbina.....	40
<b>Tabla 12.</b> Selección de los factores ambientales que afectan al impacto ambiental.....	47
<b>Tabla 13.</b> Clasificación de los subsistemas mediante la ordenación por pares.....	47
<b>Tabla 14.</b> Clasificación del subsistema físico natural mediante la ordenación por rangos.....	48
<b>Tabla 15.</b> Clasificación del subsistema población y poblamiento mediante la ordenación por rangos.....	48
<b>Tabla 16.</b> Clasificación de los factores del medio inerte por ordenación escalar.....	49
<b>Tabla 17.</b> Clasificación de los factores del medio biótico por ordenación escalar.....	49
<b>Tabla 18.</b> Resultados de los factores.....	50
<b>Tabla 19.</b> Relación de los efectos ambientales con las acciones de la construcción.....	67
<b>Tabla 20.</b> Relación de los efectos ambientales con las acciones de la vida útil.....	68
<b>Tabla 21.</b> Relación de los efectos ambientales con las acciones del desmantelamiento y el abandono.....	68
<b>Tabla 22.</b> Los valores de los indicadores.....	69
<b>Tabla 23.</b> Resumen de la valoración cualitativa.....	81
<b>Tabla 24.</b> Resumen de la valoración cuantitativa.....	82
<b>Tabla 25.</b> El presupuesto aproximado de la etapa de construcción.....	88
<b>Tabla 26.</b> El presupuesto aproximado de la etapa de mantenimiento y operación.....	89
<b>Tabla 27.</b> El presupuesto aproximado de la etapa de desmantelamiento.....	90
<b>Tabla 28.</b> El presupuesto aproximado de las 3 diferentes etapas.....	90
<b>Tabla 29.</b> El presupuesto de las medidas correctoras.....	90
<b>Tabla 30.</b> Datos necesarios para la caja de flujo.....	92
<b>Tabla 31.</b> La caja de flujo.....	93
<b>Tabla 32.</b> Valores del VAN, TIR y LCOE.....	94

## 1.- INTRODUCCIÓN

La energía es un factor imprescindible para el crecimiento en la sociedad y para el desarrollo económico, y con el tiempo el consumo de energía va en aumento de forma constante y en paralelo con el nivel de vida de la sociedad. No se puede entender la sociedad del bienestar sin consumo energético; su uso está impuesto en muchos actos cotidianos, en el transporte, en el hogar, en el hospital... Por lo tanto la energía es una necesidad de primer orden de la que no se puede prescindir.

### 1.1.- LAS DIFERENTES FUENTES DE ENERGÍA

Las energías se pueden clasificar en 3 grupos diferentes: convencional, no convencional y renovable. Aun así el reparto de estas categorías varían dependiendo de la fuente de información. Pero en general las fuentes convencionales hacen referencia a los ciclos combinados, a las centrales térmicas y a las centrales nucleares; mientras en las no convencionales entran el hidrógeno y las pilas de combustible. Por otra parte dentro de las renovables estarían la eólica, hidráulica, maremotriz, undimotriz, biomasa, solar y geotérmica.

Las fuentes de energía convencional tienen una cantidad limitada de combustible en la naturaleza, y tienen dos categorías según la forma de extracción; pueden ser de combustibles fósiles (petróleo, carbón, gas) o nucleares. Éste tipo de energía es la que más contamina dañando el entorno, dado que generan mucho GEI. Además la fuente de energía que se usa sólo se encuentra en zonas determinadas del planeta, lo que conlleva a la dependencia ya que es necesario importar recursos del exterior. Por todo ello se están implementando cada vez más las energías renovables, ya que son energías limpias, inagotables y autóctonas. [1]

A continuación se va a comentar el impacto de cada fuente energética, donde las centrales térmicas son las que más contaminación producen. El combustible que se usa puede ser carbón, gas natural o petróleo; y las principales emisiones de este sistema son material particulado (PM10), dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>), óxidos de nitrógeno (NO<sub>x</sub>) y monóxido de carbono (CO). En el caso de que la combustión sea de gas natural se genera principalmente NO<sub>x</sub>; y si la combustión es de carbón o petróleo, se emiten todos los contaminantes mencionados. Para la quema de carbón y petcoke hay que considerar además las emisiones de metales pesados tales como níquel y vanadio. Además, para enfriar el vapor que sale de las turbinas, se necesitan grandes volúmenes de agua del mar, la cual se retorna al mar con una temperatura mayor, generando graves consecuencias al entorno marino. [2]

Dado a la contaminación que emiten, se buscaron mejoras y crearon las centrales de ciclo combinado. Estas son centrales térmicas más eficientes y menos contaminantes. La eficiencia de estas centrales ha mejorado, donde una central térmica convencional difícilmente supera un 30% de rendimiento, las de ciclo combinado pueden alcanzar el 55%. Por ello, su efecto contaminante es también mucho menor; su producción de CO<sub>2</sub> por kilovatio hora (KWh) ronda los 350 gramos, frente a los 1.000 g por KWh de las térmicas que consumen carbón. Al igual

que la central convencional, se ubican cerca de un río para disponer de agua de refrigeración, la cual va a ser devuelta al río con mayor temperatura cambiando así las condiciones naturales del entorno.

Por otro lado, el emplazamiento de ambas centrales en terrenos naturales impide el desarrollo de prácticas agrícolas, ganaderas o de turismo rural; y también generan un impacto visual y ruido. Por ello es importante colocarlas en una localización estratégica. [3]

Por otro lado se encuentran las centrales nucleares, las cuales usan productos nocivos dejando huella en el entorno por largo tiempo además de provocar accidentes con consecuencias fatales. En el proceso de generación de energía se emiten productos radiactivos a los cuales se les aplica un tratamiento especial; además, como los materiales son muy tóxicos el almacenamiento supone un riesgo, y se ve comprometida la salud de los habitantes cercanos a los almacenamientos de material radiactivo. Por ello este tipo de centrales tiene que colocarse lejos de las urbanizaciones.

Uno de los materiales más utilizados en las reacciones de fisión nuclear es el uranio cuya extracción y tratamiento suponen un impacto ambiental negativo. Se estima que para conseguir un 1 kilogramo de uranio es necesario remover más de 190.000 kilogramos de tierra.

A estos inconvenientes que supone la energía nuclear para el medio ambiente también hay que añadir que aunque en la operación no emita gases de efecto invernadero, la utilización de combustibles fósiles necesarios para transportar y extraer miles de toneladas de materiales emiten CO<sub>2</sub>. Según el informe del IPCC, la energía nuclear tiene unas emisiones medias de 12 g CO<sub>2</sub>/kWh. [4][5]

Las centrales nucleares necesitan de enormes cantidades de agua que sirven como refrigeración para evitar que se llegue a temperaturas peligrosas. Una vez se ha utilizado el agua del río para refrigerar, ésta se devuelve a su medio, pero con una temperatura más elevada, provocando cambios en la temperatura marina que acaban con las plantas y animales que habitan en esas aguas.

La realidad es que los accidentes que ha habido en centrales nucleares son pocos, pero suponen una auténtica catástrofe de enormes magnitudes ya que los niveles de radiación que se liberan son mortales para cualquier planta, animal o persona que se vea expuesta, causando malformaciones o tumores. Además, no solo afecta a la zona más cercana, sino que las nubes radiactivas pueden desplazarse a miles de kilómetros por el aire o el agua.

Otro de los mayores problemas de estas centrales son los residuos que se generan. Los residuos nucleares pueden pasar miles de años antes de que empiecen a dejar de ser radiactivos, suponiendo un peligro constante para la flora y fauna del planeta. A día de hoy, se encierran en los cementerios nucleares, sellándolos y aislándolos bajo tierra o en el fondo del mar. [6]

Otra fuente de energía que promete es el hidrógeno. El hidrógeno es el gas más abundante del universo, es incoloro, inodoro y no es tóxico. Es muy eficiente energéticamente, dos veces más eficiente que la gasolina y el gas natural y tres veces más que el diésel. [7]

Esta tecnología se basa en la generación de hidrógeno a través de un proceso químico conocido como electrólisis. Este método utiliza la corriente eléctrica para separar el hidrógeno del oxígeno que hay en el agua, por lo que, si esa electricidad se obtiene de fuentes renovables, produciremos energía sin emitir dióxido de carbono a la atmósfera.

Esta manera de obtener hidrógeno verde, como apunta la AIE, ahorraría los 830 millones de toneladas anuales de CO<sub>2</sub> que se originan cuando este gas se produce mediante combustibles fósiles. [8]

Actualmente, el hidrógeno se puede encontrar como alternativa en la movilidad eléctrica. Flotas de taxis, autobuses y coches particulares alimentados por la combustión de hidrógeno en una pila de combustible circulan por las carreteras de numerosas ciudades. Además, gracias a su gran eficiencia energética, el hidrógeno empieza a aparecer en la propulsión de barcos, trenes y aviones. [7]

Para terminar, las energías renovables también tienen un impacto ambiental a comentar; no todas las energías renovables dejan la misma huella, por lo que se van a comentar individualmente.

La energía solar es una de las fuentes renovables que menos impacto ambiental negativo tiene. Un sistema fotovoltaico no produce CO<sub>2</sub> a la hora de generar energía, por lo tanto no contribuye al efecto invernadero; son muy silenciosos; no tienen un gran impacto visual (en caso de autoconsumo suelen montarse en las cubiertas de los edificios, y las grandes huertas solares dejan un poco de huella en el suelo); el agua no es necesaria para producir energía; y no producen residuos.

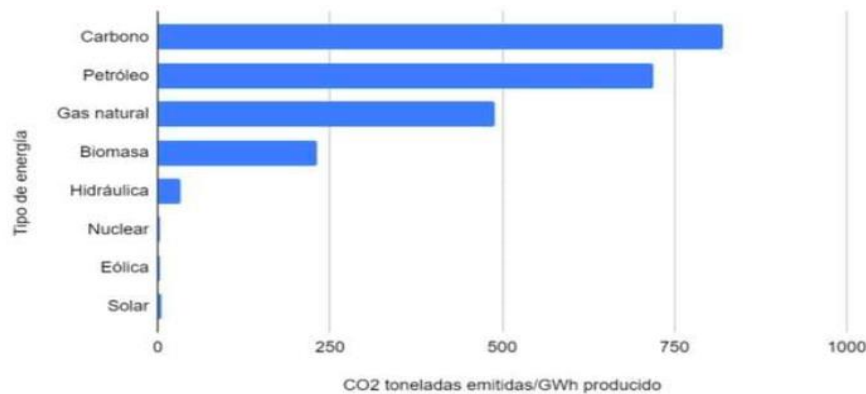
En resumen, los paneles solares son sostenibles y son de los menos dañinos a la hora de fabricar. El material principal de los módulos es el silicio, el cual es un material abundante en la naturaleza y tiene una vida útil muy larga. Una vez que este tiempo haya pasado, los módulos fotovoltaicos se pueden reciclar casi al 90%. Estos están hechos principalmente de vidrio y aluminio, materiales fácilmente reciclables, así como silicio, plata o cobre, elementos contenidos por el papel.

Por otro lado están los parques eólicos, pero estos tienen un mayor impacto sobre el medioambiente que la energía solar. Los materiales utilizados contaminan, y se calcula que el impacto que tiene la producción de un aerogenerador sobre la huella de carbono se amortiza en poco más de 7 meses. Además, los grandes aerogeneradores afectan en la vida de las aves y generan cambios en la presión atmosférica debido a un impacto directo con las palas, por el tamaño y la fuerza que tienen estos sistemas.

Para continuar está la energía hidráulica, no obstante, las presas tienen efectos significativos sobre el medioambiente. Estas son grandes construcciones que alteran el paisaje natural, los ecosistemas terrestres y acuáticos, así como la biodiversidad. Además, la alta cantidad de agua

necesaria para generar la energía hace que disminuyan los caudales de los ríos, lo que lleva a cambios en la calidad del agua.

En la Figura 1 se observan las toneladas de CO<sub>2</sub> por GWh producido de cada fuente de energía que se ha analizado.



*Figura 1. Análisis de las toneladas de CO<sub>2</sub> emitidas por GWh producido en los diferentes tipos de energía. [9]*

Como se puede ver, la energía eólica, la solar y la nuclear son las que menos contaminan en cuanto a generación de CO<sub>2</sub>. [9]

## 1.2.- MEDIDAS PARA EL CAMBIO CLIMÁTICO

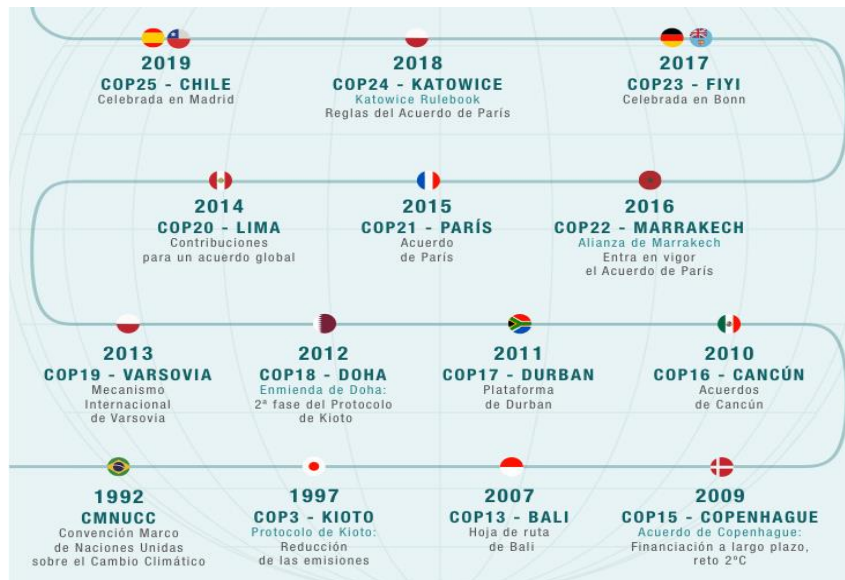
A causa de la generación de GEI, se está produciendo un calentamiento global que se ha vuelto preocupante. La consecuencia de tal hecho es que los glaciares se derriten a un mayor ritmo aumentando el nivel del mar debido al deshielo, las selvas se secan y la fauna y la flora luchan para sobrevivir en un escenario que no para de cambiar impactando gravemente en la biodiversidad. El cambio climático hoy en día está en boca de todos dado que tiene consecuencias a nivel mundial como un aumento general de las temperaturas, fenómenos meteorológicos extremos, olas de calor e inundaciones, falta de cosechas, migrantes climáticos y un largo etcétera.

Para entender bien el “efecto invernadero” hay que saber su origen. Este fenómeno es el calentamiento que se produce cuando ciertos gases de la atmósfera de la Tierra retienen el calor, estos gases dejan pasar la luz pero mantienen el calor como las paredes de cristal de un invernadero. En primer lugar, la luz solar es absorbida en la superficie terrestre para luego volver a la atmósfera en forma de calor. En la atmósfera, los gases de invernadero retienen parte de este calor y el resto sale al espacio. En resumen, cuantos más gases de invernadero, más calor es retenido aumentando así la temperatura terrestre.

El calentamiento es fruto de las actividades humanas tales como el uso de carbón, petróleo y gas, el uso de hidrocarburos en plantas eléctricas y en el transporte; la tala de árboles y la quema de bosques. Se ha demostrado científicamente que desde la revolución industrial los humanos han aumentado la cantidad de dióxido de carbono en la atmósfera más de un tercio,

y con ello el efecto invernadero afectando así el planeta. El rápido aumento de los gases de invernadero es un problema porque está cambiando el clima tan rápido que algunos seres vivos no pueden adaptarse. [10]

Antiguamente no se le daba importancia al impacto ambiental, pero actualmente se han hecho varios acuerdos para intentar minimizar este impacto y cuidar el medio ambiente para dejar a las generaciones futuras un mundo mejor y más sostenible. En la Figura 2 se encuentran los diferentes acuerdos propuestos hasta hoy en día.



**Figura 2.** Las principales cumbres climáticas y sus hitos. [11]

A continuación se van a explicar los acuerdos más importantes de los últimos años para abordar el problema del cambio climático.

El Protocolo de Kioto supuso el primer compromiso a nivel global para poner freno a las emisiones responsables del calentamiento global y sentó las bases para futuros acuerdos internacionales sobre cambio climático. Fue firmado por 36 países industrializados en 1997 y ratificado por 191 países en 2005 tras un largo periodo previo de intensas negociaciones. La intención de este acuerdo era comprometerse a nivel mundial para reducir los GEI en el periodo de 2008-2012 un 5,2% respecto a los niveles de emisiones de 1990 con el objetivo de que la Temperatura Global del Planeta no se incrementase en más de 2°C. El objetivo se individualizó para cada uno de los 36 países industrializados en función de las características económicas. Es decir, la mayoría de los 191 países no contaron con objetivos vinculantes por no ser potencias industrializadas, motivo por el cual USA (segundo mayor emisor de CO<sub>2</sub> del mundo tras China) abandonó el protocolo en 2001 ya que no consideraba justo excluir de las restricciones a algunos de los mayores emisores de gases, por ser países en vías de desarrollo.

Los resultados obtenidos fueron dispares, mientras Rusia consiguió unos buenos resultados Canadá tuvo la mayor proporción de emisiones per cápita del mundo tras Estados Unidos. En los últimos años China comenzó a tomar conciencia acerca del problema tras ver amenazado

su crecimiento económico y social a largo plazo, por lo que en 2007 aprobó el primer Plan de Acción Nacional sobre Cambio Climático convirtiéndose así en el primer país en desarrollo en publicar una estrategia nacional sobre energía y medioambiente. Actualmente, es también el mayor productor de energía renovable del mundo.

El Protocolo de Kioto venció en 2012 y dio paso al Cambio Climático de Bali 2007 (COP 13) el cual sería una extensión del Protocolo Kioto, pero fracasó en la COP15 de Copenhague en 2009. Este último tampoco tuvo mucho éxito ya que no logró obtener compromisos políticos para lograr el cumplimiento de la hoja de ruta de un calentamiento global de 2°C. Tras la falta de progresos se decidieron las siguientes conferencias: Cancún (2010), Durhan (2011), Doha (2012), Varsovia (2013), Lima (2014), París (2015), Marrakech (2016), Bonn (2017), Katowice (2018) y Madrid (2019).

De las anteriores conferencias hay que destacar la de París en 2015, la cual entró en vigor en 2016. Éste fue firmado por 195 países y su objetivo era limitar al menos 2°C y hacer esfuerzos para mantenerse dentro del límite de 1,5°C por encima de los niveles de época preindustrial. El Acuerdo de París se basa en la Convención y, por primera vez, hace que todos los países tengan una causa común para emprender esfuerzos ambiciosos para combatir el cambio climático y adaptarse a sus efectos, con un mayor apoyo para ayudar a los países en desarrollo a hacerlo.

Dentro de las políticas Europeas se propuso implantar en Plan 20-20-20, donde su objetivo era lograr un 20% de reducción de las emisiones de GEI, la reducción del 20% en consumo de energía primaria y que el consumo final de energías renovables sea del 20%. Desgraciadamente no se logró vencer el objetivo, asique la UE pasó a marcarse unos nuevos objetivos con el Marco sobre Clima y Energía para 2030, en el que se pretende reducir las emisiones de GEI en un 40% en 2030, en comparación con 1990, alcanzar el 27% del consumo de energía renovable, y aumentar la eficiencia energética en un 27%. [11][12][13]

### 1.3.- LA EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL (EIA)

Aunque hoy en día el término impacto ambiental y cambio climático están muy arraigados, no fue hasta 1968 cuando los principales órganos de las Naciones Unidas presenciaron los problemas medioambientales. El 29 de mayo, el Consejo Económico y Social fue el primero en incluir dichas cuestiones como un punto específico de su programa y en tomar la decisión de celebrar la primera Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano. [14]

En 1969 se formó la Ley de Política Ambiental Nacional de Estados Unidos (NEPA) la cual exige una evaluación ambiental de todos los proyectos y programas federales principales que podrían afectar la calidad del medio ambiente humano. Poco a poco esta Ley se fue extendiendo a otros países y a determinados proyectos, hasta que la preocupación medioambiental alcanzó una difusión generalizada.

Desde 1973 a 1984 Canada, Australia, Alemania, Tailandia, Francia, Brasil, Filipinas, Israel, Costa Rica, Pakistán, Holanda y Japón entre otros inician la legislación de EIA. En 1985 la



Directiva EIA para los Estados miembros de la Unión Europea ordena que las EIA deberán realizarse antes de la formulación de proyectos de desarrollo que puedan tener efectos ambientales significativos. [15]

La Evaluación de Impacto Ambiental (EIA) es un procedimiento jurídico administrativo que se ejecuta con el objetivo de la identificación, predicción e interpretación de los impactos ambientales de un proyecto. Las EIA son muy necesarias para preservar el medio ambiente y los recursos naturales; analizando si el proyecto es conveniente y viable o no. Una vez analizado el impacto que causan los proyectos, la administración tiene el poder para declarar si el procedimiento es aceptado, modificado o rechazado. La EIA tiene que tener en cuenta los efectos sobre la población humana, la fauna, la flora, la gente, el suelo, el aire, el clima, el paisaje y la estructura y función de los ecosistemas de la localización escogida para el proyecto entre otros factores. También hay que tener en cuenta la incidencia del proyecto sobre los elementos que componen el Patrimonio Histórico, sobre las relaciones sociales y las condiciones de sosiego público, tales como ruidos, vibraciones, olores y emisiones luminosas.

El procedimiento de la evaluación de impacto medioambiental se encuentra regulado a nivel estatal en el Real Decreto 1302/1986 de 28 de junio, de Evaluación de Impacto Ambiental, que adopta la Directiva 85/377/CEE. En términos generales el procedimiento a seguir es el siguiente:

- Presentación de una propuesta por parte del promotor ante la Autoridad competente.
- La Administración pondrá a disposición del promotor los informes o cualquier otra documentación que obre en su poder y sea de utilidad.
- El Estudio de Impacto Ambiental y el Proyecto, se someten a información pública.
- El órgano competente remite el expediente al órgano ambiental, acompañado en su caso de las observaciones que estime oportunas.
- El órgano ambiental formulará la declaración de impacto.
- En caso de discrepancias entre ambos órganos, resolverá el Consejo de Ministros o el órgano de gobierno de la Comunidad Autónoma correspondiente.
- En caso de que el órgano ambiental proponga modificaciones y estas sean aceptadas por el órgano sustantivo competente, el promotor deberá realizar las mismas.
- En caso de desacuerdo del promotor, podrá recurrir la resolución del órgano competente, tanto en vía administrativa como jurisdiccional.
- Una vez aprobado el Proyecto y obtenida la licencia de obras, se puede iniciar la construcción.
- Finalmente se pone en marcha el Plan de Vigilancia y Control Ambiental.

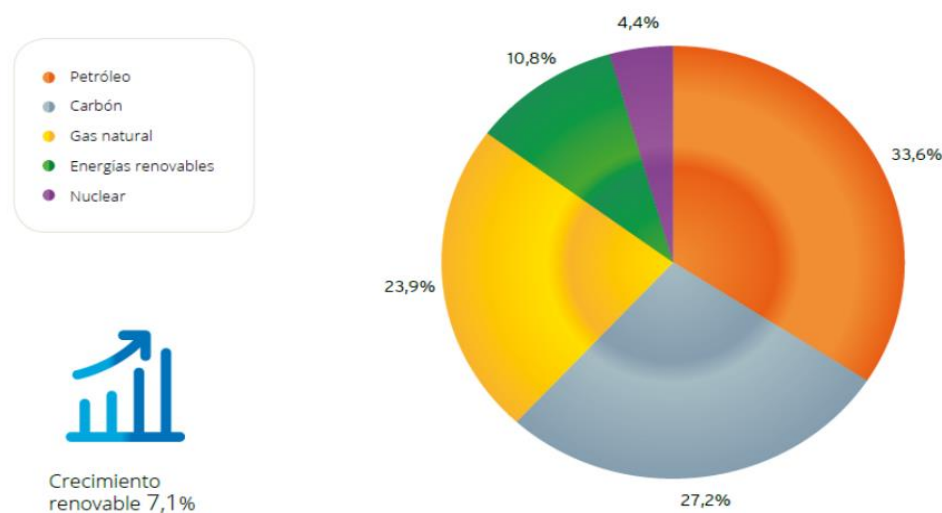
La EIA debe adoptarse antes de que se inicie el proyecto, ya que, en caso contrario, carece de sentido. También cabe destacar que casi todas las Comunidades Autónomas disponen en la actualidad de normas propias específicas sobre en materia de Evaluación de Impacto Ambiental. [16]

## 2.- CONTEXTO

Este proyecto se va a enfocar en la transición energética que se está llevando a cabo para poder minimizar el calentamiento global a causa del efecto invernadero por los GEI. Desde el comienzo de la revolución industrial la calidad del aire comenzó a cambiar drásticamente hasta que hoy en día, las generaciones presentes han determinado que de seguir con este ritmo de vida la energía se está limitando a la vez que la calidad del aire empeora. Por ello se están buscando alternativas para cambiar las fuentes de energía, por lo que esta generación se encuentra en una transición energética. Como bien se ha estado comentando, hasta ahora los combustibles más requeridos han sido el petróleo, el carbón y el gas natural. Estos combustibles además de ser altamente contaminantes para el planeta son recursos limitados que se están agotando. Por ello las alternativas energéticas que se están teniendo en cuenta y se están investigando son mayoritariamente de fuentes renovables e ilimitadas.

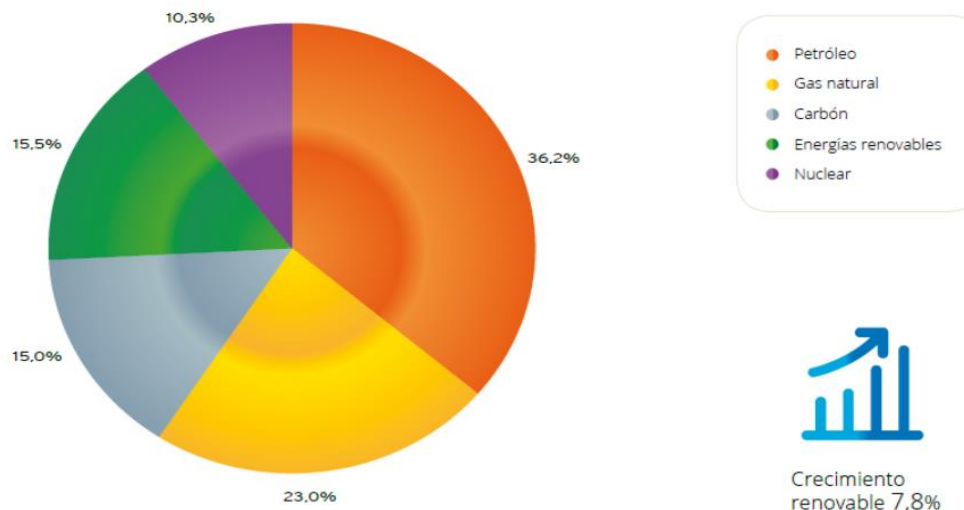
### 2.1.- SITUACIÓN ENERGÉTICA ACTUAL

Como se puede apreciar las energías renovables cada vez son mayores y de mayor importancia, aunque aún hay mucho que mejorar. En la Figura 3, 4 y 5 se presenta el consumo de energía primaria que se logró en 2018. Aun así el porcentaje de energías renovables va aumentando poco a poco con el tiempo.



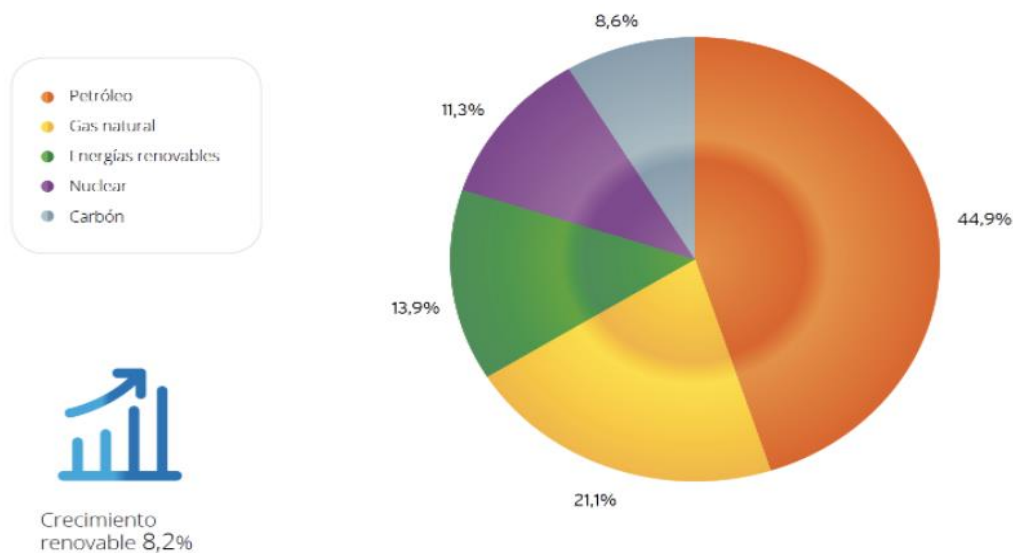
**Figura 3.** Consumo mundial de energía primaria en 2018. [17]

Como se puede ver en la Figura 3, en 2018 el petróleo, el carbón y el gas natural eran los combustibles que más se empleaban para generar energía; donde la aparición de la energía renovable era muy pequeña, aunque fuera mayor al porcentaje del año anterior.



**Figura 4.** Consumo de energía primaria en 2018 en Europa. [17]

En el caso Europeo (Figura 4), los combustibles más empleados siguen siendo el petróleo, el gas natural y el carbón; aunque el porcentaje del carbón es mucho menor que en consumo mundial. Al haber un consumo de carbón menor, hay un mayor porcentaje en el uso de energía renovable y nuclear. Aunque el uso de las energías renovables fuera pequeño, era mayor al del año anterior, ya que cada año este modelo de energía va cogiendo más importancia. [17]



**Figura 5.** Consumo de energía primaria en 2018 en España. [18]

En la Figura 5 se puede analizar la situación española, donde se puede apreciar que el uso del carbón es mucho menor a los anteriores casos; en cambio el uso del petróleo ocupa casi la mitad del consumo de energía. En el caso de las energías renovables, la situación es muy parecida a la europea, y cada año este recurso va en aumento. [18]

Una vez vista la distribución del consumo de energía primaria se va a analizar dentro de las energías renovables cual es la de mayor uso. En la Figura 6, 7 y 8 se representa el consumo de las diferentes energías renovables.

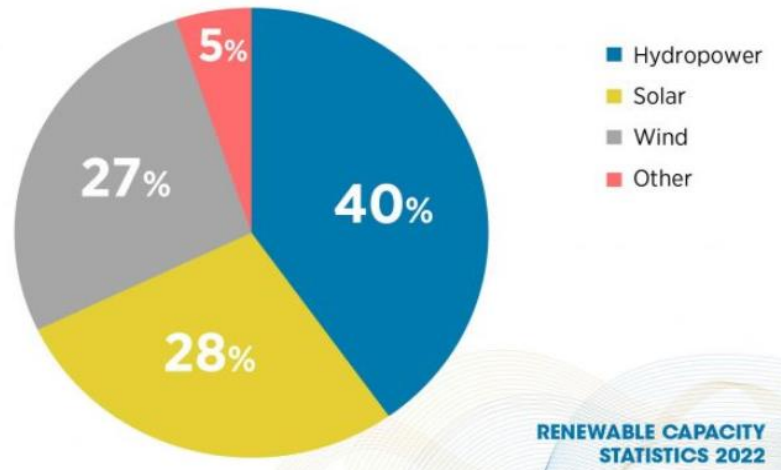


Figura 6. La producción renovable en el mundo. [19]

Como se puede ver en la Figura 6, la energía renovable más usada en el mundo es la energía hidráulica, seguida de la solar y la eólica. Estas fuentes de energía renovable son las más usadas, y a menor escala se encuentran la maremotriz, la undimotriz, la geotermia y la biomasa.

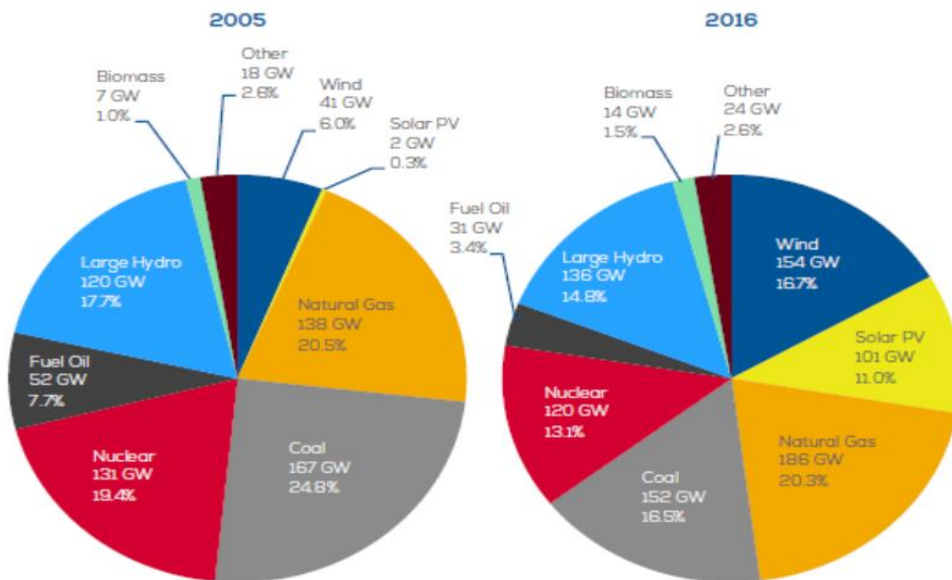


Figura 7. La producción renovable en Europa. [20]

En la Figura 7 se puede apreciar como cada año las energías renovables cogen más protagonismo en Europa. Mientras que en el 2005 las energías renovables eran casi inexistentes y sólo destacaba la hidráulica, en el 2016 se ve cómo ha evolucionado y la energía solar y la eólica han ido ganando protagonismo. [20]



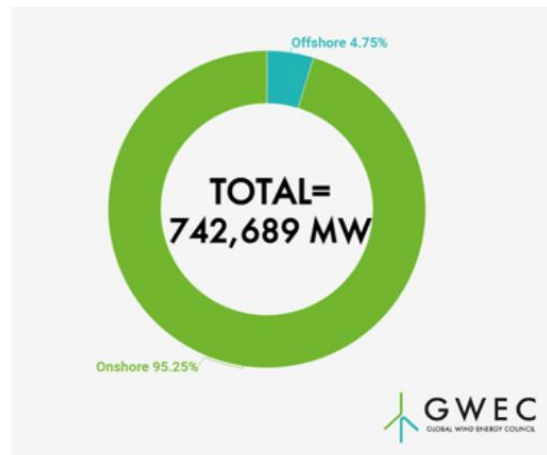
*Figura 8. La producción renovable en España. [21]*

Para terminar en la Figura 8 se ha analizado la energía renovable española. Como se puede ver destaca la energía eólica seguida de la hidráulica. Por el contrario, la solar no tiene tanto protagonismo como estas dos últimas. [21]

Resumiendo, la energía renovable principal depende del lugar de donde provenga. En el caso de España la energía eólica es la energía que más energía produce y cada vez está cogiendo más fama. Dentro de la energía eólica se distinguen dos tipos; la onshore y la offshore, y la que más promete en estos últimos años es la offshore ya que elimina varios problemas que conlleva la onshore.

En el año 2021 Europa tenía 21.419 aerogeneradores repartidos en 1.265 parques eólicos para un total de 28.333 megavatios; y de todos ellos solo 5 megavatios estaban en España, lo que conlleva un solo aerogenerador instalado en las aguas de la isla de Gran Canaria que además es un prototipo.

Pero si en lugar de hablar de parques marinos tenemos en cuenta los parques terrestres, España ocupa un lugar puntero a nivel mundial. Actualmente hay instalados nada menos que 1.298 parques eólicos que suman un total de 28.138 megavatios de potencia, siendo el quinto país del mundo con más energía eólica instalada, solo por detrás de China, Estados Unidos, Alemania e India. En la Figura 9 se puede ver la industria eólica en el 2020 a nivel mundial, y como se puede observar hay muy poca energía eólica offshore dado que no se puede instalar en cualquier parte. Para que una ubicación sea considerada como apta para la instalación de un parque eólico marino, se deben hacer multitud de estudios y tienen que coincidir una serie de condicionantes concretos. Uno de los puntos clave a analizar es la batimetría. Por ese motivo la mayoría de los parques offshore están concentrados en el mar del Norte, y no en España.



*Figura 9. Instalación eólica global en el 2020. [22]*

La solución a ese problema se está estudiando, y la alternativa que se está investigando son los aerogeneradores flotantes. El problema con esta tecnología es que todavía está poco madura, es cara y se cuenta con muy poca experiencia de instalación en el mundo. Solo 113 (el 0,4%) de los megavatios offshore instalados en Europa son flotantes y todos ellos son parques de pequeño tamaño. [23]

Por estos motivos este trabajo se va a enfocar en un parque eólico offshore para minimizar el impacto ambiental. Según los escenarios que han sido establecidos por organismos energéticos internacionales, como IRENA y la AIE, el mundo necesita instalar un mínimo de 180 GW de nueva energía eólica cada año para limitar el aumento de temperatura a 2°C por encima de los niveles preindustriales, y necesitarán instalar hasta 280 GW anualmente para mantener un camino que cumpla con el objetivo de carbono cero para 2050. Esto significa que la industria y los legisladores deben trabajar en colaboración y actuar con rapidez para acelerar la implementación. [24]

Para poder implantar estos proyectos, antes hay que hacer una evaluación de impacto ambiental (EIA); donde la norma básica a nivel estatal es la LEY 21/2013, de 9 de diciembre. Esta ley tiene como objetivo facilitar la incorporación de los criterios de sostenibilidad en la toma de decisiones estratégicas, y reunir en un único texto el régimen jurídico de la evaluación de planes, programas y proyectos ambientales. De esta manera se simplifican y agilizan los procedimientos administrativos y se da una mayor seguridad jurídica.

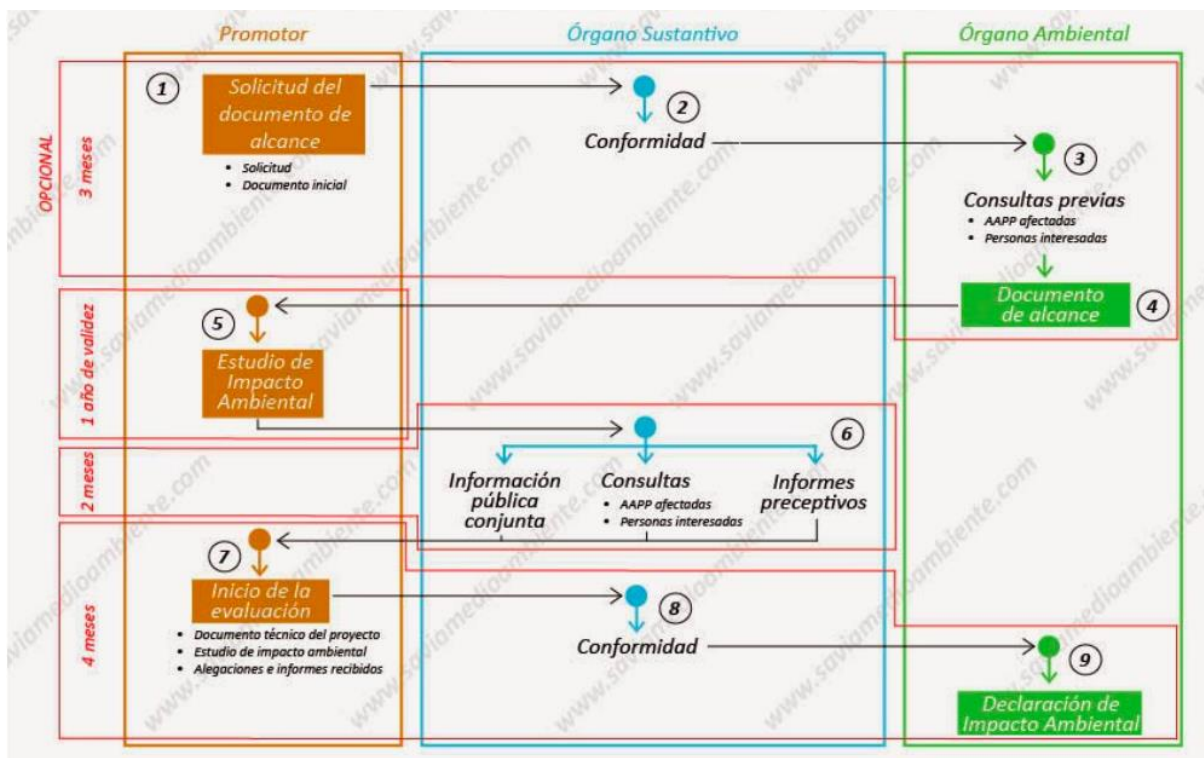
Existen varias novedades, pero la principal es que unifica en una sola norma dos leyes. Por una parte está la Ley 9/2006, de 28 de abril, que trata sobre evaluación de los efectos de determinados planes y programas en el medio ambiente. Y por el otro lado, el Real Decreto Legislativo 1/2008, de 11 de enero, por el que se aprueba el texto refundido de la Ley de Evaluación de Impacto Ambiental.

También hay la obligación de someter a una adecuada evaluación ambiental a todo plan, programa o proyecto que pueda tener efectos significativos sobre el medio ambiente; y de tener

en consideración el cambio climático. Por lo general se hace más hincapié en la protección de los espacios de la Red Natura 2000. [25]

Además es necesario adaptarse a una serie de plazos máximo:

- Evaluación estratégica ordinaria: veintidós meses, prorrogable por dos meses más por razones justificadas debidamente motivadas
- Evaluación ambiental estratégica simplificada: cuatro meses
- Evaluación de impacto ambiental ordinaria: cuatro meses, prorrogable por dos meses más por razones justificadas debidamente motivadas
- Evaluación de impacto ambiental simplificada: tres meses



**Figura 10.** Procedimiento de la evaluación de impacto ambiental ordinaria. [26]

## 2.2.- EVOLUCIÓN DE LA ENERGÍA EÓLICA OFFSHORE

El primer parque offshore del mundo fue construido en Dinamarca en el año 1987, cuando la empresa Elkraft comenzó con los estudios para instalar aerogeneradores en las aguas de la isla de Lolland. Anteriormente se había instalado un aerogenerador en las aguas de Suecia, pero Vindeby fue el primer conjunto de aerogeneradores en instalarse en el mar.

La construcción del parque eólico bautizado como "Vindeby Offshore Wind Farm" comenzó en el año 1991 y tuvo una inversión estimada de 10 millones de dólares. Por aquel entonces, la industria eléctrica consideraba la energía offshore como algo ridículo, ya que era una forma de complicar la eólica terrestre. Al ser el primer parque instalado offshore su tamaño era pequeño, consistió en 11 aerogeneradores del fabricante Bonus Energy (que en el año 2014 fue comprada

por Siemens) con una potencia de 450 kW cada uno. En total, 4,95 megavatios de potencia que hicieron realidad la posibilidad de aprovechar el viento de los mares.

Hoy en día, gracias a las investigaciones y la evolución, solo la turbina eólica marina ya genera más energía que aquel parque compuesto por 11. En el mercado offshore ya hay aerogeneradores de 8 MW e incluso General Electric ha anunciado uno de 12 MW en los próximos años.



*Figura 11. Parque eólico offshore. [27]*

Después de 25 años de operación se lograron 243 GWh de generación eólica y libre de emisiones. Esta energía corresponde a lo que siete de los aerogeneradores marinos más grandes de la actualidad pueden generar en un solo año.

Esta generación de energía limpia ha servido para que hoy en día la industria eólica offshore se esté posicionando como una de las energías renovables con más futuro y que está llamada a revolucionar el mercado de la energía. [27]

La década del 2000 fue un gran periodo para el desarrollo de la energía eólica en Brasil. La construcción de parques eólicos comenzó a ser subsidiada a través de un programa de incentivos y el primero contemplado fue Río do Fogo. A partir de 2009, otra fuerza para el sector fue la iniciativa de esta fuente en las subastas para la contratación de energía eólica y la construcción de parques.

Más tarde, en la década de 2010 la generación mundial de energía eólica aumentó de 38.000 GWh en 1990 a 342.200 GWh en 2010. En 2018 esta cifra aumentó hasta alcanzar los 1,2 millones de GWh. Esta evolución demuestra el cambio de esta fuente de energía en el escenario global. Y en el futuro es aún más prometedor. [28]



### 2.3.- VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Como cualquier fuente de energía tiene sus ventajas y sus inconvenientes. Al igual que los parques eólicos terrestres producen energía renovable y limpia a partir de la fuerza del viento y no emite gases de efecto invernadero (GEI). Por lo tanto, los parques eólicos marinos también contribuyen a la lucha contra el empeoramiento del efecto invernadero y otros cambios climáticos. Pero hay ciertas ventajas respecto a la eólica onshore, y entre ellas destaca que estos parques sean invisibles desde tierra y que no generen ruido; es decir, no genera un impacto visual ni acústico en la costa, lo que lleva a proteger las preciosas vistas del océano y esto lleva a que el parque en alta mar sea más políticamente aceptable. Además, los parques eólicos marinos pueden producir una mayor cantidad de energía en comparación con los terrestres. Esto se debe a que en alta mar el viento no encuentra barreras, lo que hace que su fuerza sea mucho mayor en comparación con el recurso eólico en tierra firme; en consecuencia permiten la instalación de aerogeneradores de mayor potencia.

Por el contrario, hay que señalar también las desventajas más destacables. En comparación con los parques eólicos terrestres, los parques eólicos marinos tienen un coste de implantación y mantenimiento mucho mayor. Y durante la construcción de los parques eólicos marinos, la industria pesquera puede verse muy afectada, lo que compromete momentáneamente los ingresos de los pescadores. [29]

### 2.4.- TRANSPORTE Y MANTENIMIENTO

Como cualquier instalación, necesita un transporte de los elementos a la ubicación. En este caso como se va a construir offshore, por lo que una vez fabricados todos los elementos se prepararían para ser transportados en el puerto de Heligoland.

Uno de los primeros pasos durante la fase de instalación de un proyecto eólico offshore es el tendido de cables. Una propiedad inevitable de los buques cableros es la presencia de uno o más carruseles de tamaño considerable para almacenar el cable sin doblarlo demasiado, roldanas guidoras de cables y dispositivos de instalación apropiados como vehículos operados a distancia (ROV) para zanjeo.

Las embarcaciones usadas para la construcción se alquilan; y los más requeridos suelen ser las barcasas elevadoras, buques elevadores, grúas navales, las embarcaciones semisumergibles.

Por otra parte, durante el periodo de funcionamiento del parque eólico se deben realizar una serie de mantenimiento para mantener las turbinas en funcionamiento y para mantener la generación de energía. A este respecto, hay dos categorías principales de buques de operación y mantenimiento en el mercado de energía eólica marina: buques para mantenimiento menor y buques para mantenimiento mayor.

Las embarcaciones para mantenimiento menor se utilizan para reparaciones menores y problemas técnicos que no requieren el transporte de equipos pesados u operaciones con grúas

pesadas. Es el caso de reparaciones tales como; reparaciones del sistema eléctrico, control electrónico, sensores y sistema hidráulico.

Las naves monocasco, pequeños catamaranes y embarcaciones de casco doble tipo (SWATH) generalmente se utilizan en operaciones de mantenimiento menores, ya que permiten a los operadores mantener el costo en niveles aceptables.

En cuanto a las embarcaciones para mantenimiento mayor son los buques de mantenimiento que se emplean cuando se requieren operaciones de equipos pesados. En el caso de fallas en las palas, generadores o torres, se debe utilizar uno de los buques autoelevados, teniendo en cuenta las propiedades del componente dañado (altura, peso, etc.) y la capacidad del buque (capacidad de elevación, profundidad de agua operativa, etc.).

Hay tres tipos y son los siguientes; los Jack-Ups, los Buques Leg-Stabilised y Los Heavy Lift Vessels. Los Jack-Ups son las naves más utilizadas y consisten en unidades autoelevadoras, que consisten en un casco flotante con varias patas (generalmente de 3 a 6), capaces de elevar sus cascos sobre la superficie marina, apoyar sus piernas en el fondo del mar y proporcionar un entorno muy estable para operaciones de grúa en condiciones de mar agitado.

Los Buques Leg-Stabilised son muy similares a las embarcaciones autoelevables. En lugar de levantar el casco sobre la superficie del mar, los buques son estabilizados por unas piernas, las cuales son ideales para operaciones en sitios poco profundos. Sin embargo, tienen una capacidad limitada para operaciones de grúa debido al hecho de que el casco de los buques permanece sumergido y están sujetos al movimiento inducido por las olas.

Los Heavy Lift Vessels son capaces de levantar cargas extensas, que pueden experimentarse en la industria eólica marina. Estas embarcaciones poseen la mayor capacidad de grúa en la industria offshore debido a que están especialmente diseñadas para instalar módulos preensamblados para la industria petrolera y de gas en alta mar; sin embargo, las tarifas diarias son muy elevadas. [30]

### **3.- OBJETIVOS**

El objetivo principal de este proyecto es realizar un análisis de impacto ambiental de un parque eólico offshore para poder examinar el impacto que genera. Para ello se van a dar diferentes alternativas de localizaciones para poder escoger el mejor emplazamiento mediante una evaluación con diferentes métodos. Una vez seleccionado el emplazamiento es necesario escoger el modelo de aerogenerador que se va a emplear, al igual que el tipo de anclaje; por otro lado se va a proponer el área que ocupará dicho parque y la distribución de los aerogeneradores.

A continuación es muy importante determinar los factores ambientales que afectan al proyecto y hacer una breve descripción de cada factor; de esta manera se podrá conocer más detalladamente la localización escogida, determinando sus puntos fuertes y débiles.

Después de seleccionar los factores ambientales, se determinan las acciones que se aplican en las tres fases (construcción, vida útil y abandono). Una vez obtenidos los factores y las acciones es importante relacionarlos para realizar la evaluación cuantitativa y cualitativa, de esta manera se podrá apreciar el impacto que causa un parque eólico en el emplazamiento seleccionado.

Otro paso muy necesario a tener en cuenta es poder elegir unas medidas correctoras para minimizar el impacto que generan las acciones en cada una de las diferentes fases nombradas.

También se busca que el proyecto propuesto sea viable económicamente, por lo que se realizará un análisis económico. Para ello se facilitará un presupuesto para la instalación del proyecto teniendo en cuenta las inversiones, amortizaciones de los equipos y costes de personal entre otros. También, se describirá un análisis de viabilidad para poder determinar el payback del proyecto.

El objetivo de cualquier parque eólico es poder contribuir al descenso de contaminación y del cambio climático. Gracias a este proyecto se conseguiría el objetivo de disminuir las emisiones de GEI al usar una fuente renovable, dejando así de depender de combustibles como el petróleo y el carbón.

## 4.- BENEFICIOS

Es conocido que la situación ambiental en el mundo está en un momento crítico y que hay que aportar soluciones para ponerle fin a tanta contaminación ambiental. Una de las acciones que más perjudica son las fuentes energéticas que se han usado hasta ahora, dado que los combustibles más usados eran el carbón, el petróleo y el gas natural; los cuales son productos que al reaccionar generan muchos gases de efecto invernadero aportando al cambio climático. Por ello, entre otras razones, en los últimos años se han buscado diferentes alternativas a las energías convencionales; y entre otras destacan las fuentes renovables. Y dentro de las renovables una de las energías que más promete es la energía eólica offshore, por ese motivo este trabajo se centra en un proyecto eólico offshore.

El hecho de usar como combustible el viento, hace que esta fuente sea de energía limpia, lo que lleva a reducir los GEI. Además, este sistema conseguiría una mayor independencia energética, ya que el viento está en todas partes, y no habría que depender energéticamente de ningún país. Como ya se ha comentado anteriormente la potencia que se consigue en las offshore es mucho mayor que en onshore y tiene varios beneficios respecto a ella.

Resumiendo, el principal beneficio de este proyecto será la reducción de gases de tipo invernadero producidos por las centrales convencionales utilizadas para generar energía, ya que un parque eólico offshore tiene un impacto mucho menor. De esta manera, mejorará la calidad del aire y con ello la fauna, la flora y la salud de los habitantes.

Al reducir los GEI contribuye a lograr los objetivos europeos del “Paquete de Energía y Cambio Climático”. Las principales metas de este marco estratégico para 2030 son poder alcanzar un 40% menos de emisiones de GEI y que el 32% de energías sean renovables. En cuanto a las metas del 2050, se quiere conseguir un 80% menos de emisiones de GEI aumentando el uso de energías renovables y la eficiencia energética. [12]

## 5.- DESCRIPCIÓN DE REQUERIMIENTOS

Anteriormente se ha comentado que para poder implantar estos proyectos, antes hay que hacer una evaluación de impacto ambiental (EIA); donde la norma básica a nivel estatal es la LEY 21/2013. De acuerdo con esta ley se distinguen dos tipos de Evaluación ambiental, la simplificada y la ordinaria; y la diferencia se basa en el tiempo que duran los procedimientos y en la complejidad de los informes que se evalúan en cada una.

La Evaluación Simplificada se prolonga 3 meses desde la recepción de la solicitud de inicio y de toda la documentación asociada, donde el documento posee un contenido más reducido que el ordinario. Los proyectos que son objeto de esta evaluación son los comprendidos en el anexo II; los proyectos no incluidos ni en el anexo I ni el anexo II que puedan afectar de forma apreciable, directa o indirectamente, a Espacios Protegidos Red Natura 2000; y los proyectos del anexo I que sirven exclusiva o principalmente para desarrollar o ensayar nuevos métodos o productos, siempre que la duración del proyecto no sea superior a dos años.

Por el otro lado, la Evaluación Ambiental Ordinaria puede durar hasta 4 meses tras la recepción completa del expediente en el Órgano Ambiental, pero tiene la opción de ampliarse otros 4 meses más en caso de solicitar la emisión del documento de alcance del estudio de impacto ambiental; además este tipo de documentos requiere de mayor contenido detallado. Los proyectos que son objeto de esta evaluación son los comprendidos en el anexo I; y los proyectos comprendidos en el apartado 2, cuando así lo decida caso por caso el órgano ambiental, en el informe de impacto ambiental de acuerdo con los criterios del anexo III. [31][32]

Existen 3 agentes que intervienen en estos requerimientos. Primero está el Promotor, y hace referencia a cualquier persona física o jurídica, pública o privada, que realiza un proyecto sometido a evaluación de impacto ambiental. Luego se encuentra el órgano sustantivo, y este es el órgano de la Administración pública estatal, autonómica o local competente para autorizar o para aprobar los proyectos que deban someterse a evaluación de impacto ambiental. Por último, el órgano ambiental elabora el documento de alcance, realizando el análisis técnico de los expedientes de evaluación de impacto ambiental y formulando las declaraciones de impacto ambiental y los informes de impacto ambiental.

En el caso de tratarse de una Evaluación Ambiental Simplificada, el Promotor elabora un Documento Ambiental que envía al Órgano Sustantivo, y éste lo remite al Órgano Ambiental con el fin de iniciar el procedimiento y someter el documento a Consultas a las administraciones públicas afectadas. Este periodo puede alcanzar los 30 días, y después el Órgano Ambiental emitirá el Informe de Impacto Ambiental.

Es importante tener en cuenta que cada Comunidades Autónomas cuenta con una normativa ambiental propia, por lo que los requisitos establecidos en la legislación nacional pueden verse ampliados. Así, es posible que existan proyectos que, sin ser contemplados en la normativa estatal, requieran de una Evaluación de Impacto Ambiental en la forma establecida a nivel autonómico.

Por el contrario, en el caso de un procedimiento de Evaluación Ambiental Ordinaria, existe una primera fase que es voluntaria para el Promotor. En esta primera fase el Promotor puede solicitar al Órgano Ambiental la emisión de un Documento de Alcance del Estudio de Impacto Ambiental, para después llevar a cabo un Documento Inicial siguiendo lo estipulado en la normativa estatal. Éste será enviado al Órgano Sustantivo a fin de que el Órgano Ambiental lo someta a una fase de Consultas Previas a las administraciones públicas afectadas, en un plazo de 30 días. Después el Órgano Ambiental determina la amplitud y detalle del Estudio de Impacto Ambiental (EsIA) en un plazo de hasta tres meses.

Este EsIA es sometido a la Fase Información Pública y enviado de nuevo por parte del Órgano Sustantivo a consulta a las administraciones y organismos consultados previamente durante un periodo de 30 días. Posteriormente, se le informa al Promotor de las alegaciones recibidas en esta fase.

Una vez toda la información generada en este proceso es enviada al Órgano Ambiental, se inicia la Evaluación Ambiental del proyecto para valorar el conjunto de la documentación en un plazo de unos cuatro meses. Después, se formula una Declaración de Impacto Ambiental (DIA), informando sobre la conveniencia o no de ejecutar el proyecto y estableciendo medidas correctoras para su ejecución. [31]

Por consiguiente, este proyecto será un procedimiento de Evaluación Ambiental Ordinaria, ya que el proyecto propuesto es de gran tamaño y como se indica en el anexo I, el terreno de explotación afectado que supera las 25 ha exige un documento detallado. Otro de los factores, es que la construcción de la línea de transmisión de energía eléctrica tiene un voltaje mayor a 220 kV y una longitud superior a 15 km. [33]

## 6.- ANÁLISIS DE LAS ALTERNATIVAS

Para comenzar con el proyecto es imprescindible seleccionar en primer lugar el emplazamiento del parque eólico. Por ese motivo se van a proponer tres alternativas diferentes junto a la no actuación, de esta manera se podrá analizar el impacto que causa un proyecto a gran escala en los diferentes criterios sociales, naturales y económicos. Para evaluar los impactos generados y poder seleccionar la mejor localización, se van a utilizar tres métodos diferentes (Simple, Ponderado y Electre).

### 6.1.- ALTERNATIVAS DE LOCALIZACIÓN

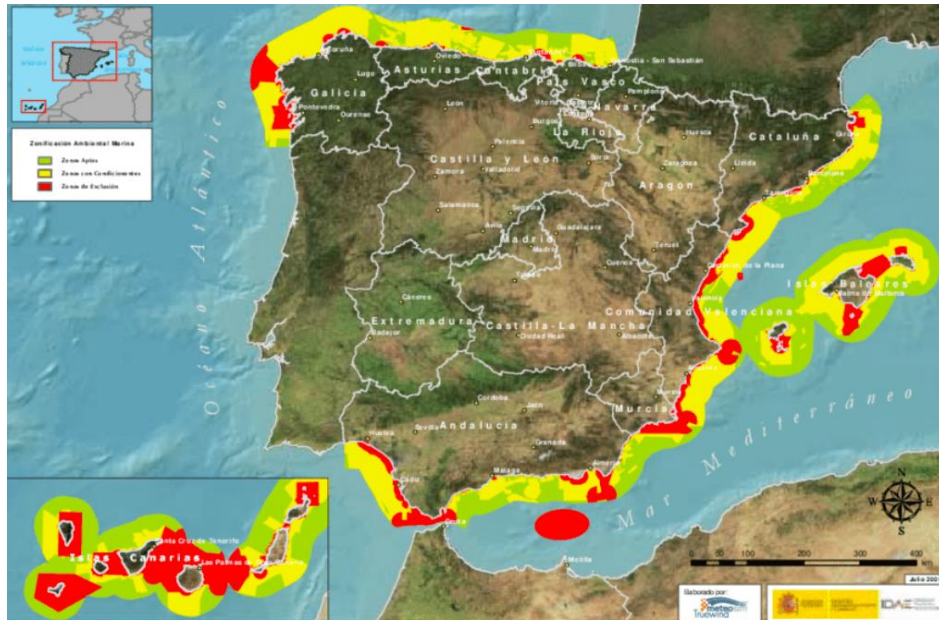
Para seleccionar una ubicación para el proyecto hay que tener en cuenta que la velocidad media anual sea elevada, que las velocidades máximas sean admisibles, que el viento sea lo más laminar posible y tiene que tener una buena exposición al viento con la máxima ausencia de obstáculos.

Al instalarlo en zona marítima hay una ausencia de obstáculos, ya que no hay montes ni edificios que puedan intervenir en la dirección del viento. Por consiguiente, hay una buena exposición al viento y las velocidades que alcanzan son mayores que si fuera onshore. Dado que el parque se ha situado en una gran extensión de agua, su rugosidad es de clase 0 con un índice de energía del 100% y un valor aproximado de 0,0002 m.

Teniendo todo esto en cuenta el proyecto se va a llevar a cabo con la tecnología eólica offshore, dado que los parques eólicos marinos cuentan con efectos beneficiosos. Los parques eólicos marinos producen entre un 30 y un 50% más de energía eléctrica que los parques eólicos en tierra, gracias a la menor intermitencia del aire sobre la superficie del océano y generando energía durante un mayor tiempo. Además el viento marítimo es más laminar y la vida útil de las turbinas se puede alargar hasta los 50 años frente a los 20 años de los parques eólicos terrestres. Pero también tiene el inconveniente de sus elevados costes de construcción, instalación y mantenimiento.

Una vez que se ha escogido la tecnología marítima offshore se han buscado zonas donde haya fuertes vientos, que no haya tránsito marítimo o tráfico aéreo, que la construcción dañe lo menos posible el ecosistema, que no habiten especies en extinción y que cerca haya un punto de apoyo para línea de alta tensión entre otros factores. Además se ha optado por poner el parque a 15 km para que el efecto visual y el ruido sean nulos.

Se van a proponer 3 opciones diferentes para poder escoger la mejor; y para ello se han tenido varias cuestiones en cuenta. Se ha decidido que 2 de los 3 emplazamientos sean españoles, y el otro que esté colocado dentro de Europa. Para escoger las localizaciones españolas se ha tenido en cuenta la Figura 12.



**Figura 12.** Mapa de parcelas para la presentación de proyectos de energía eólica marina en España. [34]

#### 6.1.1.- No actuación

En esta primera alternativa se ha propuesto la opción de no actuación, es decir, no hay ningún proyecto y el emplazamiento está intacto, sin impacto humano. De esta manera se podrá observar el cambio en la localización y el impacto que tiene en el medio ambiente.

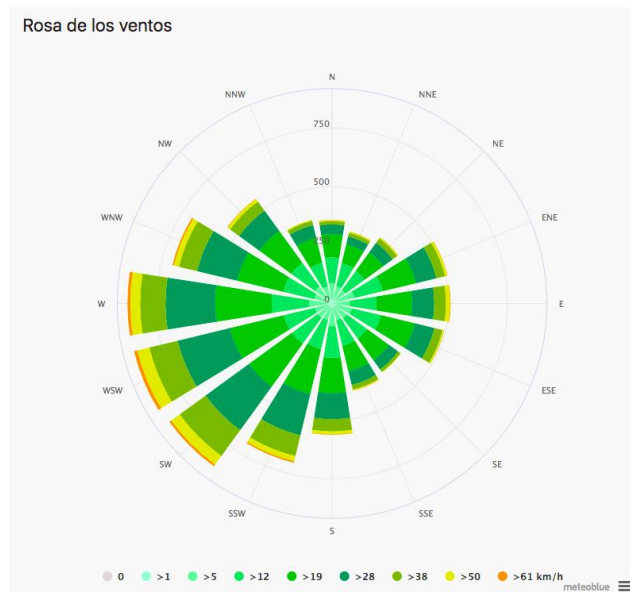
#### 6.1.2.- Mar del Norte

Se ha elegido la ubicación en una zona del mar del Norte, ya que cumple con las características anteriores y además esta zona es conocida por su poca profundidad marina. Siendo así una buena opción para instalar un parque eólico marítimo y que sea más económico y dañe menos el ecosistema marítimo. En cuanto al apoyo de la alta tensión, se ha encontrado una isla llamada Helgoland, la cual está situada a 70 km de tierra firme.



**Figura 13.** Localización geográfica. [35]





**Figura 14.** Rosa de los vientos del Mar del Norte. [36]

Las aguas de esta zona son de baja temperatura y pueden llegar a congelarse, en ocasiones se ven témpanos de hielo flotando en la superficie. Lo más normal es que durante el invierno las aguas de la superficie del mar del Norte alcancen los 6 grados en promedio, mientras que en verano la temperatura asciende a 17 grados.

Este parque eólico se ha situado en la parte suroeste de Helgoland; a 15 km de distancia de la tierra firme, dado que a esta distancia la contaminación visual y acústica sería prácticamente nula. Las coordenadas escogidas han sido 54°07'51" N 7°40'05" E y en este punto su profundidad es de 25 m, lo que conlleva entre otras cosas una ventaja económica, ya que se necesitan menos materiales. Además, según la rosa de los vientos, el viento sopla en su mayoría desde el suroeste. Por otra parte, ubicar la instalación lo más alejado posible de Inglaterra garantiza que la calidad del viento sea más laminar y se eviten turbulencias, a causa de la orografía de la isla.

La particularidad del emplazamiento en el Mar del Norte, es que la velocidad media anual del viento es de 11 m/s, dando así opción a mayores factores de capacidad.

Por otra parte, hay que tener en cuenta el tráfico marítimo, y por esta razón sería inviable construir el parque al noreste del mar del Norte ya que se situaría en el estrecho que conecta el mar del norte con el mar báltico, en pleno tráfico marítimo.

### 6.1.3.- Islas Canarias

La siguiente propuesta es colocar un parque eólico en las islas canarias. En esta ocasión los factores no son tan idóneos como en lo son en la parte del Mar del Norte. Al ser una isla el tránsito marítimo es mayor, y además no tiene la ventaja de la batimetría. Es decir, si se coloca un parque a 15 km de tierra firme, como por ejemplo en las coordenadas 28°33'29"N 16°50'08"W su profundidad llegaría a alcanzar los 1800 m, una situación donde habría que utilizar estructura flotante para llevarlo a cabo.

En la Figura 15 se ve la rosa de vientos correspondiente a estas coordenadas, y la velocidad media obtenida alcanza los 6,5 m/s. [37]

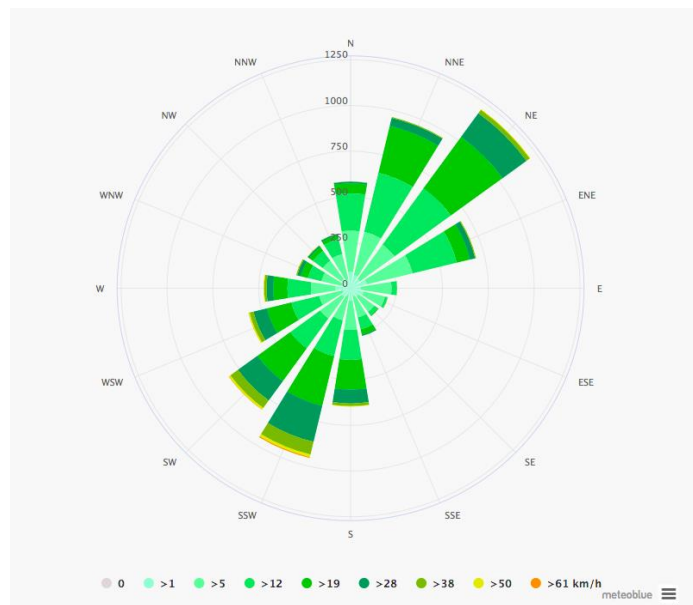


**Figura 15.** Rosa de los vientos de las Islas Canarias. [36]

#### 6.1.4.- Galicia

La última propuesta se centra en Galicia, que al igual que las islas tiene un tráfico más recurrente que en el Mar del Norte. Por otra parte, se ha analizado la localización a 15 km de la costa, en las coordenadas 43°43'09"N 7°14'34"W con una profundidad que alcanza los 300 m. Por lo tanto, al igual que en la segunda propuesta, se recurriría a la estructura flotante.

La Figura 16 representa la rosa de los vientos de estas coordenadas, y su velocidad media alcanza los 8 m/s. [37]



**Figura 16.** Rosa de los vientos de Galicia. [36]

## 6.2.- EVALUACIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA

Dentro de los criterios tenemos que analizar los naturales (Tabla 1), sociales (Tabla 2) y económicos (Tabla 3). Por lo tanto, primero vamos a detallar los criterios que hemos seleccionado para cada uno de los ámbitos mencionados.

**Tabla 1. Criterios naturales.**

<b>Criterios naturales</b>	
N1	Producción de GEI
N2	Ocupación de la superficie
N3	Viento
N4	Afectación flora y fauna
N5	Climatología
N6	Oleaje
N7	Rosa de frecuencia y potencia
N8	Batimetría

**Tabla 2 Criterios sociales.**

<b>Criterios sociales</b>	
S1	Contaminación acústica
S2	Contaminación visual
S3	Seguridad
S4	Tráfico aéreo
S5	Tráfico marítimo
S6	Densidad de población
S7	Ocio
S8	Molestias en la fase de construcción

**Tabla 3. Criterios económicos.**

<b>Criterios económicos</b>	
E1	Modificación de carreteras
E2	Desarrollo económico
E3	Generación de empleo
E4	Subvenciones económicas
E5	Turismo

E6	Mantenimiento
E7	Transporte

Una vez que los criterios ambientales, sociales y económicos han sido seleccionados, se pasa a la evaluación de las alternativas. Para ello se van a usar diferentes métodos para luego poder compararlos; dentro de estos métodos a usar entran la ordenación simple, la ponderada y el método Electre. Estos métodos sirven para ordenar las preferencias de las alternativas, donde la mejor preferencia obtendrá la mayor puntuación.

#### 6.1.- Método simple de ordenación.

Lo primero a desarrollar en este método son los criterios de puntuación para la aplicación:

Excelente: 4

Bueno: 3

Malo: 2

Deficiente: 1

A continuación se va a llevar a cabo la puntuación escogida, y se va a recoger en la Tabla 4:

**Tabla 4.** Método simple de ordenación.

CRITERIOS	ALTERNATIVAS			
	A0	A1	A2	A3
N1	4	4	4	4
N2	4	3	2	2
N3	4	4	2	3
N4	4	3	3	3
N5	4	4	4	4
N6	4	3	3	3
N7	4	3	3	3
N8	4	4	1	1
S1	4	4	4	4
S2	4	4	3	3
S3	4	3	3	3
S4	4	4	4	4
S5	4	3	2	2
S6	1	4	3	3
S7	1	4	3	3
S8	4	3	3	3

E1	4	2	2	2
E2	1	4	4	4
E3	1	4	4	4
E4	1	4	4	4
E5	1	3	3	3
E6	4	1	1	1
E7	4	1	1	1
TOTAL	74	76	66	67

Una vez que todas las puntuaciones han sido sumadas, se puede observar que al usar el método simple la mejor alternativa es colocar el parque eólico en el Mar del Norte, detrás se colocaría la no actuación seguida de la localización de Galicia y para acabar colocarlo en las Islas Canarias. Por lo que el orden de las alternativas quedaría de la siguiente manera:

$$A1 > A0 > A3 > A2$$

#### 6.2.- Método ponderado.

Para comenzar con éste método, se asignan 100 puntos a los tres tipos de criterios por método de ordenación y comparación por pares.

##### Ordenación por importancia

- 1º Criterios Medio natural
- 2º Criterios Medio económico
- 3º Criterios Medio social

##### La comparación por pares

- Medio natural: 1
- Medio económico: 0,8
- Medio social: 0,6
- Total: 2,4

##### Pesos relativos

- Medio económico: 0,42
- Medio natural: 0,33
- Medio social: 0,25

##### Distribución de los puntos

- Medio natural: 42%
- Medio económico: 33%
- Medio social: 25%

Una vez que se han asignado los 100 puntos, se va a llevar a cabo la asignación de los puntos de los distintos criterios.

- **Asignación de los 42 puntos a los diferentes criterios de medio natural**

Ordenación por importancia

- 1° Viento
- 2° Rosa de frecuencia y potencia
- 3° Climatología
- 4° Oleaje
- 5° Batimetría
- 6° Afectación de la flora y fauna
- 7° Ocupación de la superficie
- 8° Producción de GEI

Comparación por pares

- Viento: 1  
Rosa de frecuencia y potencia: 0,9  
Climatología: 0,8  
Oleaje: 0,8  
Batimetría: 0,7  
Afectación de la flora y fauna: 0,5  
Ocupación de la superficie: 0,4  
Producción de GEI: 0,3

Total: 5,4

Pesos relativos

- Viento: 0,18  
Rosa de frecuencia y potencia: 0,17  
Climatología: 0,15  
Oleaje: 0,15  
Batimetría: 0,13  
Afectación de la flora y fauna: 0,09  
Ocupación de la superficie: 0,07  
Producción de GEI: 0,06

Distribución de los 42 puntos

- Viento: %7,56  
Rosa de frecuencia y potencia: %7,14  
Climatología: %6,3  
Oleaje: %6,3  
Batimetría: %5,46  
Afectación de la flora y fauna: %3,78  
Ocupación de la superficie: %2,94  
Producción de GEI: %2,52

- **Asignación de los 33 puntos a los diferentes criterios de medio económico**

Ordenación por importancia

- 1º Desarrollo económico
- 2º Generación de empleo
- 3º Modificación de carreteras
- 4º Mantenimiento
- 5º Transporte
- 6º Subvenciones económicas
- 7º Turismo

Comparación por pares

- Desarrollo económico: 1  
Generación de empleo: 0,9  
Modificación de carreteras: 0,8  
Mantenimiento: 0,6  
Transporte: 0,5  
Subvenciones económicas: 0,3  
Turismo: 0,2

Total: 4,3

Pesos relativos

- Desarrollo económico: 0,23  
Generación de empleo: 0,21  
Modificación de carreteras: 0,19  
Mantenimiento: 0,14  
Transporte: 0,12  
Subvenciones económicas: 0,07  
Turismo: 0,04

Distribución de los 33 puntos

- Desarrollo económico: %7,59  
Generación de empleo: %6,93  
Modificación de carreteras: %6,27  
Mantenimiento: %4,62  
Transporte: %3,96  
Subvenciones económicas: %2,31  
Turismo: %1,32

- **Asignación de los 25 puntos a los diferentes criterios de medio social**

Ordenación por importancia

- 1º Tráfico marítimo
- 2º Densidad de población
- 3º Molestias en la fase de construcción
- 4º Ocio
- 5º Seguridad
- 6º Contaminación visual

7° Contaminación acústica  
8° Tráfico aéreo

Comparación por pares

Tráfico marítimo: 1  
Densidad de población: 0,8  
Molestias en la fase de construcción: 0,7  
Ocio: 0,6  
Seguridad: 0,4  
Contaminación visual: 0,3  
Contaminación acústica: 0,2  
Tráfico aéreo: 0,1

Total: 4,1

Pesos relativos

Tráfico marítimo: 0,24  
Densidad de población: 0,2  
Molestias en la fase de construcción: 0,17  
Ocio: 0,15  
Seguridad: 0,1  
Contaminación visual: 0,07  
Contaminación acústica: 0,05  
Tráfico aéreo: 0,02

Distribución de los 25 puntos

Tráfico marítimo: %6  
Densidad de población: %5  
Molestias en la fase de construcción: %4,25  
Ocio: %3,75  
Seguridad: %2,5  
Contaminación visual: %1,75  
Contaminación acústica: %1,25  
Tráfico aéreo: %0,5

Después de que la asignación de los puntos esté distribuida, se resume todo en diferentes tablas (Tabla 5, Tabla 6, Tabla 7).

**Tabla 5.** Ordenación de las alternativas.

CRITERIOS	PESO	ALTERNATIVAS			
		A0	A1	A2	A3
N1	7,56	4	4	4	4
N2	7,14	4	3	2	2
N3	6,3	4	4	2	3
N4	6,3	4	3	3	3
N5	5,46	4	4	4	4



N6	3,78	4	3	3	3
N7	2,94	4	3	3	3
N8	2,52	4	4	1	1
S1	6	4	4	4	4
S2	5	4	4	3	3
S3	4,25	4	3	3	3
S4	3,75	4	4	4	4
S5	2,5	4	3	2	2
S6	1,75	1	4	3	3
S7	1,25	1	4	3	3
S8	0,5	4	3	3	3
E1	7,59	4	2	2	2
E2	6,93	1	4	4	4
E3	6,27	1	4	4	4
E4	4,62	1	4	4	4
E5	3,96	1	3	3	3
E6	2,31	4	1	1	1
E7	1,32	4	1	1	1

**Tabla 6.** Matriz relativa a la alternativa A1.

CRITERIOS	PESO	ALTERNATIVAS			
		A0	A1	A2	A3
N1	7,56	1	1	1	1
N2	7,14	1	0,75	0,5	0,5
N3	6,3	1	1	0,5	0,75
N4	6,3	1	0,75	0,75	0,75
N5	5,46	1	1	1	1
N6	3,78	1	0,75	0,75	0,75
N7	2,94	1	0,75	0,75	0,75
N8	2,52	1	1	0,25	0,25
S1	6	1	1	1	1
S2	5	1	1	0,75	0,75
S3	4,25	1	0,75	0,75	0,75
S4	3,75	1	1	1	1

S5	2,5	1	0,75	0,5	0,5
S6	1,75	1	4	3	3
S7	1,25	1	4	3	3
S8	0,5	1	0,75	0,75	0,75
E1	7,59	1	0,5	0,5	0,5
E2	6,93	1	4	4	4
E3	6,27	1	4	4	4
E4	4,62	1	4	4	4
E5	3,96	1	3	3	3
E6	2,31	1	0,25	0,25	0,25
E7	1,32	1	0,25	0,25	0,25

**Tabla 7. Matriz ponderada.**

CRITERIOS	ALTERNATIVAS			
	A0	A1	A2	A3
N1	7,56	7,56	7,56	7,56
N2	7,14	5,36	3,57	3,57
N3	6,30	6,30	3,15	4,73
N4	6,30	4,73	4,73	4,73
N5	5,46	5,46	5,46	5,46
N6	3,78	2,84	2,84	2,84
N7	2,94	2,21	2,21	2,21
N8	2,52	2,52	0,63	0,63
S1	6,00	6,00	6,00	6,00
S2	5,00	5,00	3,75	3,75
S3	4,25	3,19	3,19	3,19
S4	3,75	3,75	3,75	3,75
S5	2,50	1,88	1,25	1,25
S6	1,75	7	5,25	5,25
S7	1,25	5,00	3,75	3,75
S8	0,50	0,38	0,38	0,38
E1	7,59	3,80	3,80	3,80
E2	6,93	27,72	27,72	27,72

E3	6,27	25,08	25,08	25,08
E4	4,62	18,48	18,48	18,48
E5	3,96	11,88	11,88	11,88
E6	2,31	0,58	0,58	0,58
E7	1,32	0,33	0,33	0,33
TOTAL	100	157,01	145,31	146,88

Una vez que todas las puntuaciones han sido sumadas, se puede observar que al usar el método ponderado la mejor alternativa es la localización del Mar del Norte, detrás se colocaría la costa de Galicia seguida de la costa de las Islas Canarias, y para acabar con la no actuación. Por lo que el orden de las alternativas quedaría de la siguiente manera:

$$A1 > A3 > A2 > A0$$

### 6.3.- Método electre.

Finalmente, se ha empleado el método Electre para clasificar las alternativas evaluadas. Este método se basa en calcular las matrices de concordancia (Tabla 8) y discordancia (Tabla 9) de las alternativas para posteriormente ordenarlas.

#### Matriz de concordancia

En la matriz de concordancia se tiene en cuenta la matriz ponderada. Cada elemento de la matriz de concordancia se calcula sumando los valores de los criterios en los que la alternativa seleccionada es superior a la alternativa con la que se está comparando; después, el valor obtenido se divide entre la suma de todos los valores obtenidos para esa alternativa.

**Tabla 8. Matriz de concordancia.**

	A0	A1	A2	A3
A0	X	0,38	0,52	0,56
A1	0,61	X	0,21	0,21
A2	0,63	0,00	X	0,00
A3	0,63	0,00	0,03	X

#### Matriz de discordancia.

En la matriz de discordancia, en cambio, se tiene en cuenta el método simple. En esta matriz se considera el criterio con la mayor diferencia a favor de la alternativa analizada respecto a la alternativa con la que se está comparando, y posteriormente, este valor se divide con la diferencia máxima de ese criterio.

**Tabla 9. Matriz de discordancia.**

	A0	A1	A2	A3
A0	X	1,00	1,00	1,00
A1	1,00	X	0,67	0,33
A2	1,00	0,00	X	0,00
A3	1,00	0,00	0,33	X

Matriz de ordenación.

Una vez calculadas las matrices de concordancia y discordancia, se ha realizado la matriz de ordenación (Tabla 10). Para ello se ha comparado los valores obtenidos en la matriz de concordancia teniendo en cuenta la siguiente norma: si  $C_{1,2} < C_{2,1}$  entonces A1 se prefiere a A2.

**Tabla 10. Matriz de ordenación.**

	A0	A1	A2	A3
A0	X	A1	A2	A3
A1	X	X	A1	A1
A2	X	X	X	A3
A3	X	X	X	X

Una vez terminada la matriz de ordenación se consigue que la mejor alternativa es la localización del Mar del Norte, detrás se colocaría la costa de Galicia seguida de la costa de las Islas Canarias, y para acabar con la no actuación. Por lo que el orden de las alternativas quedaría de la siguiente manera:

$$A1 > A3 > A2 > A0$$

6.4.- Resultados de los métodos.

Después de emplear los tres métodos, matriz de ordenación simple, método ponderado y el método Electre, obtenemos resultados iguales con el método ponderado y Electre, pero diferentes respecto al método simple:

Método simple de ordenación:  $A1 > A0 > A3 > A2$   
 Método ponderado:  $A1 > A3 > A2 > A0$   
 Método Electre:  $A1 > A3 > A2 > A0$

Por tanto, se concluye que el orden preferencial de las alternativas es:

$$A1 > A3 > A2 > A0$$

Este orden tiene sentido, ya que se le ha ofrecido más importancia al criterio económico que al natural o al social; por lo tanto, la alternativa de no actuación está situada la última opción, ya que si no hay proyecto no hay beneficios económicos.

## 7.- DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA

En este apartado se va a describir el proyecto que se quiere llevar a cabo, y para ello se van a analizar diferentes ámbitos y factores. Primero se va a especificar la localización escogida. Después, se va a elegir el tipo de aerogenerador que se va a implantar, pero para escoger el modelo óptimo hay que tener varios factores en cuenta. Cuando el modelo del aerogenerador ya está decidido, se va a evaluar la cantidad de aerogeneradores que se van a colocar; y una vez que se sepa el diámetro de las palas, la cantidad que se van a colocar y la distribución, se va a poder calcular tanto el área del parque como la producción anual. También se van a determinar el tipo de cimentación y el cableado.

Por otro lado se va a hacer una valoración cuantitativa y cualitativa del parque para poder estudiar el impacto ambiental de éste; pero para ello es imprescindible concretar las acciones que se van a llevar a cabo en cada fase (construcción, vida útil y desmantelamiento), junto con los factores ambientales que son afectados. Además, a los factores ambientales se les va a aplicar unidades de importancia (UIP) mediante la ordenación por pares, por rangos y escalar. Al relacionar las acciones con los factores ambientales en una matriz de identificación, se va a poder comenzar con las evaluaciones comentadas.

Para terminar, se van a sugerir medidas correctoras para minimizar cualquier impacto negativo que tengan las acciones en el ambiente.

### 7.1.- LOCALIZACIÓN

Una vez que se ha escogido la tecnología marítima offshore se han buscado zonas donde haya fuertes vientos, que no haya tránsito marítimo o tráfico aéreo, que la construcción dañe lo menos posible el ecosistema, que no habiten especies en extinción y que cerca haya un punto de apoyo para línea de alta tensión entre otros factores. Por ello se ha escogido 3 emplazamientos para luego mediante una evaluación con diferentes criterios poder seleccionar la mejor alternativa; y la mejor alternativa dentro de las opciones es la localización del Mar del Norte. Debido a su poca profundidad marina es más económico y daña menos el ecosistema marítimo. En cuanto al apoyo de la alta tensión, se ha encontrado una isla llamada Helgoland, la cual está situada a 70 km de tierra firme.

Las aguas de esta zona son de baja temperatura y pueden llegar a congelarse, en ocasiones se ven témpanos de hielo flotando en la superficie. Lo más normal es que durante el invierno las aguas de la superficie del mar del Norte alcancen los 6 grados en promedio, mientras que en verano la temperatura asciende a 17 grados.

Este parque eólico se ha situado en la parte suroeste de Helgoland; a 15 km de distancia de la tierra firme, dado que a esta distancia la contaminación visual y acústica sería prácticamente nula. Las coordenadas escogidas han sido 54°07'51" N 7°40'05" E y en este punto su profundidad es de 25 m, lo que conlleva entre otras cosas una ventaja económica, ya que se necesitan menos materiales. Además, según la rosa de los vientos (Figura 14), el viento sopla en su mayoría desde el suroeste. Por otra parte, ubicar la instalación lo más alejado posible de

Inglaterra garantiza que la calidad del viento sea más laminar y se eviten turbulencias, a causa de la orografía de la isla.

Por otra parte, hay que tener en cuenta el tráfico marítimo, y por esta razón sería inviable construir el parque al noreste del mar del Norte ya que se situaría en el estrecho que conecta el mar del norte con el mar báltico, en pleno tráfico marítimo.

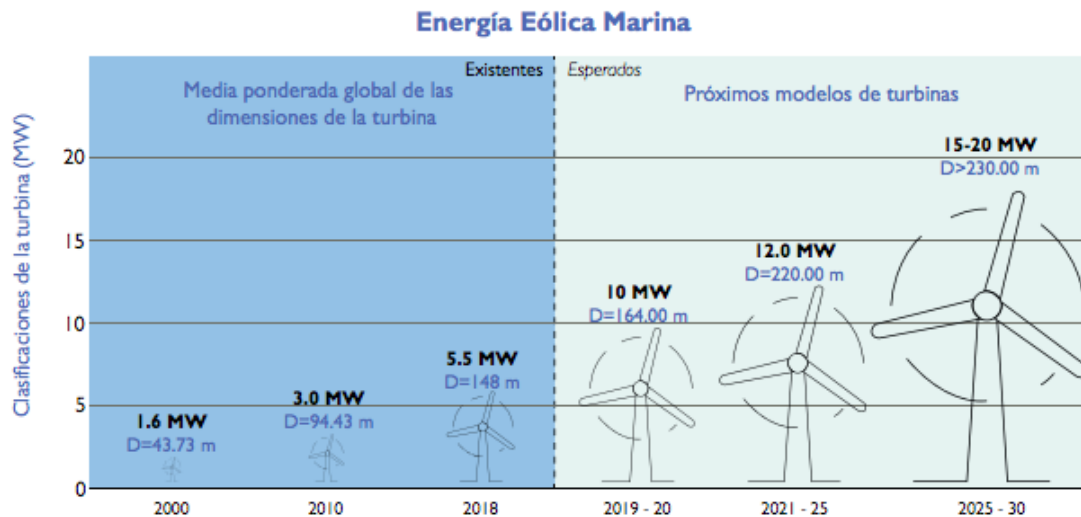
La particularidad del emplazamiento en el Mar del Norte, es que la velocidad media anual del viento es de 11 m/s, dando así opción a mayores factores de capacidad. Al instalarlo en zona marítima hay una ausencia de obstáculos, ya que no hay montes ni edificios que puedan intervenir en la dirección del viento. Por consiguiente, hay una buena exposición al viento y las velocidades que alcanzan son mayores que si fuera onshore. [38]

## 7.2.- AEROGENERADORES

En los aerogeneradores la energía cinética del viento se convierte en energía eléctrica, y por esa razón es muy importante operar con el mejor modelo posible; para de esa manera obtener la máxima potencia.

La principal diferencia entre un aerogenerador onshore y offshore radica en la robustez de las turbinas para soportar la corrosión, por estar sometidas a un entorno agresivo en términos de salinidad, humedad y condiciones climatológicas más adversas. La corrosión no solo afecta a la parte exterior de la torre, sino también a su interior y a la estructura de soporte, por esa razón la plataforma y la torre están equipadas con sistemas de regulación de control de humedad y de temperatura para mitigar el riesgo de corrosión interna. Aun así, la vida útil de un aerogenerador offshore es mayor; mientras que un parque eólico onshore está disponible 20 años, uno offshore puede superar los 25 años.

Dado que actualmente se le está ofreciendo más atención a la energía eólica offshore, la búsqueda de un mejor aprovechamiento del viento y la optimización del espacio ha llevado a que cada vez se generen turbinas más altas y áreas de barrido mayores, elevando así el rendimiento máximo (Figura 17). El tamaño medio de las turbinas utilizadas en los parques eólicos marinos aumentó de 3 MW en 2010 a 5,5 MW para proyectos terminados en 2018 según IRENA. [39]



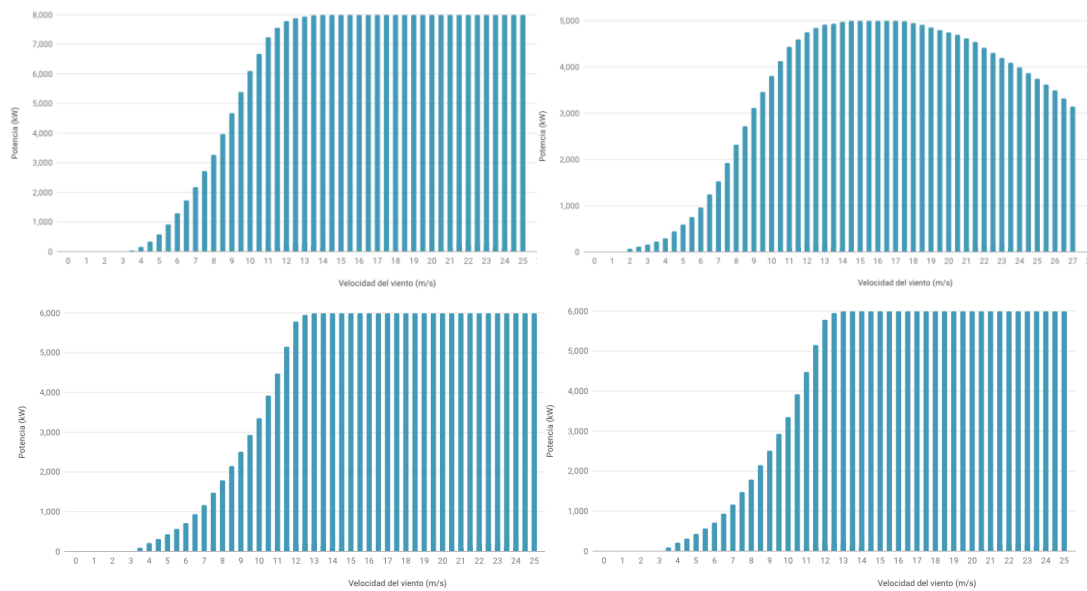
**Figura 17.** Evolución de los aerogeneradores. [39]

Las turbinas tienen un controlador que cuando detectan un viento entre 2-3 m/s envía la orden de posicionarse frente al viento para orientar la turbina, y a partir de los 3 m/s da la orden de desaplicar frenos para permitir el giro de la turbina y comenzar a girar por el efecto del empuje del viento. Pero para no dañar el motor, cuando hay vientos superiores a 25 m/s, se produce la parada del aerogenerador.

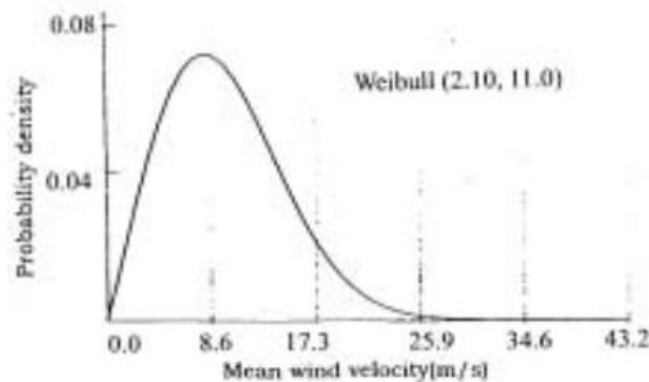
Como ya se ha comentado, la elección del aerogenerador es un paso muy importante, y por ello se han analizado 4 turbinas diferentes que aparecen en la Tabla 11. Todos los modelos que se han buscado son de Siemens Gamesa, ya que el edificio de la compañía está cerca del puerto de embarque, rebajando así el impacto del trayecto en el suelo. [40][41][42][43]

Para poder escoger el modelo óptimo es necesario saber tanto la curva de potencia de cada aerogenerador (Figura 18) como la distribución Weibull (Figura 19), la cual describe la variación del viento de la localización. Con ello se va analizar el Factor de Capacidad (CF) y la viabilidad económica, y gracias a estos datos se obtendrá el mejor resultado. Estos cálculos se detallan en el apartado “9.3. Descripción de los cálculos”; y los resultados específicos se encuentran en el Anexo 1.





**Figura 18.** Curvas de potencia: a) SG 8.0-167 DD, b) G128/5000, c) G87/2000, d) SWT 6.0-154. [40][41][42][43]



**Figura 19.** Distribución de Weibull en el Mar del Norte. [38]

Para la cantidad de aerogeneradores que se van a colocar y qué área va a ocupar el parque, se ha puesto como objetivo conseguir un parque eólico que alcance los 100 MW de potencia. Por otra parte se ha decidido optar por la opción de colocar los aerogeneradores con la distribución llamada tresbolillo, donde se consigue reducir al máximo las pérdidas por estelas. Otro dato a tener en cuenta para saber el área que va a ocupar el parque es la longitud de la pala, debido a que ésta es la medida que se va a tomar como referencia. Las columnas tendrán una distancia de siete diámetros (entre 5-7 teóricos); mientras que las filas distan entre sí una distancia de cinco diámetros (3-5 teóricos). [44]

A continuación, en la Tabla 11 se han agrupado varias características de cada tipo de aerogenerador para poder compararlos.

**Tabla 11.** Descripción y comparación de valores de los modelos de turbina.

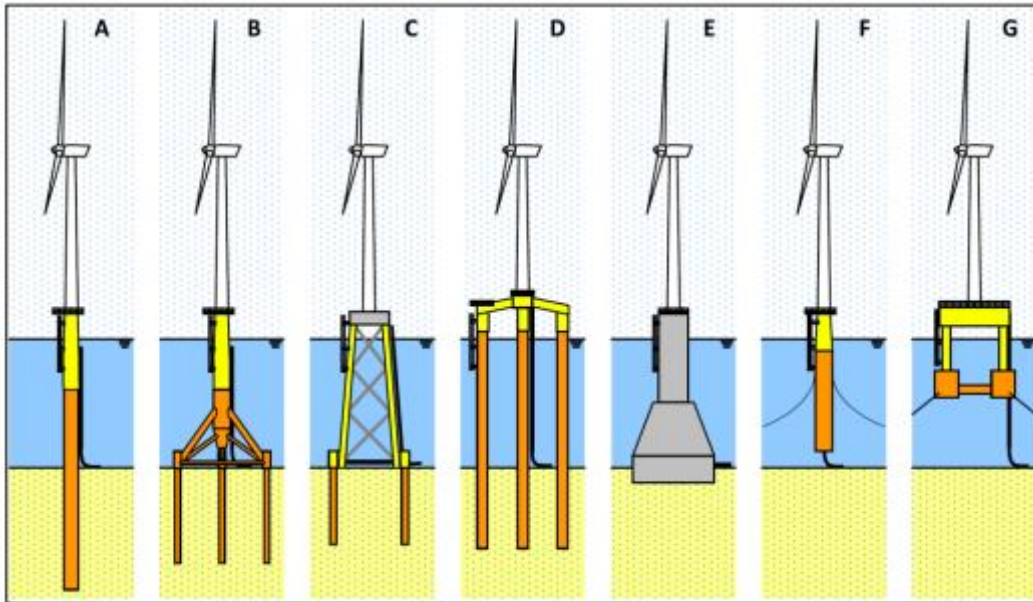
	<b>SG 8.0-167 DD</b>	<b>G128/5000</b>	<b>G87/2000</b>	<b>SWT 6.0-154</b>
<b>Potencia (MW)</b>	8	5	2	6
<b>Diámetro (m)</b>	167	128	87	154
<b>Área de barrido (m<sup>2</sup>)</b>	21.904	12.868	5.945	18.627
<b>Densidad de potencia (m<sup>2</sup>/kW)</b>	2,74	2,58	2,98	3,11
<b>Altura de la góndola (m)</b>	92	94	100	-
<b>Nº de palas</b>	3	3	3	3
<b>Nº de turbinas</b>	13	20	50	17
<b>C.F.</b>	0,51	0,67	0,50	0,46
<b>VAN (M€)</b>	60	84	67	43

Teniendo en cuenta las 4 opciones comentadas y habiendo evaluado tanto el C.F. como la viabilidad económica; logramos que el modelo óptimo, y que por tanto se va a proponer en este trabajo, es Gamesa G128/5000. Para saber cuántos aerogeneradores se van a distribuir se ha puesto como objetivo construir un parque eólico de 100 MW, por lo que serán necesarios 20 aerogeneradores del modelo Gamesa G128/5000; con una distribución de 5 aerogeneradores por fila en 4 columnas. Además, al ser el dato del diámetro un parámetro conocido, se puede calcular el área de dicho parque que asciende a una superficie total de unos 11 km<sup>2</sup>, lo que conlleva a ocupar un 0,01% del Mar del Norte.

### 7.3.- CIMENTACIÓN

En este tipo de localizaciones, al estar el aerogenerador totalmente expuesto, la potencia del viento que mueve las palas puede llegar a ser muy fuerte. Además, las tormentas, los tifones y los terremotos provocan cargas cíclicas complejas sobre la estructura y éstas son transmitidas por la subestructura a la cimentación, que está en contacto directo con el subsuelo marino. Esto lleva a que la instalación sea muy compleja, y los de los puntos críticos a la hora del montaje son en la elevación de los aerogeneradores, su sustentación y su fijación en el suelo.

Actualmente existen seis categorías de cimentación: Monopilote (A), Trípole (B), Jacket (C), Tripilote (D), Gravedad (E) y Flotantes (F y G). En la Figura 20 se muestran cada una de ellas.

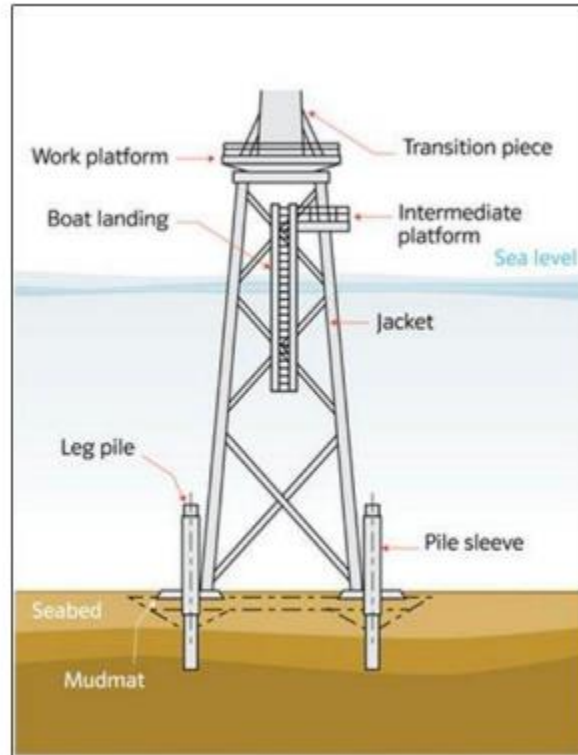


**Figura 20.** Tipos de cimentaciones para aerogeneradores offshore. [45]

Entre los diferentes tipos, la más usada es el monopilote, representando un 81,7 % de todas las subestructuras instaladas en Europa en 2017, según datos de Wind Europe. A continuación, se encuentra la estructura tipo Jacket con un 6,9 %, seguida de las cimentaciones por gravedad con un 6,2 %.

En la selección de un tipo de cimentación hay que tener en cuenta muchos factores como las características del lecho marino, profundidad, vida útil, cargas a las que se ven sometidas, etcétera; es un proceso difícil. En el caso de este proyecto, como la profundidad que hay es de alrededor de los 25 m el tipo de cimientos que se va a utilizar es la estructura Jacket (Figura 21).

Este tipo de cimentación se caracteriza por una geometría en forma de celosía, con 4 pilotes en las esquinas de la base. Además tiene una baja masa estructural y una gran rigidez, pero en su contra tiene una construcción compleja ya que necesita una gran cantidad de material en la fabricación. Se suele utilizar para profundidades de 20 metros hasta 50 metros, lo que entra dentro del margen de este parque. Es muy utilizado en ubicaciones, donde se soportan fuerzas con direcciones cambiantes continuamente y permite reducir la carga debida al oleaje en comparación con el monopilote debido a su gran rigidez y a que el área en la que actúa el oleaje es menor. [45]



**Figura 21.** Estructura Jacket. [45]

#### 7.4.- CONEXIÓN ELÉCTRICA

La energía producida por los aerogeneradores es transportada hasta la subestación transformadora del parque eólico a través de cables eléctricos submarinos, y estos se caracterizan principalmente por la protección incorporada de aislamiento eléctrico y por un encamisado hecho con metal y plástico. Lo que se quiere conseguir es proteger el cable de la corrosión marina y ante los posibles daños mecánicos que pueda sufrir en su traslado del barco al mar. Puede tener un diámetro de hasta 25 centímetros y pesar alrededor de 100 kilogramos por metro; las dimensiones se ajustan especialmente a cada caso.

La conexión eléctrica de un parque eólico offshore puede realizarse de dos formas diferentes. En la primera opción, el transporte de la energía eléctrica generada por los aerogeneradores se realiza por una línea eléctrica hacia una subestación offshore. Esta subestación transportará la energía hasta otra subestación situada en tierra, la cual suele formar parte de la infraestructura eléctrica existente. En la otra opción, el transporte de la energía eléctrica se realiza directamente por una línea eléctrica desde estos hasta una subestación onshore, sin pasar por ninguna línea eléctrica offshore.

La elección del sistema depende de la potencia total de la instalación y de la distancia al punto de evacuación; esto es porque las pérdidas de energía eléctrica son proporcionales a ambos parámetros. Hoy en día la opción más recurrente es la segunda, pero se prevee que en el futuro la primera opción vaya cogiendo más importancia debido a que la tendencia de las instalaciones de los parques eólicos es que cada vez son más grandes y se sitúan más alejados. [46]

Con el objetivo de optimizar el cable utilizado, los aerogeneradores están interconectados en serie en grupos de varias unidades, de forma que se transporte la energía en ternas comunes de cables hasta una subestación eléctrica terrestre y, seguidamente, a la red eléctrica. Para finalizar, la energía es conducida por la red eléctrica hasta los centros de consumo. [47]

En el proceso de instalación de los cables submarinos hay que hacer un reconocimiento del terreno y planificación de la ruta, es decir, es importante explorar el fondo marino como la batimetría y el tipo de suelo que determinan el modo de enterramiento a emplear. Además se miden las condiciones meteorológicas del mar como corrientes, mareas, oleajes, temperatura del agua, condiciones de congelación y las condiciones atmosféricas como el viento, la humedad y la temperatura. Una vez obtenida toda la información del emplazamiento se diseña la ruta que deben seguir los cables tratando de optimizar el coste y tomando en consideración la seguridad de los trabajos del enterramiento.

Normalmente el cable debe ser enterrado a una profundidad que oscila entre 1 y 3 metros para protegerlo de los daños que pueden causar las anclas de barcos y las actividades relacionadas con la pesca. Un arado realiza los trabajos de abrir una zanja en el fondo del mar y suele ser arrastrado por el barco cableador. En muchos casos el arado realiza las actividades de colocación y de enterramiento del cable simultáneamente. [48]

En cuanto a la transmisión de la energía eléctrica se distinguen dos posibilidades; la corriente alterna trifásica de alta tensión (HVAC-High Voltage three-phase Alternating Current Transmisión) y la corriente continua de alta tensión (HVDC-High Voltage Direct Current transmisión).

En la primera opción se diferencian dos tipos diferentes de cable de c.a.. Por un lado se encuentra el cable trifásico con tres conductores aislados, el cual tiene un límite de 120 km ya que en la transmisión a grandes distancias, los tres conductores paralelos actúan como un condensador y generan una potencia reactiva. Por el otro lado se encuentra el cable monofásico, que requiere de tres cables separados.

En cuanto a la corriente continua de alta tensión, es un sistema que es el preferente para el transporte de energía eléctrica a grandes distancias.

Para la selección del cable, se requiere conocimiento de las olas, mareas y de la posibilidad de movimientos sísmicos de la zona. También es un factor importante el estudio de impacto ambiental que se va a producir al enterrar el cable en el fondo marino. En ocasiones, y para minimizar los impactos producidos en la instalación del cable, puede ser necesario posponer la instalación de este hasta el invierno, cuando la vida marina es menos activa. [46]

## 7.5.- ACCIONES

Para poder realizar una adecuada evaluación de impactos es necesario conocer y analizar la actuación que se va a evaluar, y considerar las características y situaciones derivadas del proyecto que pueden tener alguna incidencia sobre el medio ambiente.

A continuación se enumeran las principales acciones de un proyecto de parque eólico offshore que pueden tener alguna incidencia en el medio, separando la fase de construcción, la fase de funcionamiento y la de desmantelamiento de la infraestructura.

#### 7.5.1.- Fase de construcción

- Contratación de personal cualificado
- Expropiación de los terrenos
- Protección y señalización de las zonas de trabajo
- Transporte de materiales
- Transporte de equipos
- Excavaciones para la cimentación de aerogeneradores
- Preparación de plataformas para los trabajos de construcción
- Cimentaciones
- Montaje de aerogeneradores
- Montaje de línea eléctrica de evacuación y subestación transformadora
- Ocupación temporal del espacio marítimo-terrestre
- Presencia de equipos, embarcaciones y trabajadores
- Parque de maquinaria, acopio de materiales de construcción y residuos
- Creación de zonas de exclusión
- Ruido de las actividades desarrolladas por embarcaciones y estudios sísmicos
- Vibraciones que se producen durante la hinca de los elementos de cimentación y la escollera de protección
- Vertidos accidentales
- Apertura de zanjas
- Dragados

#### 7.5.2.- Fase de funcionamiento

- Presencia del parque eólico e infraestructuras asociadas
- Contratación de personal cualificado
- Rotación de las palas
- Creación de zona de exclusión
- Generación, transformación y transporte de energía
- Visitas y mantenimiento
- Saneamiento ambiental
- Ruidos y vibraciones
- Empleo local
- Cableado
- Presencia de alumbrado y balizamiento para navegación marítima y aérea

#### 7.5.3.- Fase de desmantelamiento y abandono

- Contratación de personal cualificado
- Retirada de los aerogeneradores, cimentaciones, cables conductores y resto de infraestructuras asociadas

- Transporte a vertedero
- Reutilización de materiales
- Presencia de equipos, embarcaciones y trabajadores
- Parque de maquinaria
- Abandono del emplazamiento
- Creación de zonas de exclusión
- Desempleo

#### 7.6.- DIAGRAMA DE GANTT DE LA PLANIFICACIÓN DE LA OBRA

Para llevar a cabo el plan de obra en la fase de construcción se ha generado un diagrama de Gantt. De esta manera se desglosan las acciones generales en subacciones, y se les adjudica un periodo estimado de duración.

En este caso el calendario se ha distribuido con el concepto de que cada mes tiene 4 semanas, y se ha estimado como periodo máximo 1 año de construcción. Por lo que cada cubicación hace referencia a una semana, y se considera que se trabajan 40 horas semanales y 48 semanas al año (Figura 22). [49]

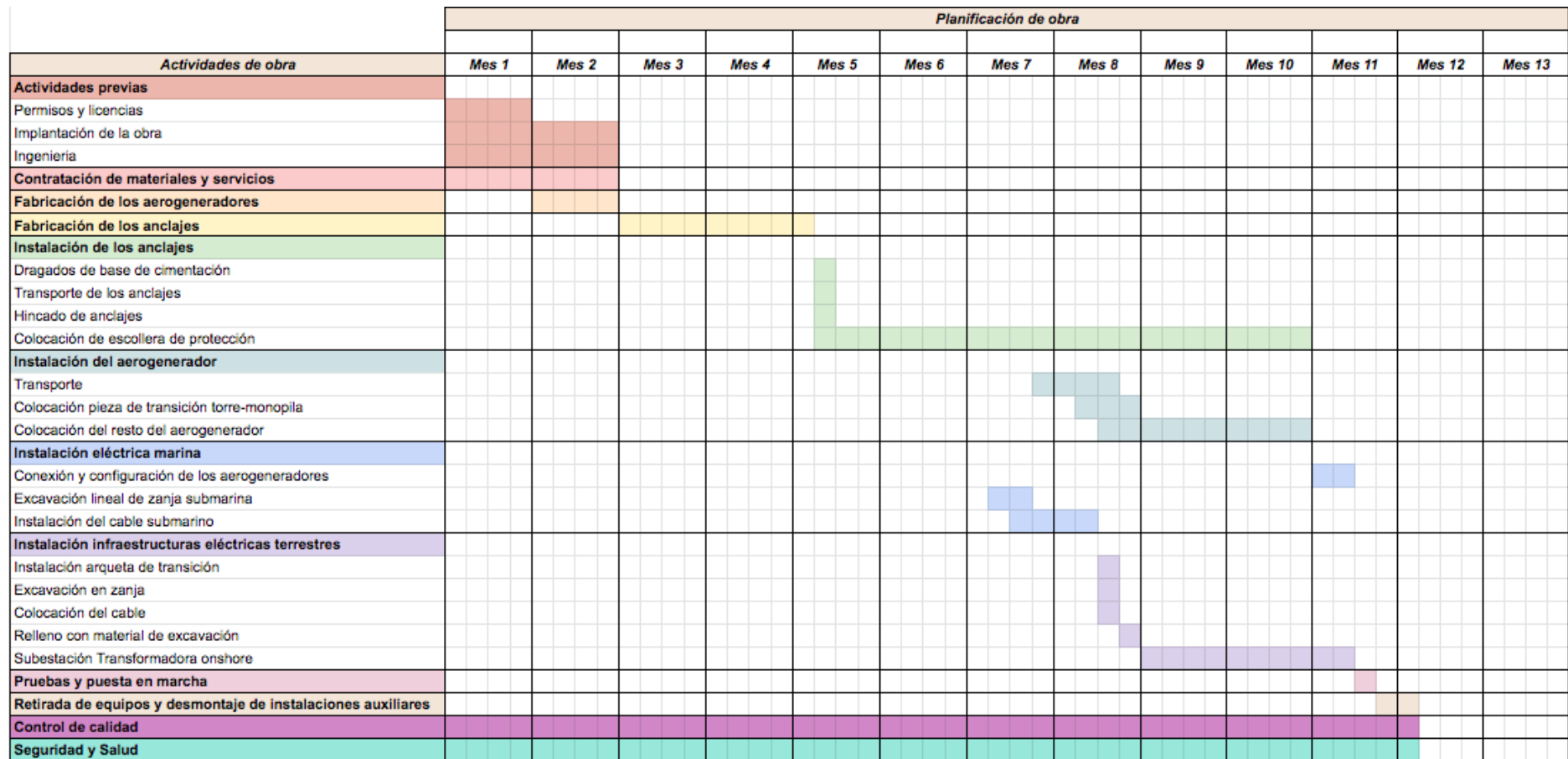


Figura 22. Diagrama de Gantt de la planificación de obra.



## 7.7.- CLASIFICACIÓN FACTORES AMBIENTALES

Los factores que se han considerado que afectan en el presente proyecto son los que se muestran en la Tabla 12:

**Tabla 12.** Selección de los factores ambientales que afectan al impacto ambiental.

SUBSISTEMA	MEDIO	FACTOR
Físico natural	Inerte	Aire
		Clima
		Tierra-suelo
		Medio marino y costero
	Biótico	Vegetación o flora
		Fauna
Perceptual	Perceptual	Intervisibilidad
Población y poblamiento	Usos del suelo rústico	Uso recreativo al aire libre
	Características culturales y relaciones económicas	Características culturales
Socio económico	Economía	Actividades y relaciones económicas
Núcleos e infraestructuras	Infraestructuras y servicios	Infraestructura no viaria

Para poder clasificar los subsistemas, los medios y los factores se les ha dado diferentes unidades de importancia (UIP); y para eso son necesarios diferentes panelistas. En este proyecto se han tenido en cuenta las preferencias de 12 panelistas, y todos los datos se encuentran recopilados en el Anexo 2.

### 7.7.1.- Clasificación de los subsistemas

Los subsistemas se han ordenado mediante la matriz de ordenación por pares como se puede ver en la Tabla 13.

**Tabla 13.** Clasificación de los subsistemas mediante la ordenación por pares.

	Subsistemas				
	Físico natural	Perceptual	Población y poblamiento	Socio económico	Núcleos e infraestructuras
Valor rel. tot.	4,4	0,6	2,1	2,3	2,6
Valor rel. final	0,37	0,05	0,18	0,19	0,22
Valor UIP	367	50	175	192	216

Según las unidades de importancia, los subsistemas tiene la siguiente clasificación:

- 1° Subsistema físico natural (367 UIP).
- 2° Subsistema núcleos e infraestructura (216 UIP).
- 3° Subsistema socio económico (192 UIP).
- 4° Subsistema población y poblamiento (175 UIP).
- 5° Subsistema perceptual (50 UIP).

#### 7.7.2.- Clasificación de los medios

En el apartado anterior se han obtenido 367 UIP correspondientes al subsistema físico natural que se dividen en los medios inerte y biótico. En este apartado se reparten esas unidades entre ambos medios mediante la matriz de ordenación por rangos (Tabla 14).

**Tabla 14.** Clasificación del subsistema físico natural mediante la ordenación por rangos.

	Subsistemas	
	Inerte	Biótico
Suma	7	5
Valor relativo	0,58	0,42
Valor UIP	214	153
TOTAL	367 UIP	

Según las unidades de importancia, los medios del subsistema físico natural tienen la siguiente clasificación:

- 1° Medio inerte (214 UIP).
- 2° Medio biótico (153 UIP).

Para continuar con la clasificación de los medios, se ha analizado los medios del subsistema población y poblamiento que se dividen en los medios de uso del suelo rústico y características culturales y relaciones económicas. En el apartado anterior se han obtenido 175 UIP correspondientes a este subsistema, los cuales se reparten entre ambos medios mediante la matriz de ordenación por rangos (Tabla 15).

**Tabla 15.** Clasificación del subsistema población y poblamiento mediante la ordenación por rangos.

	Subsistemas	
	Uso del suelo rústico	Características culturales y relaciones económicas
Suma	8	4
Valor relativo	0,67	0,33
Valor UIP	117	58
TOTAL	175 UIP	

Según las unidades de importancia, los medios del subsistema población y poblamiento tienen la siguiente clasificación:

1° Medio del uso del suelo rústico (117 UIP).

2° Medio de las características culturales y relaciones económicas (58 UIP).

#### 7.7.3.- Clasificación de los factores

Por último, se ha usado la matriz de ordenación escalar para ordenar los factores. Para comenzar se han clasificado los factores del medio inerte, por lo que se han repartido los 214 UIP entre los 4 factores correspondientes (Tabla 16).

**Tabla 16.** Clasificación de los factores del medio inerte por ordenación escalar.

	Subsistemas			
	Aire	Clima	Tierra	Medio marino
Valor rel. tot.	3,35	2,76	2,59	3,29
Valor rel. final	0,28	0,23	0,22	0,27
Valor UIP	60	49	46	59
TOTAL	214 UIP			

Según las unidades de importancia, los factores del medio inerte tienen la siguiente clasificación:

1° Aire (60 UIP).

2° Medio marino (59 UIP).

3° Clima (49 UIP).

4° Tierra (46 UIP).

A continuación se van a clasificar los 153 UIP del medio biótico entre los factores vegetación y fauna (Tabla 17):

**Tabla 17.** Clasificación de los factores del medio biótico por ordenación escalar.

	Subsistemas	
	Vegetación	Fauna
Valor rel. tot.	2,99	3,29
Valor rel. final	0,48	0,52
Valor UIP	73	80
TOTAL	153 UIP	

Según las unidades de importancia, los factores del medio biótico tienen la siguiente clasificación:

1° Fauna (80 UIP).

2° Vegetación (73 UIP).

#### 7.7.4.- Resultado de la clasificación

Una vez que se han clasificado todos los factores según sus importancias dentro de los medios y subsistemas, se colocan los resultados de los factores en la Tabla 18. En algunos subsistemas sólo se ha escogido un factor ambiental, por lo que no se ha tenido que aplicar ninguna matriz de ordenación.

**Tabla 18.** Resultados de los factores.

Subsistema	Factor	Valor UIP
Físico natural	Aire	60
	Clima	49
	Tierra-suelo	46
	Medio marino y costero	59
	Vegetación o flora	73
	Fauna	80
Perceptual	Intervisibilidad	50
Población y poblamiento	Uso recreativo al aire libre	117
	Características culturales	58
Socio económico	Actividades y relaciones económicas	192
Núcleos e infraestructuras	Infraestructura no viaria	216

Lógicamente, la suma de todas las unidades UIP da un resultado de 1.000 UIP, y se comprueba que las matrices se han realizado correctamente.

## 7.8.- INVENTARIO AMBIENTAL

### 7.8.1.- Aire

La calidad del aire es un parámetro muy importante, el cual no es un valor constante. Varía en consecuencia a la actividad humana, pero en general el aire en Helgoland es de estado bueno o levemente moderado. En caso de que la calidad del aire sea buena no hay riesgo y se puede hacer cualquier actividad al aire libre; por otra parte, cuando es moderada, la calidad del aire sigue siendo aceptable, pero puede causar leves molestias respiratorias o síntomas leves a largo plazo por la exposición a personas muy sensibles. Esta situación se debe a la ubicación remota y a la ausencia de coches que asegura un aire casi libre de polen y hace que Helgoland sea el destino ideal para los alérgicos. Aun así el mayor porcentaje del año está en una buena situación donde la contaminación principal es el la aparición de PM2.5 y PM10. [50]

A continuación se va a explicar el daño que causan los componentes contaminantes más habituales individualmente.

Las partículas finas son partículas contaminantes inhalables con un diámetro inferior a 2,5 micrómetros que pueden entrar en los pulmones y en el torrente sanguíneo y provocar graves problemas de salud, afectando de forma más grave a los pulmones y al corazón. Por otro lado, las partículas de más de 2,5 micrómetros pueden depositarse en las vías respiratorias y provocar problemas de salud. La exposición a estas partículas puede provocar tos o dificultad para respirar, agravar el asma, irritación de ojos y garganta y desarrollar enfermedades respiratorias crónicas.

El ozono a nivel del suelo puede agravar las enfermedades respiratorias existentes y también provocar irritación de garganta, dolores de cabeza y dolor de pecho.

El monóxido de carbono es un gas incoloro e inodoro y, cuando se inhala en altos niveles, puede causar dolor de cabeza, náuseas, mareos y vómitos. La exposición prolongada a largo plazo puede provocar enfermedades cardíacas.

Para terminar, la exposición al dióxido de azufre puede provocar irritación de garganta y ojos, y agravar el asma y la bronquitis crónica. [51]

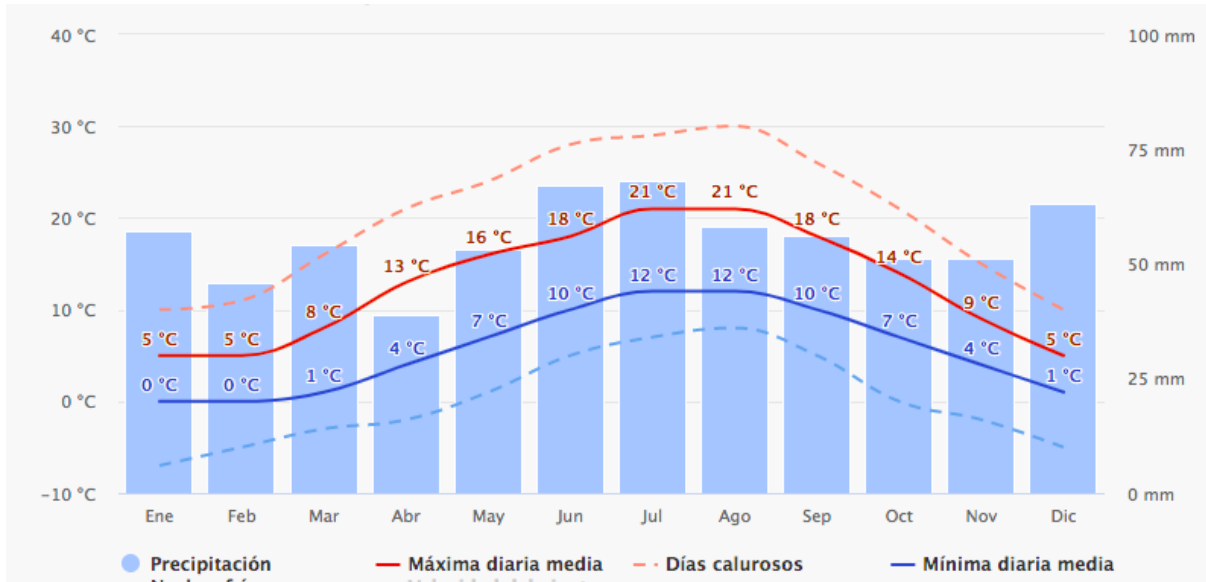
Por lo tanto es muy importante mantener la calidad del aire en niveles bajos para poder convivir con la mayor seguridad. Para ello es necesario que las personas tengamos conciencia del daño que hacemos al medio ambiente para poder reducirlo en la medida de lo posible.

#### 7.8.2.- Clima

El siguiente factor ambiental a tener en cuenta es el clima, el cual se analiza en la Figura 23. Helgoland se caracteriza por tener veranos cortos, cómodos, ventosos y parcialmente nublados; por otra parte, los inviernos son largos, muy fríos, sumamente ventosos y mayormente nublados. Durante el transcurso del año, la temperatura generalmente varía de 1 °C a 20 °C y rara vez baja a menos de -4 °C o sube a más de 24 °C.

La temporada templada dura 3 meses, de junio a septiembre, y la temperatura máxima promedio diaria es de más de 17 °C. El mes más cálido del año es agosto, con una temperatura máxima promedio de 19 °C y mínima de 15 °C.

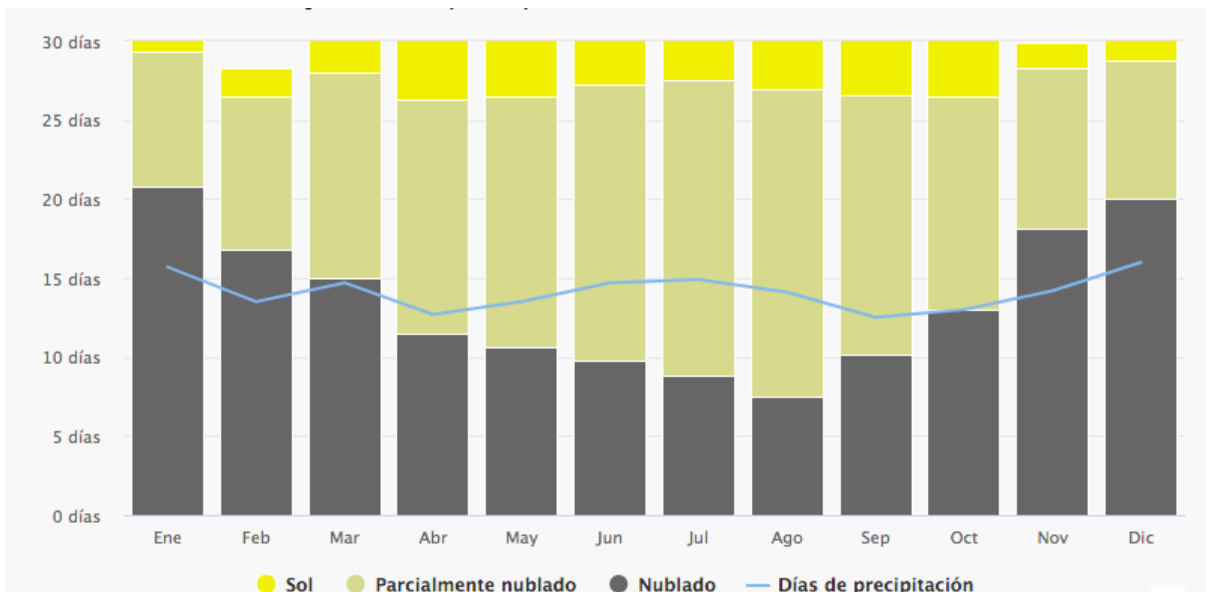
La temporada fresca dura 4 meses, de noviembre a marzo, y la temperatura máxima promedio diaria es menor de 8 °C. El mes más frío del año es febrero, con una temperatura mínima promedio de 2 °C y máxima de 5 °C.



**Figura 23.** Temperaturas medias y precipitaciones. [52]

En cuanto a la niebla, la distribución anual está representada en la Figura 24. Como se puede apreciar, la parte más despejada del año en Helgoland comienza aproximadamente en abril; dura 6 meses y se termina aproximadamente en octubre. El mes más despejado del año es julio, durante el cual en promedio el cielo está despejado, mayormente despejado o parcialmente nublado el 54 % del tiempo.

Por el contrario, la parte más nublada del año comienza aproximadamente en octubre; dura 6 meses y se termina aproximadamente en abril. El mes más nublado del año es diciembre, durante el cual en promedio el cielo está nublado o mayormente nublado el 69 % del tiempo.

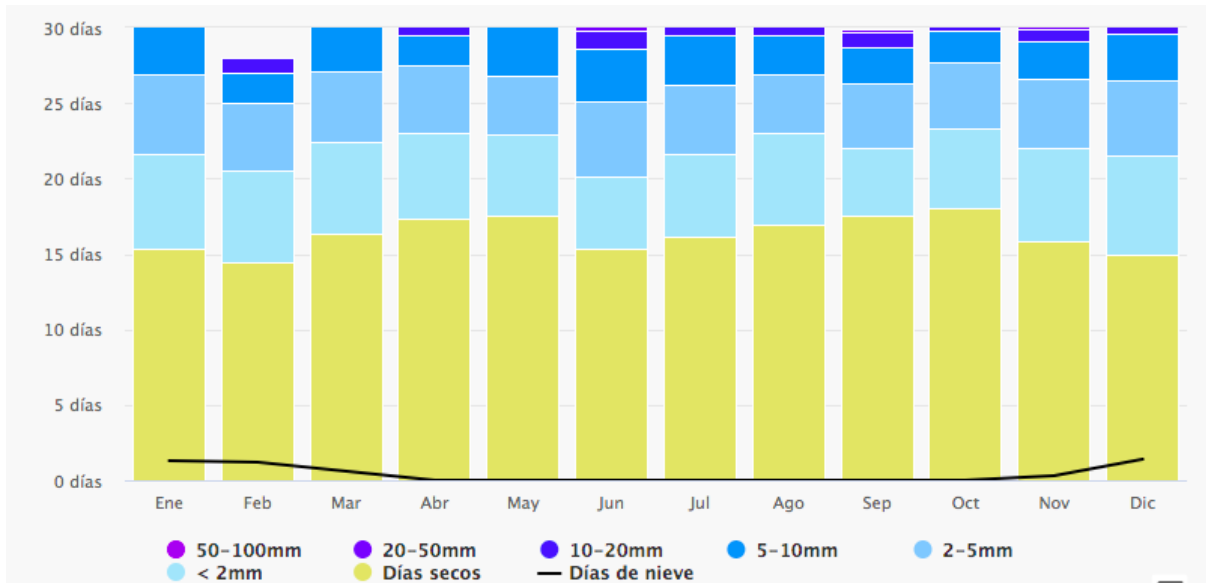


**Figura 24.** Cielo nublado, sol y días de precipitación. [52]

A continuación se va a analizar las precipitaciones gracias a la Figura 25. Como se puede ver, la temporada más mojada dura 9 meses, de junio a marzo, con una probabilidad de más del 29

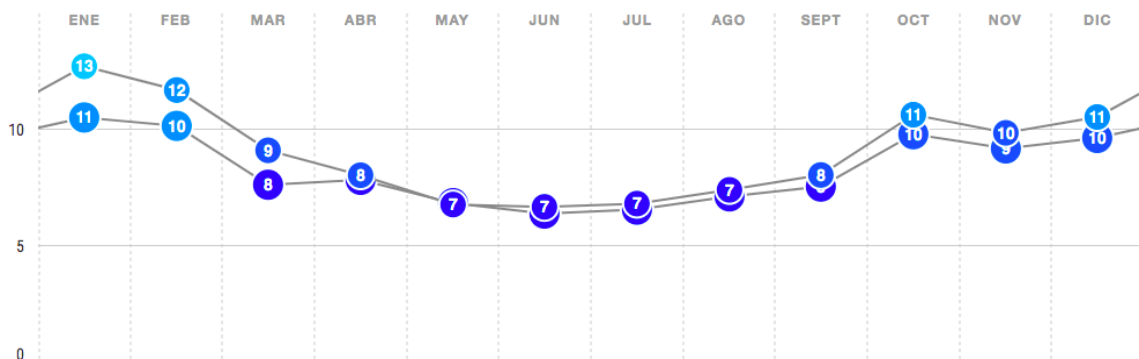
% de que el día será un día mojado. El mes con más días mojados es octubre, con un promedio de 11,1 días y 64 milímetros de lluvia.

La temporada más seca dura 3 meses, de marzo a junio, y el mes con menos días mojados es abril, con un promedio de 6,3 días y 29 milímetros de lluvia.



**Figura 25.** Cantidad de precipitaciones. [52]

Para acabar, se ha analizado la velocidad del viento en la Figura 26. La parte más ventosa del año dura 6 meses, de septiembre a marzo y el mes más ventoso del año es enero, con vientos a una velocidad promedio de 24 kilómetros por hora. Por el contrario, el tiempo más calmado va desde marzo a septiembre, donde el mes más calmado del año es mayo con vientos a una velocidad promedio de 13 kilómetros por hora. El promedio anual oscila por los 15 km/h. [52][53]



**Figura 26.** Velocidad media del viento y ráfagas de viento (kts). [53]

### 7.8.3.- Tierra-Suelo

La isla de Heligoland es una curiosidad geológica, ya que la presencia de la característica roca sedimentaria roja de la isla principal en esa zona del mar del Norte es inusual (Figura 27). No se conocen otras formaciones similares de acantilados en la costa del mar del Norte. Existen también pequeños yacimientos de cobre nativo y creta, marga y yeso, que da el típico color

blanco alterno con rojo; se ha constatado la presencia de cobre (en forma de carbonato de cobre) en la roca blanca. Al pie de los acantilados se suele encontrar cobre nativo, en forma de pepitas de color verdoso o negro.



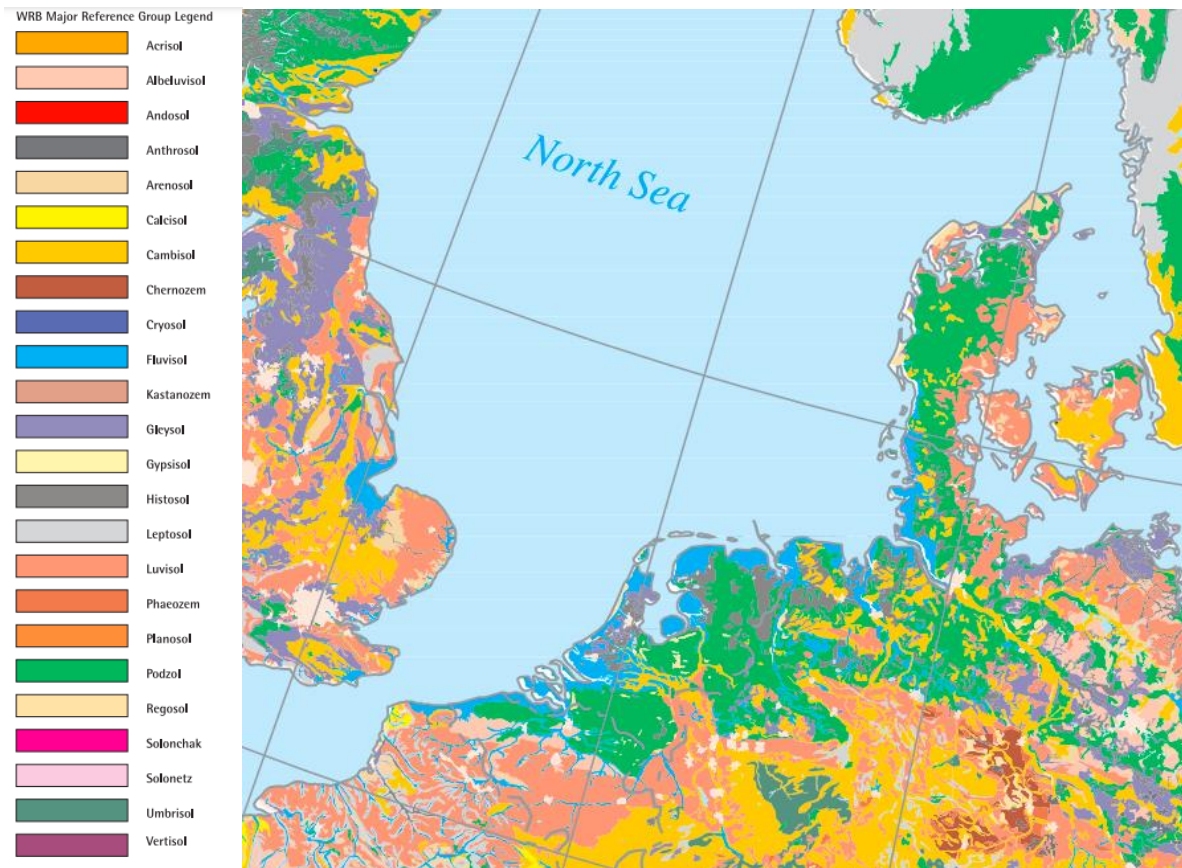
*Figura 27. Acantilado de Heligoland. [54]*

La parte sur de Heligoland, en la cual se han construido gran cantidad de casas y fondeaderos, corresponde a una playa o zona de hundimiento formada por los detritos de los acantilados, una vez derruidos y desmoronados por las grandes mareas y marejadas del pasado. En la actualidad esta zona, de color más claro, corresponde al sustrato calizo que une Heligoland con Düne y se prolonga bajo el mar a poca profundidad. [54]

Por otra parte hay que tener en cuenta el suelo que se daña al transportar el equipo desde Alemania hasta el puerto más cercano a Heligoland. Este puerto es Alte Liebe en Cuxhaven, y desde este puerto saldría la embarcación con los equipos y materiales necesarios para la construcción y mantenimiento del parque eólico. Suponiendo que los equipos salen de Siemens Gamesa en Cuxhaven, la cual es la fábrica offshore más grande de Alemania, el trayecto sería de muy corto alcance y por lo tanto el impacto sería menor.

La edafología de Alemania se muestra en la Figura 28 y como se puede apreciar, por la zona por la que se transporta el equipo predominan los tipos “Histosol”, “Fluvisol” y “Pozsol”.



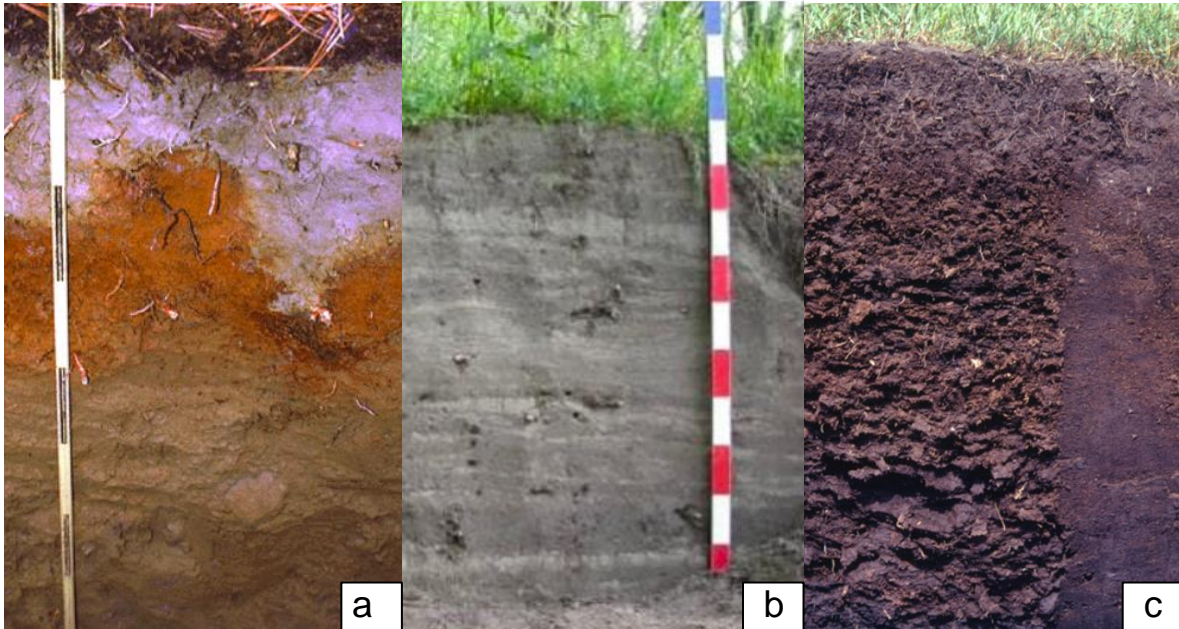


**Figura 28.** Edafología de los alrededores del Mar del Norte. [55]

Los Histosoles son suelos ricos en materia orgánica y residuos vegetales más o menos descompuestos. Se desarrollan generalmente en zonas donde la materia orgánica se acumula en la superficie sin llegar a descomponerse o de una saturación prolongada del suelo. Se vuelven en suelos de baja fertilidad cuando la vegetación natural es reemplazada abruptamente por cultivos agrícolas. Sufre ausencias especialmente de contenidos de boro, cobre y zinc. [56]

El término Fluvisol viene de fluvius que significa río y hace alusión a suelos desarrollados sobre depósitos aluviales. Así pues, se desarrollan en depósitos aluviales o se localizan cerca de los ríos. Entre las características más destacables se encuentra que son de color oscuros, el material flúvico se identifica por su estratificación y empieza dentro de los 25 cm. [57]

Para acabar, los Podzoles son suelos con un horizonte superficial superior típicamente gris ceniza, decolorado por pérdida de materia orgánica y óxidos de hierro, sobre un horizonte de acumulación oscuro con humus iluvial pardo, rojizo o negro. Los Podzoles ocurren en áreas húmedas en las zonas boreal o templada y localmente también en los trópicos. Se encuentran principalmente en las regiones húmedas y en tierras llanas. [58]



**Figura 29.** Edafología de la zona: a) Podzol; b) Fluvisol; c) Histosol. [56][57][58]

#### 7.8.4.- Medio marino y costero

Este proyecto está situado en el mar del Norte, el cual es uno de los mares más jóvenes que se conocen. Se trata de un mar marginal dentro del océano Atlántico de agua salada. El mayor flujo de salinidad proviene del Atlántico y el agua con menos temperatura y menor salinidad proviene del Báltico.

Este mar está situado al oeste del continente europeo entre Reino Unido, Alemania, Francia, Bélgica, Países Bajos, Dinamarca, Suecia y Noruega, tiene una forma rectangular que cubre una superficie aproximada de 570,000 km<sup>2</sup> y un volumen de 54,000-94,000 km<sup>3</sup>. Su longitud total se estima en unos 960 kilómetros y en su parte más ancha se encuentran 580 kilómetros.

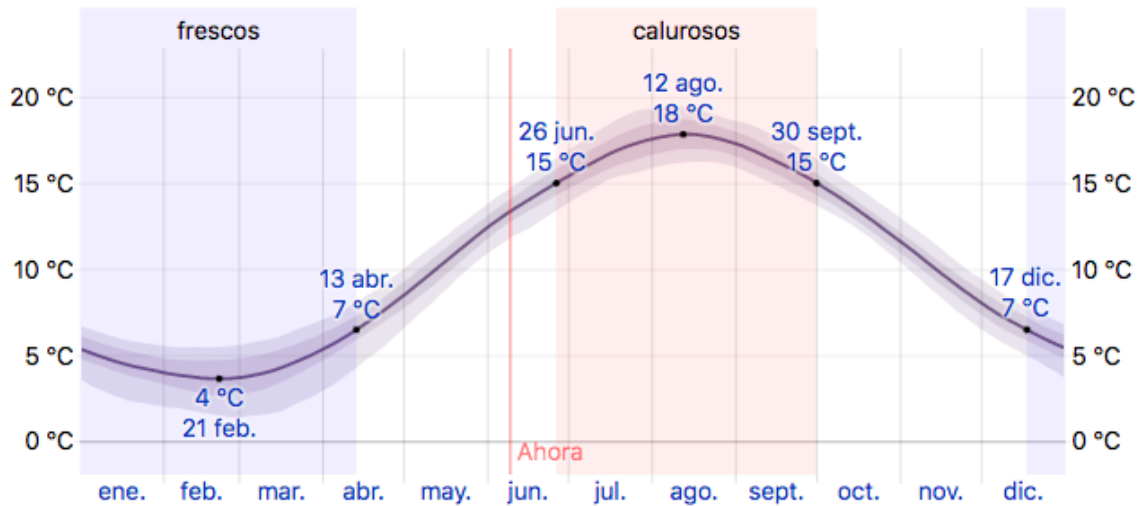
Se conecta con el resto del océano Atlántico a través del Paso de Calais y el Canal de la Mancha, y con el Báltico a través del estrecho de Skagerrak y el subsecuente estrecho de Kattegat. En este mar se encuentran islas como son las islas Frisias, Farne, otras pequeñas islas e islotes cerca de las costas. Los ríos que alimentan principalmente a este mar son el Rin, el Gloma, el Elba, el Weser, el Drammen, el Ätran, el Támesis, el Trent y el Ems.

Al ser bastante joven es poco profundo; en la parte del norte es algo más hondo pero tan sólo alcanza algunas zonas con 90 metros de profundidad, y la profundidad máxima estimada es de 700 metros y está situada la parte del norte en la región Noruega. Son aguas de muy baja temperatura que a veces se llegan a congelar. Lo más normal es que durante el invierno las aguas de la superficie del mar del Norte alcancen los 6 grados en promedio, mientras que en verano la temperatura asciende a 17 grados.

Para concretar más la temperatura del mar se analiza la Figura 30, donde se ve como la época del año cuando el agua está más caliente transcurre desde junio hasta septiembre, con una

temperatura promedio superior a 15 °C. El mes del año en Helgoland en el que la temperatura del agua es más caliente es agosto, con una temperatura promedio del agua de 18 °C.

Por otro lado, la época del año donde el agua está más fría va desde diciembre a abril, con una temperatura promedio inferior a 7 °C. El mes del año en el que la temperatura del agua es más fría es febrero, con una temperatura promedio del agua de 4 °C. [54][59]



**Figura 30.** Temperaturas promedio del agua en Helgoland.

Como se ha mencionado antes, se trata de uno de los mares más jóvenes de todo el mundo con una antigüedad de unos 3000 años. Comenzó a crecer a partir de la separación del súper continente Pangea ya que esta separación fue abriendo grandes masas de tierra que se fue alimentando con la desembocadura de los ríos mencionados anteriormente.

Debido a las diferentes eras glaciales, las capas de hielo se fueron retirando llevando a que el nivel del mar aumentará. Debido al aporte del agua de los ríos y la desaparición del hielo pudo comenzar a formarse el mar por completo. Además, el ascenso del nivel del mar provocó que el puente de tierra que existe entre Gran Bretaña y Francia se inundara y el canal de la Mancha y el mar del Norte quedarán conectados. [60]

También hay que tener en cuenta que debido a las dos guerras mundiales el fondo marino de la costa de Heist alberga un enorme vertedero de munición. Se calcula que hay entre 35 y 200.000 toneladas de material, de las cuales un tercio podría contener gases tóxicos. Una intervención podría provocar una catástrofe ecológica; pero dejar las bombas donde están también es peligroso, porque tarde o temprano terminarán siendo corroídas por el óxido, liberando así su carga tóxica. La Unidad de Gestión Matemática del Mar del Norte y del Estuario del Escaut (UGMM) supervisa de cerca el estado del vertedero. [61]

Por otro lado, cabe recalcar que el cambio climático tiene consecuencias en ecosistemas marinos de las aguas del mar del Norte y del Báltico debido a la preocupación en zonas costeras por el previsto incremento del nivel de las aguas.

Durante los años 60 se descubrió el petróleo y gas natural bajo el lecho marino del Mar del Norte, y como el gas natural es una fuente de energía muy importante, esta localización tomó mucho interés. Los dos mayores productores son Noruega y el Reino Unido. Se han construido varios gasoductos importantes como el de Langeled, entre las islas Británicas y la Península Escandinava. [62]

Este mar también resulta ser uno de los más productivos del mundo, pero también de los que soporta mayor presión por actividad humana, donde se detecta la presencia de metales pesados y la eutrofización. Por otro lado, debido a la pesca de arrastre y la extracción de arena, la sobrepesca, el tráfico marítimo y la amplia presencia de parques eólicos y plataformas petroleras de gas, el fondo marino está acarreando grandes cambios. Esto ha provocado que el mar del Norte se transforme desapareciendo la mayoría de los arrecifes de ostras y mejillones, y las especies de gran tamaño como el tiburón y la raya han sido sustituidas por otras más pequeñas y menos longevas.

La contaminación es otro de los problemas centrales del mar del Norte; según un estudio de KIMO, cada año se arrojan 20.000 toneladas de residuos a sus aguas, lo que aparte de intoxicar peces dificulta el trabajo de los pescadores. [63]

Hay tres tipos de sustancias químicas que preocupan especialmente a los investigadores. Los PCB altamente tóxicos llevan sin duda largo tiempo prohibidos, pero aún permanecerán miles de años en las aguas marinas. Los HAP (hidrocarburos aromáticos policíclicos) son sustancias alquitranosas liberadas por las chimeneas de los barcos, que consumen un combustible muy pesado y contaminante. Y por último el TBT (tributiletano), esta es una sustancia estannífera que se halla presente en las pinturas empleadas en los cascos de los barcos. [61]

El problema de la contaminación es grave. A lo largo de las últimas décadas se han producido vertidos de aguas residuales y desechos industriales, así como derrames accidentales de petróleo. Por consiguiente, el uso intensivo y no sostenible de los recursos del mar del Norte lo han convertido en un cuerpo de agua en peligro, aunque algunos países han establecido acuerdos para protegerlo. Uno de los más destacados fue el Convenio OSPAR en 1992, que reunió acuerdos internacionales para prevenir la contaminación del mar. [59]

Helgoland surge del mar como acantilados rojos moteados de blanco sobre los cuales rompe el mar, a veces con mucha violencia; sin embargo los fondos que la rodean son muy distintos según la zona en la que se bucee. En la zona norte abundan las rocas oscuras ricas en cobre y carbonato de cobre; y en general el sector es rocoso. En los alrededores de la isla los buceadores han encontrado restos arqueológicos que indican un extenso poblamiento prehistórico en este sector. [54]

#### 7.8.5.- Vegetación o flora

En esta isla hay una flora muy variada y especies. Hay plantas raras como el hinojo marino o la col de acantilado, que es la planta madre de todas las variedades de col cultivada y solo crece de forma silvestre en Helgoland, crecen en las extensas áreas verdes y en los escarpados acantilados. Orquídeas, berros, coltsfoot y muchas otras plantas coloridas florecen en los prados de flores ricos en especies en primavera y verano. También existen los arbustos de espino cerval

de mar en el área noreste que dan sus frutos brillantes hasta finales de otoño. En general las especies de plantas están muy adaptadas a la alta salinidad, como la pamplina o la mostaza marina, crecen en las dunas y en las marismas. [64]

La flora marina está representada por muchos tipos de algas, entre ellas, el sargazo vejigoso (*Fucus vesiculosus*), *Ascophyllum nodosum* y las laminarias (Laminariales). Es cierto que en la actualidad el mar del Norte no se distingue entre los mares por su biodiversidad, pero siglos atrás albergaba muchas más especies. [59]

#### 7.8.6.- Fauna

Como es de esperar, este mar es rico en biodiversidad y no sólo es residencia de muchos animales, sino también zona de animales migratorios. En el mar del Norte sobre todo se encuentran mamíferos como la foca común (*Phoca vitulina*), la marsopa común (*Phocoena phocoena*), la foca de casco (*Cystophora cristata*), la foca anillada (*Pusa hispida*), la morsa (*Odobenus rosmarus*), el delfín nariz de botella (*Tursiops truncatus*) y las ballenas francas (Eubalaena), y más de 230 especies de peces como el merlán (*Merlangius merlangus*), la mielga (*Squalus acanthias*), el bacalao, el abadejo, peces planos (Pleuronectiformes), el faneca (*Trisopterus luscus*), el eglefino (*Melanogrammus aeglefinus*) y el arenque. La amplia variedad de pescado es debido a la gran cantidad de nutrientes y de plancton. [59]

Además, debido a su ubicación aislada, es una parada para un gran número de aves migratorias en primavera y otoño. Así, cada año se pueden observar más de 5.000 parejas de aves en la roca de las aves, la llamada “Lummenfelsen”. El “Lummenfelsen” se considera la reserva natural más pequeña del mundo donde se encuentran diferentes especies aves; como por ejemplo el alcatraz del Atlántico Norte, las gaviotas tridáctilas, el alca, el fulmar y el arao. Debido a que hay muchas aves de la última especie entre junio y julio, hay un espectáculo natural muy popular entre los turistas denominado como “salto del arao”, donde las crías saltan desde una roca al agua poco después de nacer. [65]

En cuanto a la contaminación acústica submarina, los niveles de ruido en las proximidades del aerogenerador son claramente inferiores a los umbrales de seguridad definidos para las diferentes especies marinas y el riesgo de causar daño a los peces y mamíferos es insignificante. Además, muchas especies de peces podrán verse favorecidas, ya que sirven como cobijo contra predadores y corrientes fuertes de agua. Asimismo, pueden acudir a las plataformas para alimentarse, desovar o como área para alevines. Además, muchas especies podrán crear santuarios, ya que los parques eólicos offshore hacen que la pesca no sea viable cerca de esas zonas.

El gran problema que presenta la eólica marina es la alteración de los fondos marinos. Los aerogeneradores suponen una disminución de la radiación solar que llega a los fondos marinos, alterando la fauna y la flora del lugar. [66]

Por otro lado, a la altura de los aerogeneradores, las aves modifican sus rutas migratorias para no atravesar los parques eólicos, por consiguiente, el gasto energético al volar es mayor y es importante la utilización de mapas de sensibilidad de aves para minimizar los impactos en las mismas a la hora de situar un parque, y estas rutas se ven reflejadas en la Figura 31.



**Figura 31.** Rutas de las aves migratorias en Europa. [67]

#### 7.8.7.- Intervisibilidad

La visibilidad de un paisaje depende fundamentalmente de sus condiciones topográficas y atmosféricas y de la distancia respecto del punto de observación.

La intervisibilidad es un factor importante a tener en cuenta, ya que un impacto visual puede dañar el valor paisajístico de la zona. En este caso la costa está totalmente despejada, es decir, no hay ningún proyecto que disturba el paisaje ni el medio marino; por lo que cualquier proyecto que se construya cerca de esta zona tendría un elevado impacto visual, ya que se construiría una estructura donde anteriormente no había nada.

#### 7.8.8.- Uso recreativo al aire libre

Hay varias actividades que se pueden llevar a cabo como el submarinismo. Exceptuando las épocas de grandes marejadas o con mal tiempo, se puede bucear y practicar submarinismo alrededor de la isla. Pero siempre hay que mantenerse alerta debido a la presencia de bajos fondos rocosos, corrientes de marea y otros accidentes. Las profundidades pueden caer abruptamente (sobre todo en la zona oeste y sur), aunque por lo general no sobrepasan los 15-20 metros y forman extensas mesetas submarinas; la zona más complicada es la norte ya que es muy rocosa y accidentada, con peligrosos bajos y rompientes en la marea baja.

Otra actividad que se practica es la pesca, pero debido a la desaparición de varias especies está muy controlado, de manera que se están logrando recuperar algunas especies lentamente. En cuanto al tamaño de los barcos, hay que tener en cuenta la profundidad de la zona, ya que al ser muy pequeña hay embarcaciones de gran tamaño que no pueden pasar. [54]

Como ya se ha comentado anteriormente, esta isla fue parte en las guerras mundiales, por lo que tiene un interés cultural. En la parte superior hay un faro histórico de 35 metros de altura y se considera el único edificio de la isla que resistió los bombardeos de la Segunda Guerra Mundial. Aunque durante la guerra funcionó como puesto de control antiaéreo, hoy es la baliza más ligera de la bahía alemana, con un alcance de unos 52 km. La historia de la isla también se puede ver en los búnkeres subterráneos de un kilómetro de longitud, que se pueden visitar en una visita guiada a lo largo de 400 metros. [65]

Además, tiene una flora y una fauna extraordinaria, y casi todos estos tesoros naturales son fácilmente accesibles a través de senderos designados, por lo que la naturaleza se puede observar muy de cerca.

Cuando al final de las vacaciones, miles de turistas abandonan la playa de Ostende dejando tras de sí montones de residuos: bolsas de plástico, colillas, pañales y cientos de latas y botellas. Después, el servicio municipal de limpieza de Ostende recoge hasta diez toneladas de residuos, lo que es una catástrofe para la fauna y la flora del lugar. [59]

Otra actividad que se puede llevar a cabo es el surf y el windsurf, aunque no es muy habitual ya que las olas habitualmente son blandas y no son ni rápidas ni poderosas. Lo que sí que es una actividad más turística aparte del submarinismo son los paseos marítimos y los malecones.

#### 7.8.9.- Características culturales

Alemania tenía mucho interés en el control de estas islas debido a que residía en su posición estratégica, y permitiría a los ocupantes dominar y controlar los accesos a los principales puertos alemanes en el Mar del Norte. De hecho, la Armada alemana proporcionó inmediatamente una fuerte fortificación de estas islas, convirtiéndolas en un punto de defensa clave contra posibles ataques de la flota británica en caso de guerra. Esta posición estratégica fue confirmada en gran medida por el papel que estas islas desempeñaron más tarde para evitar que la flota británica se acercara a los puertos germánicos en el Mar del Norte sin ser molestada. Al final de la Primera Guerra Mundial, los británicos desmantelaron completamente el equipo

militar de las Islas y la Armada Británica eliminó varios miles de toneladas de dinamita, abandonada por el ejército alemán, con una explosión controlada, que se cree que es la mayor no nuclear de la historia. [68]

En 1952 el Reino Unido devolvió la isla a Alemania y permitió que los habitantes regresaran. Hoy 1.483 personas viven en Helgoland y cada año unos 360.000 turistas visitan la isla. [69]

El estilo de vida hoy en día de esta isla es muy tranquilo y saludable, ya que los vehículos no están permitidos y está rodeada de naturaleza con una flora y fauna especial y única.

Como ya se ha comentado en factores anteriores, la isla tiene importancia cultural debido a que existen proyectos de las guerras mundiales y se llevan a cabo actividades naturales que en otros lugares no se podrían disfrutar. Esta isla es muy buena opción para los amantes de las aves, ya que hay muchas que emigran y descansan en este hábitat. En cuanto a la geología se refiere, la roca sedimentaria roja es un fenómeno raro, ya que no se encuentra por esta zona exceptuando en esta isla.

Esta ubicación es ideal para proyectos eólicos offshore debido a su baja profundidad. Esto ayuda a contaminar menos, debido a que se usa menos material, y económicamente también sale más barato entre otras muchas ventajas. Además la velocidad del viento es muy buena durante todo el año, por lo que no sería habitual tener que parar el aerogenerador, y de esta manera se generaría una cantidad óptima de energía eólica. Por estas razones y por muchas otras más, esta ubicación es muy recurrida a la hora de plantear un proyecto como este.

#### 7.8.10.- Actividades y relaciones económicos

Hasta ahora Helgoland ha sobrevivido gracias al turismo, ya que es un paisaje especial y lleno de naturaleza. Lo que más destaca dentro de las actividades económicas dentro del turismo es montar en ferris, la belleza de la naturaleza, monumentos históricos y el buceo.

Pero debido a su localización y sus características de batimetría es una localización muy adecuada para construir parques eólicos y ahora la isla idílica está sufriendo una transformación, y está en camino de convertirse en la primera isla de servicio offshore del mundo, ya que se construirán tres parques eólicos a 23 km de la costa. [70]

Con este fin su alcalde, Jörg Singer, está realizando grandes inversiones, llegando incluso a endeudarse. Sólo la reforma del puerto supone un gasto de 8 millones de euros para las arcas municipales. Además, la opinión pública de los isleños es que sería mejor invertir en turismo, un sector que durante décadas ha sido la principal fuente de ingresos de la isla; por lo que se puede intuir que no están a favor de este cambio tan radical para esta isla tan idílica. [71]

#### 7.8.11.- Infraestructura no viaria

Hay que destacar que Helgoland es un archipiélago alemán situado en la parte sureste del Mar del Norte, por lo que para poder acceder a esta isla hay dos opciones, o mediante el aire o



mediante el agua. Dentro de la isla Dune existe un pequeño aeropuerto que es capaz de atender aeronaves de hasta 5.700 kg de peso máximo al despegue y helicópteros de hasta 10.000 kg. En cuanto al territorio marino el transporte que se usa es un barco y tiene un trayecto de 70 km hasta la desembocadura del río Elba, lo que conlleva estar 2h en el mar. [72]

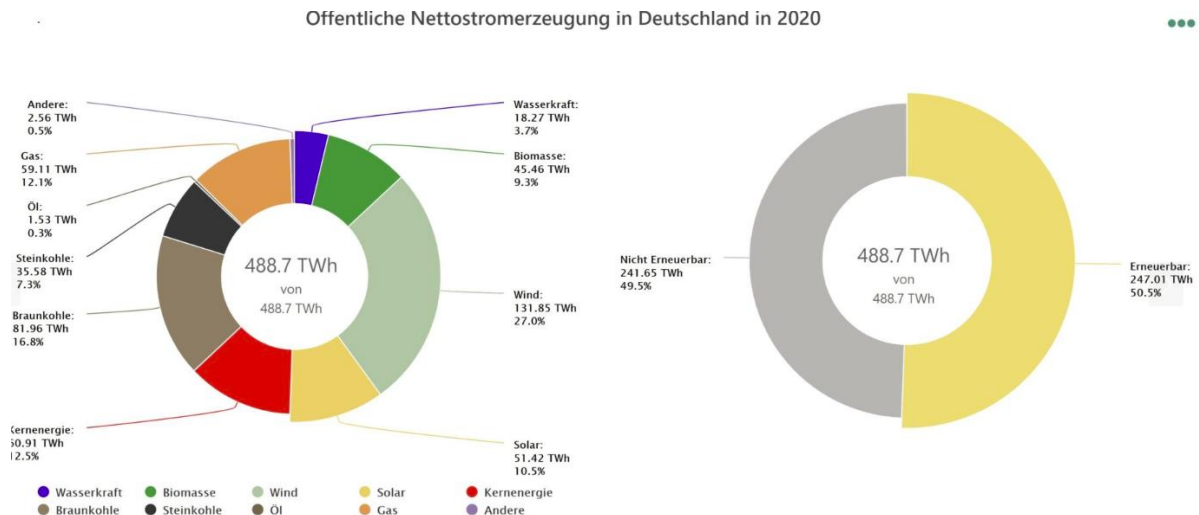
Como ya se ha explicado, esta zona es muy óptima para construir parques eólicos de gran expansión debido a las características del terreno como lo son el viento y la batimetría; debido a esto Helgoland tiene una localización que permite poner un centro de operaciones y mantenimiento del parque.

En cuanto a la energía se refiere, cada vez es más visible el problema que trae las energías convencionales, y esto genera desconfianza y evolución. Por ello se están buscando alternativas renovables, aunque aún queda mucho trabajo que hacer.

Alemania fomenta la energía renovable desde los años 1990, y la transición energética tiene como objetivo lograr mayormente la neutralidad climática hasta el 2045. Por transición energética se entiende la transformación de una economía energética basada en el petróleo, el carbón, el gas y la energía atómica en una basada en energías renovables. Se aspira a que ese año, por lo menos el 80 por ciento del abastecimiento de electricidad y el 60 por ciento de todo el abastecimiento energético en Alemania provengan de energías renovables.

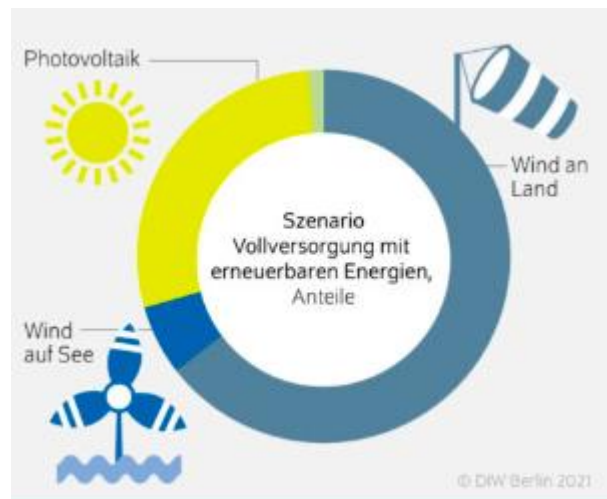
Además, la Ley de Protección del Clima prevé un precio fijo para las emisiones de dióxido de carbono del transporte y los edificios, aunque ello ya se aplicaba al sector energético y la industria de uso intensivo de energía. El precio es inicialmente de 25 euros por tonelada de CO<sub>2</sub> a partir de enero de 2021, pero para 2025 aumentará gradualmente a 55 euros. La meta del programa de protección del clima es alcanzar el Objetivo Climático 2030; es decir, un 65 por ciento menos de emisiones de gases de efecto invernadero en comparación con 1990. El Gobierno alemán es el primer Gobierno del mundo que, con la Ley de Protección del Clima, ha definido un objetivo nacional vinculante de protección del clima. [73]

La producción de energía renovable en Alemania aumentó en 2020 y superó por primera vez a la generación a partir de carbón, gas natural y petróleo, según muestran los datos del grupo de expertos Agora Energiewende. La recesión económica provocada por la pandemia de coronavirus redujo el consumo general de carbón, petróleo y gas, y fue el principal impulsor de una caída del 10% en las emisiones de gases de efecto invernadero el año 2020. [74]



**Figura 32.** Producción de energía en Alemania en el 2020. [74]

En cuanto a la energía eólica offshore aún está muy por debajo de la eólica onshore y de la solar, esto se puede ver en la Figura 33. Aun así, la offshore cada año está cogiendo más fama, sobre todo en la zona del mar del Norte. En la Figura 34 se puede ver los parques marinos que en 2020 ya estaban construidos, que estaban en construcción y los que estaban apalabrados.



**Figura 33.** Distribución de las energías renovables en Alemania. [75]



*Figura 34. Los parques marinos en el mar del Norte. [76]*

El canciller alemán (Olaf Scholz), el primer ministro belga (Alexander De Croo), el canciller alemán (Olaf Scholz), el primer ministro belga (Alexander De Croo), su homóloga danesa (Mette Frederiksen) y el primer ministro holandés (Mark Rutte) se reunieron, junto a la presidenta de la Comisión Europea (Ursula von der Leyen), en el Puerto de Esbjerg (Dinamarca) para firmar una Declaración Conjunta que recoge su visión común en materia de eólica marina e infraestructuras asociadas en el Mar del Norte. La Declaración de Esbjerg tiene un objetivo conjunto de nada más y nada menos que 150.000 megavatios de potencia eólica marina en el Mar del Norte en el año 2050. Mediante esa declaración, las cuatro naciones se comprometen a estrechar su colaboración en proyectos eólicos marinos conjuntos, islas energéticas y redes y demás infraestructuras marinas. [77]

Las plantas de energía eólica se encuentran entre 25 y 39 kilómetros de Helgoland son las siguientes:

1. Mar del Norte Este Operador: RWE Renewables – Capacidad: 295 megavatios Inicio de la construcción: junio de 2012 Puesta en servicio: mediados de 2014
2. Amrumbank Oeste Operador: RWE Renewables – Capacidad: aproximadamente 300 megavatios Inicio de la construcción: 2013 Puesta en servicio: 2015

3. Meerwind Operador: WindMW GmbH Capacidad: 288 megavatios Inicio de la construcción: septiembre de 2012 Puesta en marcha: principios de 2014

4. Kaskasi Operador: RWE Renewables – Capacidad: 342 megavatios Inicio previsto de la construcción: tercer trimestre de 2021 y puesta en marcha en el verano de 2022.

Al igual que las turbinas eólicas en tierra, las turbinas eólicas en el agua también necesitan un mantenimiento regular para que, cuando sople el viento, estén en pleno funcionamiento y puedan generar una cantidad óptima de electricidad. Sin embargo, las tensiones causadas por las olas y el agua salada en las turbinas en alta mar son significativamente mayores que en las turbinas eólicas en tierra; y por lo tanto el esfuerzo de mantenimiento es mayor. Como norma, un aerogenerador en el mar recibe mantenimiento uno o dos días al año, pero los fabricantes de sistemas calculan actualmente de seis a siete fallos de funcionamiento en un sistema cada año, que deberían corregirse en el plazo de un día. Esto significa que los barcos con personal de servicio parten hacia los parques eólicos en el mar cargando con herramientas y repuestos.

Con el establecimiento de la base de servicios para parques eólicos marinos, Helgoland se convertirá en la primera isla del Mar del Norte y el Mar Báltico de Alemania en beneficiarse de la expansión de la energía eólica marina en Alemania. Como la primera ubicación de servicio en una isla para parques eólicos marinos, Helgoland serviría como modelo para muchos otros parques eólicos que se están desarrollando actualmente en aguas alemanas. Con las inversiones públicas y privadas previstas en la expansión de la infraestructura portuaria, Helgoland está abriendo una nueva rama de la economía en el campo de las energías renovables, que es a largo plazo y sostenible. Además de la mejora de la imagen, la isla se beneficiaría específicamente del aumento de los ingresos por impuestos comerciales, la creación de nuevos puestos de trabajo y el aumento del poder adquisitivo. [78]

#### 7.9.- MATRIZ DE IDENTIFICACIÓN DE EFECTO

Para poder realizar una valoración tanto cualitativa como cuantitativa es necesario crear antes una matriz de identificación donde poder relacionar los factores ambientales con las acciones seleccionadas en cada fase.

En este apartado se va a relacionar las acciones nombradas en los diferentes efectos ambientales (Tabla 19, Tabla 20, Tabla 21).

### 7.9.1.- Construcción

**Tabla 19.** Relación de los efectos ambientales con las acciones de la construcción.

			Contratación de personal cualificado	Expropiación de los terrenos	Protección y señalización de las zonas de trabajo	Transporte de materiales	Transporte de equipos	Excavaciones para la cimentación de aerogeneradores	Preparación de plataformas para los trabajadores de construcción	Cimentaciones	Montaje de aerogeneradores	Montaje de línea eléctrica
1. Subsistema físico natural	Medio Inerte	Aire				X	X					
		Clima				X	X					
	Tierra/Suelo				X	X		X				
	Medio marino y costero				X	X	X			X	X	
2. Subsistema perceptual	Medio biótico	Vegetación o flora						X		X	X	
		Fauna						X		X	X	
3. Subsistema población	Medio perceptual	Intervisibilidad			X				X		X	
	Usos del suelo rústico	Uso recreativo al aire libre						X		X	X	
4. Subsistema socio económico	Características culturales y relaciones económicas	Características culturales		X				X		X		X
5. Subsistema núcleos e infraestructuras	Economía	Actividades y relaciones económicas	X	X		X	X		X	X	X	X
	Infraestructuras y servicios	Infraestructura no viaria				X	X					X

			Ocupación temporal del espacio	Presencia de equipos, embarcaciones y trabajadores	Parque de maquinaria	Creación de zonas de exclusión	Ruido de las actividades	Vibraciones	Vertidos accidentales	Apertura de zanjas	Dragados
1. Subsistema físico natural	Medio Inerte	Aire									
		Clima									
	Tierra/Suelo			X	X						
	Medio marino y costero								X	X	X
2. Subsistema perceptual	Medio biótico	Vegetación o flora	X						X	X	X
		Fauna	X				X	X	X	X	X
3. Subsistema población	Medio perceptual	Intervisibilidad	X	X	X	X					X
	Usos del suelo rústico	Uso recreativo al aire libre					X	X			
4. Subsistema socio económico	Características culturales y relaciones económicas	Características culturales	X	X		X	X	X			
5. Subsistema núcleos e infraestructuras	Economía	Actividades y relaciones económicas				X			X	X	X
	Infraestructuras y servicios	Infraestructura no viaria									

### 7.9.2.- Vida útil

**Tabla 20.** Relación de los efectos ambientales con las acciones de la vida útil.

			Contratación de personal cualificado	Retirada de los aerogeneradores, cimentación, cables...	Transporte a vertedero	Reutilización de materiales	Presencia de equipos	Parque de maquinaria	Abandono del emplazamiento	Creación de zonas de exclusión	Desempleo	
1. Subsistema físico natural	Medio Inerte	Aire			X	X						
		Clima										
		Tierra/Suelo			X				X		X	
		Medio marino y costero			X					X		
2. Subsistema perceptual	Medio biótico	Vegetación o flora							X			
		Fauna							X			
3. Subsistema población	Medio perceptual	Intervisibilidad		X			X	X	X	X		
4. Subsistema socio económico	Usos del suelo rústico	Uso recreativo al aire libre							X			
5. Subsistema núcleos e infraestructuras	Características culturales y relaciones económicas	Características culturales										
	Economía	Actividades y relaciones económicas	X	X	X	X		X		X	X	
	Infraestructuras y servicios	Infraestructura no viaria										

### 7.9.3.- Desmantelamiento y abandono

**Tabla 21.** Relación de los efectos ambientales con las acciones del desmantelamiento y el abandono.

			Presencia del parque eólico	Contratación de personal cualificado	Rotación de las palas	Creación de zona de exclusión	Generación, transformación y transporte de energía	Visitas y mantenimiento	Saneamiento ambiental	Ruidos y vibraciones	Empleo local	Cableado	Presencia de alumbrado para navegación
1. Subsistema físico natural	Medio Inerte							X	X				
					X			X	X				
		X						X			X		
2. Subsistema perceptual	Medio biótico	X										X	
		X		X						X			X
3. Subsistema población	Medio perceptual	Usos del suelo rústico	X			X			X				X
4. Subsistema socio económico	Características culturales y relaciones económicas	Características culturales y relaciones económicas	X			X			X	X			
5. Subsistema núcleos e infraestructuras	Economía	Economía	X	X		X		X	X		X	X	
	Infraestructuras y servicios	Infraestructura no viaria			X		X	X					

## 8.- VALORACIÓN DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES

En este apartado se realizará una valoración cualitativa y cuantitativa de los impactos ambientales, donde se valora el grado de importancia y de magnitud en función de diferentes atributos. Los atributos a tener en cuenta son los siguientes:

- **La intensidad (IN):** Cantidad de calidad ambiental que se pierde.
- **La extensión (EX):** Porcentaje del entorno en que se manifiesta el efecto.
- **El momento (MO):** Tiempo desde que se comienza la acción hasta que aparece el efecto.
- **Persistencia (PE):** Tiempo desde la aparición del efecto hasta el retorno a las condiciones previas a la acción.
- **Capacidad de recuperación (CR):** La recuperación puede ser reversible o irreversible.
- **Efecto (EF):** Manifestación del efecto sobre un factor.
- **Interrelación de impactos (II):** Adición de impactos procedentes de distintas acciones.
- **La periodicidad (PR):** Regularidad de manifestación del efecto.

Para poder ejecutar la valoración cualitativa y cuantitativa, primero de todo es necesario tener repartidos los 1000 UIP entre todos los factores. Una vez que cada factor tiene su peso de importancia, hay que detectar si la acción tiene un impacto positivo o negativo en el factor.

Después de que el peso del factor y el signo sean conocidos, se comienza a dar valores de importancia a cada atributo en cada acción. Los grados de importancia tienen su significado, y se indican en la Tabla 22.

*Tabla 22. Los valores de los indicadores.*

<b>EXTENSIÓN (EX)</b>	Puntual	1
	Parcial	2
	Extenso	4
	Total	8
	Crítico	12
<b>INTENSIDAD (IN)</b>	Mínimo	1
	Medio	2
	Alto	4
	Muy alto	8
	Total	12
<b>MOMENTO (MO)</b>	Largo plazo	1

	Medio plazo	2
	Inmediato	4
	Crítico	8
<b>CAPACIDAD DE RECUPERACIÓN (CR)</b>	Reversible	2
	Recuperable	4
	Mitigable	8
	Irrecuperable	12
<b>PERSISTENCIA (PE)</b>	Fugaz	1
	Temporal	2
	Permanente	4
<b>INTERRELACIÓN DE ACCIONES Y/O EFECTOS (II)</b>	Simple	2
	Acumulativo	4
	Sinérgico	8
<b>PERIODICIDAD (PR)</b>	Irregular	1
	Periódico	2
	Continua	4
<b>RELACIÓN CAUSA-EFECTO (EF)</b>	Directo	1
	Indirecto	4

### 8.1.- VALORACIÓN CUALITATIVA DE LOS IMPACTOS

El objetivo de la valoración cualitativa es averiguar el impacto ambiental que causan las acciones que se llevan a cabo en los diferentes factores, y lograr el grado de importancia de cada acción. Los impactos pueden ser Reducidos, Compatibles, Moderados, Severos o Críticos.

Aquí se señala la intensidad del impacto y se distribuyen de la siguiente manera:

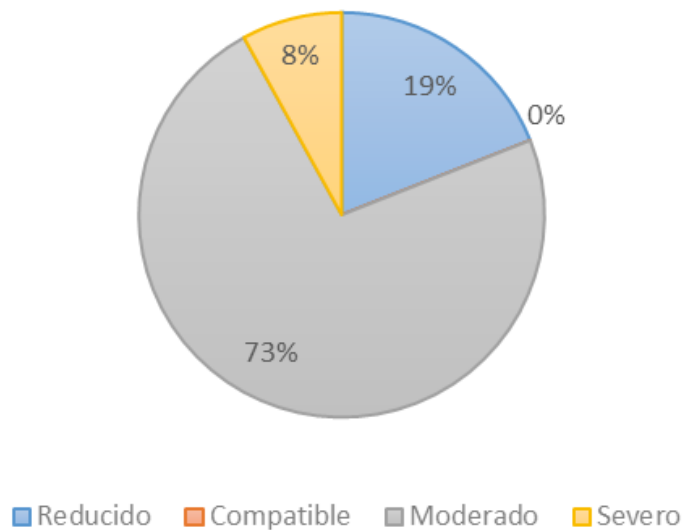
- **Impacto ambiental Reducido:** se le atribuye a un impacto positivo. No hace falta aplicar medidas correctoras.
- **Impacto ambiental Compatible:** se le atribuye a un impacto que tiene una importancia pequeña, por debajo de 25. No hace falta aplicar medidas correctoras.
- **Impacto ambiental Moderada:** se le atribuye a un impacto que tiene una importancia moderada, oscila entre los valores 25 y 50. No hace falta aplicar medidas correctoras.
- **Impacto ambiental Severo:** se le atribuye un impacto alto, en estos casos el impacto es notable y es importante reducirlo; oscila entre los valores 50 y 75. En este caso se le aplican medidas correctoras para poder bajar el impacto.



- **Impacto ambiental Crítico:** se le atribuye a un impacto muy alto, en estos casos el impacto es perjudicial y es de gran importancia reducirlo. Sus valores oscilan entre 75 y 100. Para reducir el impacto es necesario aplicar medidas correctoras.

Para poder realizar la valoración cualitativa y examinar el grado de importancia, hay que realizar una serie de cálculos que se determinan en el apartado “9.3. Descripción de los cálculos” y se muestran en el Anexo 3.

En la Figura 35 se muestra el porcentaje global de la evaluación cualitativa, de esta manera se puede comparar la importancia de los impactos. Se puede apreciar que esta fuente de energía es limpia, ya que no hay apenas impactos severos ni críticos, pero hay impactos moderados los cuales hay que mejorar para obtener un resultado que conlleve un impacto menor. Por lo general, los mayores daños se dan en el medio marino.



**Figura 35.** Porcentaje global de los impactos del proyecto sin medidas en la valoración cualitativa.

## 8.2.- VALORACIÓN CUANTITATIVA DE LOS IMPACTOS

Así como los factores cualitativos son más subjetivos, los factores cuantitativos son cuantificables. En la valoración cuantitativa se busca definir el grado de magnitud. Para ello, se tienen en cuenta los mismos atributos que en la valoración cualitativa exceptuando la extensión y la intensidad.

Al igual que en la cualitativa, a cada acción se le da un valor de importancia en cada atributo; y en este caso se han escogido los mismos valores que en el apartado anterior. A continuación, hay que escoger un indicador ambiental a cada factor, y se le ha dado un valor para la situación sin proyecto y con proyecto para valorar la calidad ambiental en las dos alternativas, analizando así el impacto que causa construir un parque eólico en los diferentes factores. En general, al construir un parque eólico la calidad ambiental empeora.

En el caso del aire, el indicador ambiental escogido ha sido el promedio diario de la concentración de NO<sub>2</sub>. Se ha escogido este indicador debido a que el barco es el transporte que

más se va a utilizar y que por lo tanto más va a contaminar. Y dentro de los contaminantes del barco se encuentran los NO<sub>x</sub>, por lo que se va a poder apreciar cierta variedad al comparar la situación sin proyecto y con proyecto. Por otro lado, para el clima se ha escogido el indicador de la temperatura media en el ámbito de referencia.

Para el suelo, el indicador escogido es el porcentaje de superficie alterada, donde hay que tener en cuenta que las carreteras sufren mucho daño al trasladar los aerogeneradores con los camiones. Este equipaje pesa tanto que las carreteras sufren alteraciones. En cuanto al medio marino es el ámbito que más impacto conlleva, esto es debido a los barcos que tienen que zarpar para mantener el parque en correctas condiciones. Además, los aerogeneradores en caso de tener fugas pueden desprender hasta caer al agua contaminándola. Por ello, el indicador escogido ha sido el indicador cualitativo de la calidad perceptible del agua.

La flora y la fauna están muy relacionadas, y son un factor que sufre mucho debido a la construcción de un parque eólico offshore. Debido a este tipo de proyectos hay flora y fauna que puede llegar a extinguirse, por eso el indicador que se ha tenido en cuenta ha sido tanto el valor relativo de conservación de las diferentes unidades de vegetación, como el valor relativo de conservación ponderado según la superficie de los diferentes hábitats.

A lo que la intervisibilidad se refiere, se ha elegido el indicador de la calidad paisajística media. En sí este proyecto al ser en el mar no tiene tanto efecto visual como podría tener un parque onshore.

El siguiente factor a analizar es el uso recreativo al aire libre, y como es una zona donde se practica mucho el buceo y otro poco la pesca, se ha escogido el indicador del porcentaje de variación de la superficie equivalente destinada a espacios de ocio. Otro factor importante son las características culturales, donde lo fundamental es la aceptación del público, y por ello el indicador escogido ha sido el porcentaje de población en contra del proyecto.

Terminando se encuentran las actividades y relaciones económicas, donde debido a un proyecto de tal calibre supondría muchas variaciones económicas. Por eso el indicador escogido ha sido la variación de la distribución de la renta.

Por último está la infraestructura no viaria, donde la infraestructura energética es lo principal, y por eso el indicador a analizar es el grado de adecuación de las estructuras energéticas.

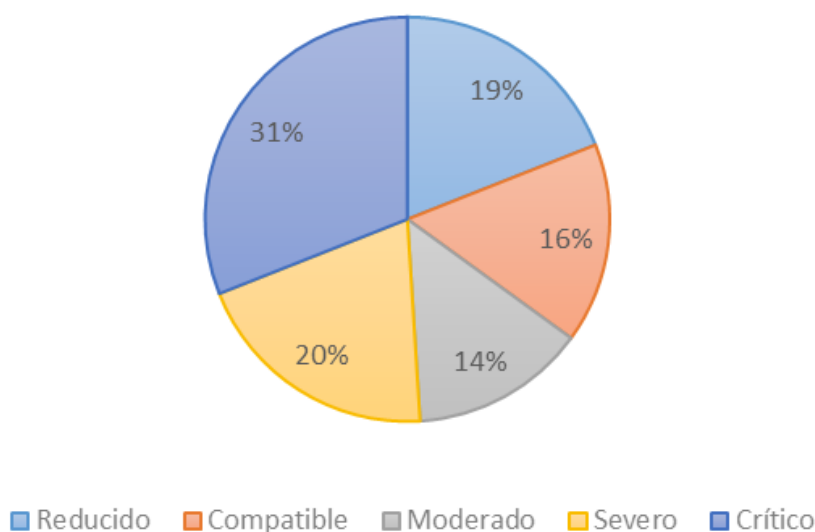
De la misma manera que a la valoración cualitativa se le atribuye la intensidad del impacto en 5 grupos, a la valoración cuantitativa también; pero en esta ocasión los límites no están estipulados y se escogen dependiendo del valor de la magnitud de todos los impactos del factor (Vp) logrados. En este caso se distribuye de la siguiente manera:

- **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 magnitud pequeña, por encima de -1,7. No hace falta aplicar medidas correctoras.

- **Impacto ambiental Moderada:** se le atribuye a un impacto que tiene una magnitud moderada, oscila entre los valores -5,5 y -1,75. No hace falta aplicar medidas correctoras.
- **Impacto ambiental Severo:** se le atribuye un impacto alto, en estos casos el impacto es notable y es importante reducirlo; oscila entre los valores -9,25 y -5,5. En este caso se le aplican medidas correctoras para poder bajar el impacto.
- **Impacto ambiental Crítico:** se le atribuye a un impacto muy alto, en estos casos el impacto es perjudicial y es de gran importancia reducirlo. Sus valores oscilan entre -13 y -9,25. Para reducir el impacto es necesario aplicar medidas correctoras.

Para poder realizar la valoración cuantitativa y examinar el grado de magnitud, hay que realizar una serie de cálculos que se determinan en el apartado “9.3. Descripción de los cálculos” y se muestran en el Anexo 4.

En la Figura 36 se muestra el porcentaje global de la evaluación cuantitativa, de esta manera se puede comparar la magnitud de los impactos. Al contrario que en la cualitativa, hay impactos críticos y severos, y esto es debido a que los límites han sido establecidos dependiendo de los valores logrados en Vp.



**Figura 36.** Porcentaje global de los impactos del proyecto sin medidas en la valoración cuantitativa.

### 8.3.- MEDIDAS CORRECTORAS

Las medidas correctoras son acciones para evitar el deterioro del medio y corregir los impactos. Por ello, en este proyecto se proponen 10 diferentes medidas, para prevenir, reducir, eliminar o compensar los efectos ambientales negativos. Cabe destacar que una medida correctora no tiene por qué afectar a un solo factor, sino que dicha medida puede mejorar el impacto ambiental de varios factores.

### 8.3.1.- Cimentación Suction Bucket

Este diseño de cimentación es relativamente nuevo y se está aplicando a parques eólicos cuyas profundidades varían entre los 25 y 45 metros. Al ser la instalación offshore a poca profundidad (alrededor de 25 metros), es posible anclar los aerogeneradores con el tipo de cimentación Suction Bucket (Figura 37). Es un sistema de succión a presión que consiste en tres patas soldadas a una estructura tipo Jacket, que se colocan en la parte superior de tres cubos de succión de gran tamaño que permanecen anclados al fondo marino. Los anclajes de succión constan de un recipiente de acero con fondo abierto y tapa cerrada. Hay que comentar que este sistema es conocido en la industria del petróleo y el gas, pero no está adentrado en el uso en los parques eólicos aún. [79]

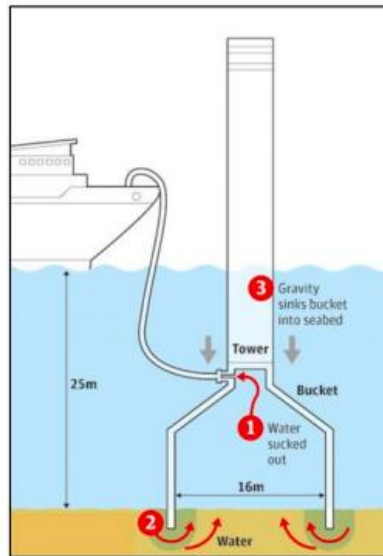


**Figura 37.** Estructura “Suction Bucket” para aerogeneradores. [79]

En este tipo de cimentación, en lugar de introducir tubos bajo el fondo marino, se emplean cilindros de diámetros mucho más grandes, que no se introducen de manera tan profunda en el fondo, pero que resisten las cargas debido a su mayor diámetro. Dependiendo de las condiciones del fondo en el emplazamiento seleccionado, las cimentaciones por succión pueden ser preferibles frente a los pilotes convencionales por razones económicas (son más baratas de instalar ya que no requieren trabajos submarinos), facilidad de instalación y por qué son fáciles de dismantelar (un anclaje de succión puede ser retirado completamente del fondo marino quedando prácticamente inalterado). Se requiere suficiente presión hidrostática para hacer este sistema efectivo, por lo que no funciona de forma adecuada en aguas muy poco profundas.

Para lograr que haya una succión, se realiza una instalación de bombeo. El bombeo del agua crea una diferencia de presión a través de la parte superior sellada, dando como resultado una fuerza hidrostática hacia abajo sobre la parte superior de la pila. La presión hidrostática así desarrollada empuja el ancla a la profundidad de diseño. Una vez que se alcanza la profundidad de diseño, las bombas se desconectan y se recuperan (Figura 38). Además, tiene varios beneficios como la menor generación de ruidos, el aumento de la velocidad de la instalación y poca preparación del lecho marino.

Pero por desgracia, su aplicabilidad es limitada en suelos arenosos o arcillosos de gran homogeneidad, y la instalación es lenta; durante la construcción del parque eólico Hornes Rev II (Dinamarca), se necesitaron aproximadamente 32 horas para completar la instalación de un solo pilote de succión. [46][80][81]



*Figura 38. La instalación del vaso de succión. [81]*

### 8.3.2.- Pintura no tóxica

Los barcos no solo contaminan debido a sus emisiones de GEI, si no que las pinturas que se usan para pintar el casco son tóxicas para el medio marino. Esta parte está continuamente en contacto con el agua marina y, según van navegando, van desprendiendo partículas tóxicas como cobre, zinc o níquel.

El cobre, se usa como biocida en pinturas para evitar que los organismos crezcan en los cascos. Estas pinturas anti-incrustantes se repintan con regularidad para garantizar que el casco se mantenga limpio de percebes incrustantes y otros organismos marinos que ralentizan el avance de los barcos. El zinc se usa para que sea la primera partícula en deshacerse para así proteger el casco de la corrosión.

Anteriormente se utilizaba el TBT en pinturas anti-incrustantes por su fuerte poder biocida que previene el crecimiento de algas, moluscos y otros organismos marinos en el casco del barco; pero debido a su toxicidad se volvió un producto ilegal, aunque hoy en día sigue fabricándose. [82]

Por lo tanto una solución a esto es buscar pintura para el casco que no sea tóxica para el medio marino. En 2002-2003, el Programa de Extensión de Sea Grant de la Universidad de California hizo una demostración de pinturas no tóxicas aplicadas a los cascos de seis barcos. Se aplicaron tres tipos de pinturas no tóxicas (epoxídica de dos partes, epoxídica -cerámica y goma-silicona) a un barco. El dueño quedó satisfecho con la pintura y al cabo de ocho años, el recubrimiento todavía estaba en buenas condiciones. [83]

### 8.3.3.- Alternativas para los residuos generados

Hoy en día almacenar las palas de los aerogeneradores es un gran problema. En sí, el 85% de los componentes de una turbina eólica son reciclables o pueden reutilizarse, en particular los cables de acero y cobre, la electrónica y los engranajes; sin embargo, no ocurre así con las cuchillas de fibra de vidrio y la imposibilidad de hacer algo útil con ellas.

En estos momentos, los científicos están tratando de encontrar mejores formas de separar las resinas de las fibras o de darles nueva vida a los pedazos pequeños, convirtiéndolos en gránulos o en listones para poder reutilizarlo en la fabricación de pisos y de paredes. [84]

A falta de más inversión e investigación en el reciclaje de las palas de los aerogeneradores, los promotores de molinos de viento están optando por extender la vida útil de los parques eólicos otros cinco o diez años más en caso de tener un buen mantenimiento. [85]

### 8.3.4.- Aplicar sensores

Es muy importante saber en todo momento la situación de cada aerogenerador, para así poder corregir cualquier imprevisto que pueda ocurrir. Los sensores tienen como finalidad detectar, monitorear y comunicar información sobre medidas como los cambios en la distancia entre dos componentes, la medición del desplazamiento del disco de embrague, del espacio de lubricación del eje y su apoyo, y de la separación del rotor, control de los niveles de vibración, de los cambios en la temperatura en la caja de cambios, la presión y las tensiones mecánicas.

Uno de los tipos de sensores para monitorizar aerogeneradores más comunes son los sensores de corrientes de Foucault o sensores de corriente Eddy. Este tipo de sensores miden el espacio de lubricación del eje para garantizar que siempre esté cubierto por una película delgada de aceite que generalmente se aplica bajo presión. Estos sensores pueden monitorear de manera confiable la brecha de aceite en condiciones hostiles, esto es porque pueden resistir el aceite y la presión, así como la temperatura. Si la brecha llega a ser demasiado grande excediendo sus especificaciones, una alerta avisa para la planificación y ejecución de acciones de mantenimiento preventivo antes de que el eje roce en exceso y ocurra una parada.

Estos sensores también miden cómo gira el eje de la turbina, tanto axial como radialmente; y tienen la capacidad de controlar el agotamiento a lo largo del tiempo permitiendo que este mantenimiento se realice antes de que ocurra un daño extremo o incluso un fallo. [86]

### 8.3.5.- Focos regulables

El impacto visual en la vida marina es un problema, es decir, la iluminación artificial puede alterar los ciclos de vida diurnos y nocturnos de la fauna marina debida a esta luminosidad. Y esta iluminación es necesaria para los trabajos nocturnos de mantenimiento. Por ello, una medida correctora sería tener focos regulables en el barco, para que durante la franja horaria de menos luz se utilice una iluminación lo más tenue posible. [87]

Los aerogeneradores también tienen cierta iluminación generada por las balizas luminosas, las cuales se colocan en la parte superior, para evitar las colisiones de embarcaciones y aviones. Por lo que cuanto más tenue sea esta iluminación, más favorable será para la fauna marina.

#### 8.3.6.- Alterar el terreno indispensable

Una de las acciones que más impacto ambiental tienen son la construcción de zanjas para poder introducir los cables submarinos; esta acción tiene un gran impacto en el medio marino, sobre todo en la vegetación y en la fauna. Por ello la excavación realizada en el lecho marino para enterrar las líneas de evacuación debería de ser lo indispensable, y se debería utilizar maquinaria que evite mucho levantamiento de sedimentos.

Por ello es totalmente indispensable hacer una buena examinación del terreno y de las condiciones; también hay que tener en cuenta cualquier zona que se encuentre dentro de zona protegida.

#### 8.3.7.- Emplear un correcto mantenimiento

Gracias a un correcto mantenimiento se pueden prevenir muchos fallos y daños, de esta manera la vida útil de los aerogeneradores podría alargarse y la potencia recogida sería la máxima posible. Otro factor a tener en cuenta debido al impacto que pueda causar en el fondo marino son las fugas y residuos accidentales; por ello es tan importante, para que estos hechos sean lo mínimo posible.

Además, el mantenimiento de los parques offshore son más complicados debido a que los materiales tienden a corroerse debido a la humedad que genera estar en el mar, por otra parte el oleaje tampoco ayuda a que los aerogeneradores se puedan mantener en las mejores condiciones.

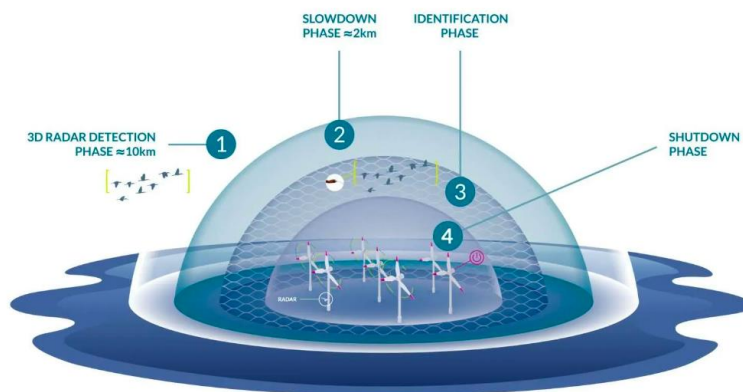
#### 8.3.8.- Sistema de reducción catalítico

Además de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), los barcos emiten varios contaminantes que propician el calentamiento global, como partículas en suspensión, óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) y óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ). Todos estos contaminantes contribuyen al cambio climático tanto directamente, actuando como agentes que retienen el calor en la atmósfera, como indirectamente, al fomentar la creación de más gases de efecto invernadero. Además las emisiones de  $\text{NO}_x$  pueden llegar a provocar lluvia ácida.

Para poder regular las emisiones de  $\text{NO}_x$  existe el sistema de reducción catalítica, el cual es el más eficaz actualmente en cuanto a reducir los  $\text{NO}_x$  se garantiza una reducción del 95%. El sistema SCR está diseñado para cumplir con las regulaciones IMO Tier III referente a  $\text{NO}_x$ , regulación que se puede encontrar en el Anexo VI revisado de MARPOL y en el Código Técnico de 2008 sobre los  $\text{NO}_x$ . [88]

### 8.3.9.- Sensores para aves

Debido a la velocidad de las palas y su gran diámetro, hay muchas situaciones desfavorables con las aves que migran por esas zonas. Esto causa un gran dilema, por lo que es un problema que se está investigando para poder detenerlo. Una solución a la que han llegado es colocar un sensor en la torre del aerogenerador, el cual tiene una tecnología basado en un algoritmo que permite que el sistema detecte y reconozca con una precisión sin precedentes las aves que vuelan peligrosamente cerca de los aerogeneradores, analiza su trayectoria de vuelo, activa OPC y emite sonido ASR en caso de que no se vayan; en caso de que estas medidas fallen y las aves vayan directas a las palas, detiene el aerogenerador hasta que las aves estén a salvo (Figura 39). [89]



**Figura 39.** Sensores para proteger a las aves. [89]

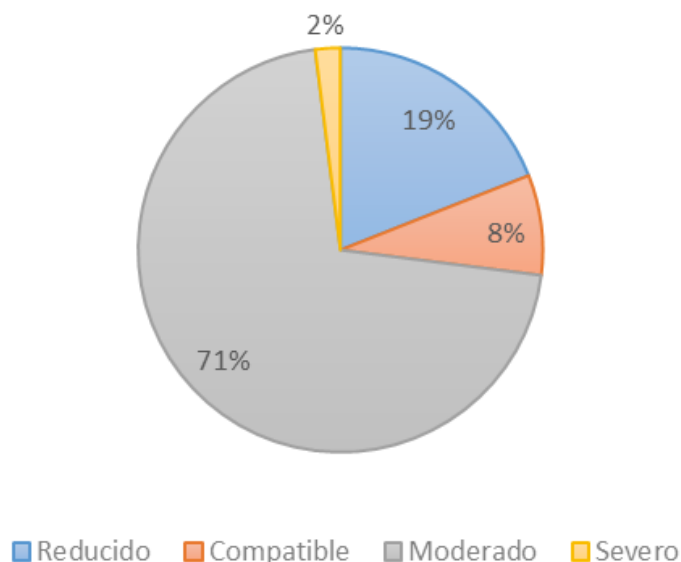
### 8.3.10.- Aisladores en los engranajes

Los aerogeneradores cuando están en su fase de funcionamiento generan ruido y vibraciones, esto es debido a la caja de cambios y el generador. Como las torres tienen una gran superficie de contacto con el agua, transmiten el sonido y las vibraciones al fondo del mar. Una opción para disminuir las vibraciones de la torre, y así también disminuir el ruido, es utilizar unos aisladores rígidos en los engranajes de la caja de cambios. [90]

## 8.4.- VALORACIÓN CUALITATIVA CON MEDIDAS CORRECTORAS

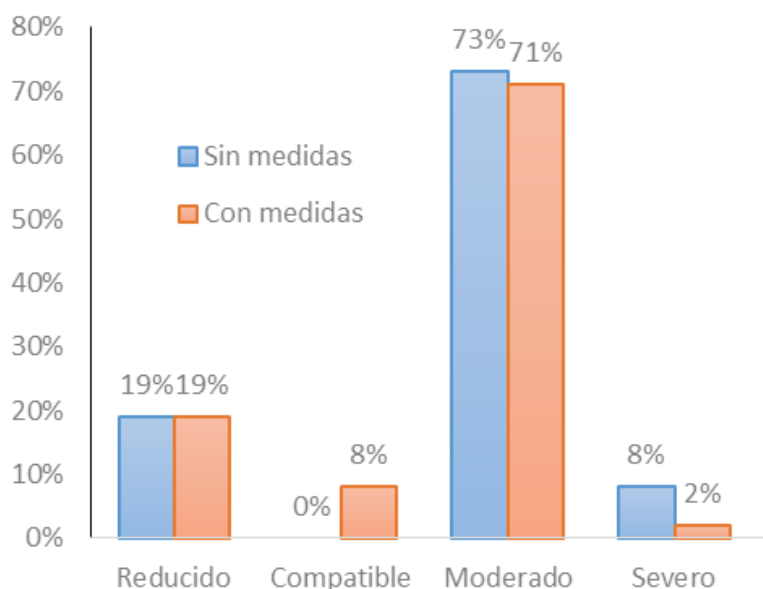
Después de escoger las medidas correctoras para minimizar el impacto, se va a realizar el mismo proceso pero teniéndolas en cuenta. Como ya se ha comentado anteriormente, estas pueden influir en la mejora de varias acciones, por lo que varios grados de importancia cambiarán bajando de posición en cuanto al impacto que causan (Figura 40).





**Figura 40.** Porcentaje global de los impactos del proyecto con medidas en la valoración cualitativa.

Comparando la Figura 35 con la Figura 40 se puede apreciar una leve diferencia de mejoría gracias a las medidas correctoras propuestas. Esto se unifica en la Figura 41 para analizar mejor los resultados obtenidos.



**Figura 41.** Comparación global de los porcentajes de los impactos del proyecto en la valoración cualitativa.

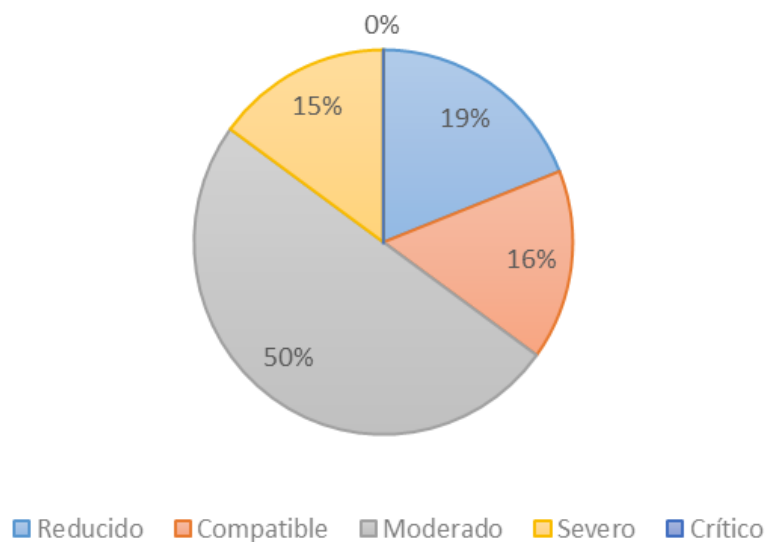
Como se puede analizar, al aplicar las medidas correctoras se consigue reducir los impactos moderados al transformarlos en compatibles; y algunos severos en moderados.

Pero en este caso, al graficar, la mejora no es muy notable ya que muchos de los impactos siguen siendo moderados. En cambio, en el Anexo 3 se aprecia que los valores han disminuido en algunos casos hasta un 42%, siendo la media de mejora alrededor del 30%. Por lo que se podría decir que las medidas escogidas tendrán un buen impacto ambiental.

### 8.5.- VALORACIÓN CUANTITATIVA CON MEDIDAS CORRECTORAS

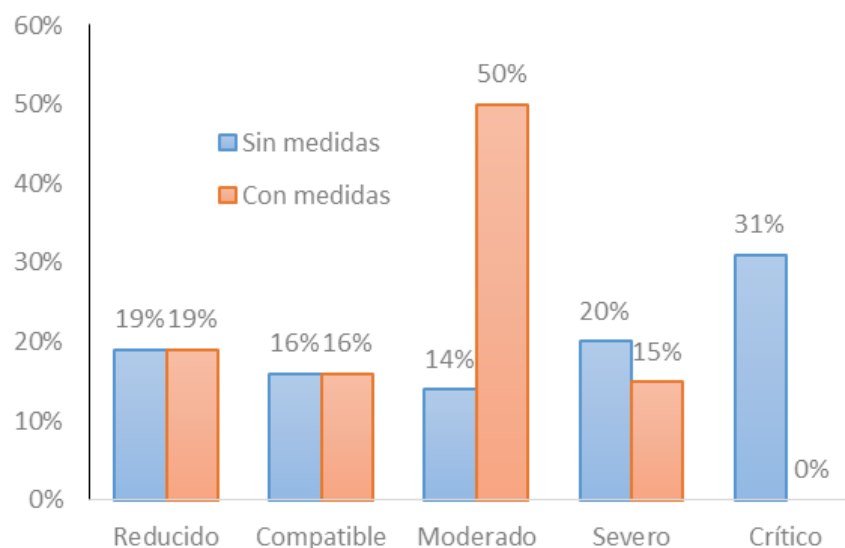
Para realizar la valoración cuantitativa con medidas correctoras, hay que ver las medidas escogidas a que acciones afectan y darles nuevos valores de importancia a cada atributo. Estos valores serán los mismos que se han dado en la valoración cualitativa con medidas, exceptuando la extensión y la intensidad.

Luego hay que tener en cuenta el indicador escogido anteriormente, y esta vez hay que darle unos nuevos valores a la calidad ambiental teniendo en cuenta las medidas correctoras. En la Figura 42 se ve la magnitud de los impactos después de aplicar las medidas correctoras.



**Figura 42.** Porcentaje global de los impactos del proyecto con medidas en la valoración cuantitativa.

Comparando la Figura 36 con la Figura 42 se puede apreciar una leve diferencia de mejoría gracias a las medidas correctoras propuestas. Esto se unifica en la Figura 43 para analizar mejor los resultados obtenidos.



**Figura 43.** Comparación global de los porcentajes de los impactos del proyecto en la valoración cuantitativa.

Como se puede analizar, al aplicar las medidas correctoras se consigue reducir los impactos críticos y la mayoría se transforman en moderados. Esto se puede ver más detallado en el Anexo 4.

#### 8.6.- INFORME FINAL

En este apartado se han generado la Tabla 23 y la Tabla 24, donde se van a resumir los datos acumulados una vez analizado las mejoras correctoras, tanto en la valoración cualitativa como en la cuantitativa.

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

**Tabla 23.** Resumen de la valoración cualitativa.

<b>INFORME FINAL</b>					
<b>FACTOR AMBIENTAL</b>	<b>Nº de impactos</b>	<b>IN</b>	<b>Nº de medidas correctoras</b>	<b>ICC</b>	<b>INCC</b>
<b>Aire</b>	6	-2,54	4	8,69	6,15
<b>Clima y condiciones climatológicas</b>	4	-10,48	3	7,84	-2,64
<b>Suelo</b>	6	-30,61	0	0	-30,61
<b>Medio marino</b>	14	-36,92	10	1,43	-35,49
<b>Vegetación o flora</b>	9	-32,86	5	0	-32,86
<b>Fauna</b>	13	-36,77	7	0,83	-35,94
<b>Intervisibilidad</b>	16	-11,65	1	0	-11,65
<b>Uso recreativo al aire libre</b>	7	-30,36	2	0	-30,36
<b>Características culturales</b>	12	-19,25	4	0	-19,25
<b>Actividades y relaciones económicas</b>	24	-47,24	4	0	-47,24
<b>Infraestructura no viaria</b>	6	146,73	0	0	146,73
<b>TOTAL ENTORNO</b>	117	-111,95	40	18,79	-93,16
<b>JUICIO</b>					
<b>Tipo de impacto global</b>	<b>Reducido</b>	<b>Compatible</b>	<b>Moderado</b>	<b>Severo</b>	<b>Crítico</b>

<b>Número (sin medidas)</b>	22	0	86	9	0
<b>Porcentaje</b>	19%	0%	73%	8%	20%
<b>Número (con medidas)</b>	22	9	84	2	0
<b>Porcentaje</b>	19%	8%	71%	2%	0%

Como se puede ver todos los valores de importancia obtienen un valor negativo exceptuando la infraestructura no viaria, esto significa que por lo general tiene un impacto ambiental negativo; pero al ponerles medidas correctoras estos valores negativos disminuyen considerablemente. Por lo que se puede deducir que las medidas aplicadas tendrían un impacto positivo, cumpliendo el objetivo deseado.

En cuanto a el informe final de la valoración cuantitativa, se analiza el número de impactos detectados en cada uno de los factores seleccionados, el valor de la magnitud de los impactos del factor correspondiente (Vp), el número de medidas correctoras que se aplican, el valor de magnitud calculada con las medidas correctoras propuestas y la diferencia que se genera en el valor de la magnitud entre teniendo en cuenta y no teniendo en cuenta las medidas correctoras. Es decir, en vez de calcular el valor de importancia se analiza el valor de magnitud. Esto se ve reflejado en la Tabla 24.

*Tabla 24. Resumen de la valoración cuantitativa.*

<b>INFORME FINAL</b>					
<b>FACTOR AMBIENTAL</b>	<b>Nº de impactos</b>	<b>IN</b>	<b>Nº de medidas correctoras</b>	<b>ICC</b>	<b>INCC</b>
<b>Aire</b>	6	-11	4	7,75	-3,24
<b>Clima y condiciones climatológicas</b>	4	-5,14	3	3,18	-1,96
<b>Suelo</b>	6	-8,49	0	0	-8,49
<b>Medio marino</b>	14	-11,51	10	7,12	-4,38
<b>Vegetación o flora</b>	9	-10,69	5	5,43	-5,25
<b>Fauna</b>	13	-6,60	7	-1,10	-5,50
<b>Intervisibilidad</b>	16	-4,25	1	2,43	-1,82
<b>Uso recreativo al aire libre</b>	7	-7,03	2	3,51	-3,51
<b>Características culturales</b>	12	-13,36	4	6,31	-7,05
<b>Actividades y relaciones económicas</b>	24	2,29	4	5,90	8,25

<b>Infraestructura no viaria</b>	6	15,1	0	0	15,1
<b>TOTAL ENTORNO</b>	112	-49,68	36	32,78	-14,61
<b>JUICIO</b>					
<b>Tipo de impacto global</b>	<b>Reducido</b>	<b>Compatible</b>	<b>Moderado</b>	<b>Severo</b>	<b>Crítico</b>
<b>Número (sin medidas)</b>	22	19	16	24	36
<b>Porcentaje</b>	% 19	% 16	% 14	% 20	% 31
<b>Número (con medidas)</b>	22	19	59	17	0
<b>Porcentaje</b>	% 19	% 16	% 50	% 15	0%

Al igual que en la anterior tabla, los valores de magnitud obtienen un valor negativo, esto significa que por lo general se pierde calidad ambiental; pero al ponerles medidas correctoras estos valores negativos disminuyen considerablemente cumpliendo su objetivo.

Como se puede apreciar en los informes finales, el hecho de poner medidas correctoras genera grandes beneficios al impacto ambiental; tanto en la importancia como en la magnitud. En el caso de la importancia, los límites están estipulados y no hay impactos críticos; esto tiene sentido ya que la fuente de energía expuesta es considerada limpia. En cambio, en la magnitud aparecen impactos críticos debido a que los límites no están concretados y los valores han sido distribuidos teniendo en cuenta los valores Vp logrados. Gracias a ello se puede comparar qué factores ambientales tienen mayor impacto según la magnitud; y en este caso destacan las características culturales y el medio marino.

## **9.- METODOLOGÍA SEGUIDA EN EL DESARROLLO**

### **9.1.- DESCRIPCIÓN DE TAREAS, FASES, EQUIPOS O PROCEDIMIENTOS**

Para este proyecto no ha sido necesario el empleo de un laboratorio, la localización usada para buscar la información ha sido el propio apartamento. Y como equipo de investigación solo ha sido necesario un ordenador con conexión WIFI; dado que se ha usado el ordenador personal no ha sido necesario ningún tipo de desplazamiento. El único desplazamiento realizado durante todo el trabajo ha sido para comentar en persona con la tutora la trayectoria del trabajo realizado.

En cuanto a la distribución de las tareas se han dividido por las diferentes secciones analizadas, y se han ido investigando en orden.

Además, aprovechando que se ha llevado a cabo en verano, se han aprovechado las horas de luz del sol que entraban por la ventana de la habitación, para de esta manera no tener que encender la luz y ahorrar energía.

En cuanto al procedimiento a seguir, ha estado estipulado por la metodología usada durante todo el año escolar en la asignatura de “Impacto Ambiental”.

### **9.2.- DIAGRAMA DE GANTT DE LA PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO**

En este diagrama de Gantt, en vez de la planificación de la obra se va a llevar a cabo la planificación del proyecto, es decir, se va a describir el tiempo empleado en cada sección del proyecto. Para ello se ha desglosado cada apartado analizado, y se les adjudica un periodo estimado de duración.

En este caso el calendario se ha distribuido con el concepto de que cada semana tiene 5 días ya que no se han tenido en cuenta los fines de semana, y se ha estimado que por día se empleaba 4 horas a la investigación y desarrollo del proyecto. Por lo que cada cubicación hace referencia a un día, y se considera que se trabajan 20 horas semanales (Figura 44).

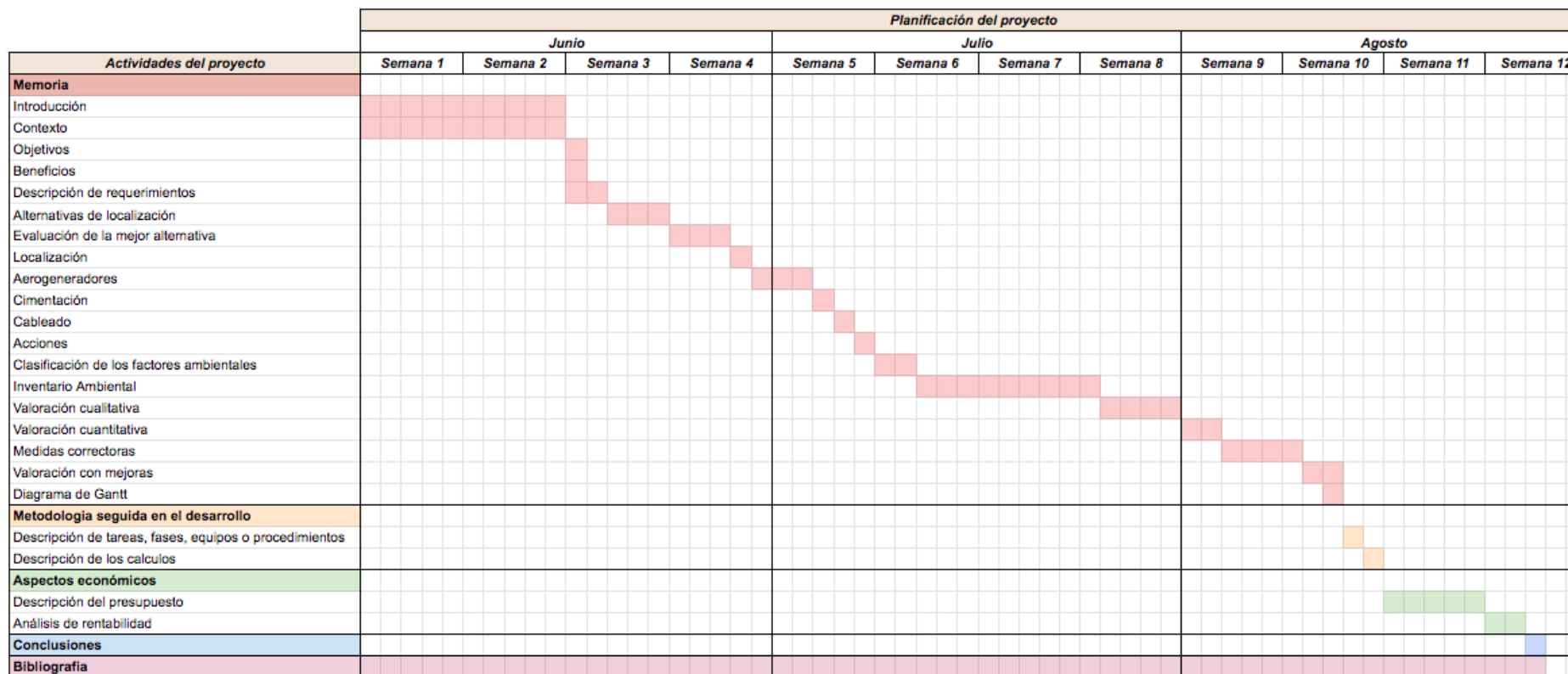


Figura 44. Diagrama de Gantt de la planificación del proyecto.

### 9.3.- DESCRIPCIÓN DE LOS CÁLCULOS

#### 9.3.1.- Cálculos de aerogeneradores

Para escoger el mejor modelo de aerogenerador entre los 4 elegidos, se han generado diferentes cálculos para poder compararlos entre sí. Para comenzar se ha comparado la probabilidad de cada modelo, y para ello se utiliza la Ecuación 1.

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

Donde P será un valor porcentual entre las horas que sopla el viento entre las velocidades V1 y V2.

Por otro lado, k es el factor de forma que caracteriza la asimetría o sesgo de la función de probabilidad y c el factor de escala (m/s).[44]

Según los datos del artículo Dynamic Response Analysis of Onshore Wind Energy Power Units during Earthquakes and Wind, la distribución de Weibull del Mar del Norte se ve reflejada en la Figura 19, siendo k = 2,10 m/s y c = 11 m/s. Esta curva describe la frecuencia de la distribución de velocidades del viento. [38]

Gracias a la probabilidad calculada y sabiendo que un año tiene 8760 h, se puede estimar la cantidad de horas que trabaja un aerogenerador al año y a qué velocidad. Después, es imprescindible conocer la curva de potencia de cada modelo. Una vez estos dos datos son conocidos se puede evaluar la energía anual de cada unidad, donde se va a suponer que tiene un 10% de pérdidas.

El siguiente paso a valorar es el factor de capacidad (C.F.), donde se compara la energía nominal con la energía anual teniendo en cuenta las pérdidas. Para finalizar, se ha realizado un análisis de rentabilidad que se explica en el apartado “10.2. Análisis de rentabilidad” para poder comparar la situación económica.

#### 9.3.2.- Cálculos de las valoraciones de los impactos

A la hora de llevar a cabo los cálculos de las valoraciones se han tenido en cuenta las siguientes ecuaciones. Primero se va a desarrollar la valoración cualitativa, donde se tiene en cuenta la importancia de cada factor. Se calculan 3 diferentes importancias, la intrínseca (i) la estandarizada (ist) y la ponderada (ip). La importancia intrínseca se logra gracias a la Ecuación 2; para la estandarizada se pone la condición de si la importancia intrínseca es diferente a 0 hay que llevar a cabo la Ecuación 3, si no el valor es 0; y para la ponderada se utiliza la Ecuación 4.

$$i=(3 \cdot IN)+(2 \cdot EX)+MO+PE+CR+EF+II+PR \quad (2)$$



$$ist = \frac{i^- - \text{Mínimo valor de importancia}}{\text{Máximo valor de importancia} - \text{Mínimo valor de la importancia}} \cdot 100 \quad (3)$$

$$ip = \frac{ist^- \cdot PF}{100} \quad (4)$$

Donde PF indica el peso del factor, IN la intensidad, EX la extensión, MO el momento, PE la persistencia, CR la capacidad de recuperación, EF el efecto, II la interrelación de impactos y PR la periodicidad. Por otro lado, se ha indicado que el valor mínimo es de 13 y el máximo 100. Estos valores son debido a los valores máximos y mínimos expuestos en la Tabla 22 y relacionándolos con la Ecuación 2.

El siguiente paso es calcular el valor de la importancia de los impactos del factor correspondiente (Ecuación 5), la diferencia que se genera en el valor de la importancia entre teniendo en cuenta y no teniendo en cuenta las medidas correctoras (Ecuación 6) y el valor de importancia calculada con las medidas correctoras propuestas (Ecuación 7).

$$IN = ip^+ - ip^- \quad (5)$$

$$INCC = ip^+ - ip^- \text{ con } CC \quad (6)$$

$$ICC = INCC - IN \quad (7)$$

Otro de los cálculos realizados son la importancia total del impacto provocado por el proyecto en ausencia de medidas correctoras al sumar el valor IN de cada medio; la importancia total del impacto de las medidas correctoras al sumar el valor ICC de cada medio; y por último la importancia total del impacto provocado por el proyecto y las medidas correctoras al sumar los anteriores 2 valores.

Para finalizar se realizan cálculos similares para la valoración cuantitativa, pero la finalidad de esta valoración no es la importancia de los impactos, sino su magnitud. Aun así el primer paso es calcular la importancia intrínseca con la Ecuación 2 sin tener en cuenta la intensidad ni la extensión; en cuanto a la estandarizada, la condición es la misma pero los valores pasan a ser 8 y 40; y para terminar, la ponderada se calcula con la Ecuación 4. En este caso los valores máximos y mínimos son menores, dado que no se tiene en cuenta las cifras de la Tabla 22 de los atributos de intensidad ni de extensión.

Posteriormente se analiza la magnitud de todos los impactos del factor ( $Vp$ ) con la Ecuación 8, gracias a los diferentes indicadores asignados a cada medio. Cada indicador tiene su valor ( $T$ ) y su gráfico para poder analizar la calidad ambiental ( $CA$ ) antes y después de aplicar la medida correctora.

$$Vp = \left[ \frac{1}{1+T} + \frac{T \cdot |ist^+ - ist^-| - 50}{50 \cdot (1+T)} - (CA_{con} - CA_{sin}) \right] \cdot PF \quad (8)$$

## 10.- ASPECTOS ECONÓMICOS

### 10.1- DESCRIPCIÓN DEL PRESUPUESTO

#### 10.1.1.- Presupuesto de la inversión

En este apartado se procede a realizar un análisis económico de lo que supondría llevar a cabo un proyecto de dicho calibre, dado que de esta manera se puede llevar a cabo un análisis de rentabilidad. Para eso se ha realizado un presupuesto aproximado que se ve reflejado en las Tablas 25, 26 y 27.

**Tabla 25.** El presupuesto aproximado de la etapa de construcción.

	Unidad	Precio unitario	Precio total
<b>AEROGENERADORES y CIMENTACIÓN</b>			
Aerogenerador	20	5.000.000 €	100.000.000 €
Torre	20	1.800.000 €	26.000.000
Instalación	20	150.000 €	3.000.000 €
Cimentación Jacket	20	2.200.000 €	44.000.000 €
Transporte	20	240.000 €	4.800.000 €
Cable	85.000	300 €	25.500.000 €
<b>ESTUDIOS PREVIOS</b>			
Estudio de impacto ambiental		1.000.000 €	
Certificación		700.000 €	
Investigación meteorológica		800.000 €	
Estudio geotécnico		900.000 €	
Permisos		500.000 €	
Ingeniería		2.000.000 €	
<b>SUBESTACIÓN OFFSHORE</b>			
Obra civil subestación		557.500 €	
Transformador de potencia		1.700.000 €	
Materiales y servicios auxiliares		73.350 €	
Control auto y protecciones		62.850 €	
Montaje		315.000 €	
Edificio		9.750.000 €	
Cimentación Jacket		5.750.000 €	
<b>OBRA CIVIL</b>			

Enterramiento de línea subacuática	2.091.000 €
Grúas	1.625.000 €
Edificio de almacenamiento	792.000 €
Instalación eléctrica	1.600.000 €
Puesta en marcha	750.000 €
<b>SEGURIDAD y SALUD</b>	
628.000 €	

A continuación se va a tener en cuenta un presupuesto aproximado para el mantenimiento y operación del parque. Dentro de este apartado entran los conjuntos de tareas, procedimientos, instrucciones técnicas y medios materiales y humanos para llevar a cabo un mantenimiento adecuado. Esta etapa es la más extensa ya que se da a lo largo de la vida útil del parque. Se aconseja que el 80% del presupuesto se debe invertir en el mantenimiento preventivo, mientras que solamente el 20% debe de invertirse en la corrección de las averías, es decir, el mantenimiento correctivo.

Por otra parte, al ser un parque offshore, los barcos son un transporte indispensable y hay que tener en cuenta todos los gastos que conlleva como el seguro, el amarre, el mantenimiento del propio barco, el combustible...

**Tabla 26.** El presupuesto aproximado de la etapa de mantenimiento y operación.

	Unidad	Precio unitario	Precio total
<b>MANO DE OBRA</b>			
Obrero	30	30.000 €	900.000 €
Encargado	3	35.000 €	105.000 €
<b>HERRAMIENTAS</b>			
Equipos de medida y maniobra	15	1.500 €	22.500 €
Herramientas mecánicas	15	5.000 €	75.000 €
Equipos de protección individual	34	650 €	22.100 €
Equipos de escalada	15	400 €	6.000 €
Herramientas de limpieza	10	500 €	5.000 €
<b>SUBCONTRATOS</b>			
Transporte	5	500.000 €	2.500.000 €
Material	-	350.000 €	350.000 €

La siguiente etapa para tener en cuenta el presupuesto es el desmantelamiento y el abandono. Una vez que el parque haya cumplido con la vida útil se desmantela y abandona el emplazamiento. En la Tabla 27 se aproxima un presupuesto para dichas acciones.

**Tabla 27.** El presupuesto aproximado de la etapa de desmantelamiento.

	Unidad	Precio unitario	Precio total
Desmontaje de aerogenerador	20	45.000 €	900.000 €
Desmantelado de cimentaciones	20	25.000 €	500.000 €
Desmontaje de plataforma	20	19.000 €	380.000 €
Restauración mediante material procedente de la excavación	20	16.500 €	330.000 €
Retirada a vertedero	20	79.000 €	1.580.000 €
Desmontaje de centro de seccionamiento	-	26.000 €	26.000 €
Desmantelamiento de línea eléctrica	-	58.000 €	58.000 €

Para terminar, se ha generado la Tabla 28 donde se resume el presupuesto de las 3 etapas y se calcula el total de la inversión.

**Tabla 28.** El presupuesto aproximado de las 3 diferentes etapas.

<b>CONSTRUCCIÓN</b>	234.894.700 €
<b>MANTENIMIENTO Y OPERACIÓN</b>	3.985.600 €
<b>DESMANTELAMIENTO</b>	3.774.000 €
<b>TOTAL</b>	242.654.300 €

#### 10.1.2.- Presupuesto de las mejoras

Una vez hecha la evaluación de los impactos, se han propuesto 10 medidas correctoras con la intención de mejorar el impacto que ocasiona crear un parque de dichas características. Por ello, en la Tabla 29 se presenta el presupuesto que supondría cada uno de ellos.

**Tabla 29.** El presupuesto de las medidas correctoras.

Cimentación Suction Bucket	3.000.000 €/unidad
Pintura no tóxica	20 €/L
Sensores de mantenimiento	170 €/unidad
Focos regulables	100 €/unidad

Sistema de reducción catalítica	3.000 €/unidad
Sensores para aves	90 €/unidad
Aisladores en los engranajes	50 €/unidad

Como se puede ver hay medidas correctoras que no generan gastos, entre otros el correcto mantenimiento no genera costos extras y ocasiona una gran diferencia en la funcionalidad de los parques eólicos. Por otra parte, no solo hay medidas que no generan costos, si no que los minimiza; entre ellos se encuentra el hecho de alterar el mínimo terreno necesario, debido a que cuanto menos terreno se altere más barato saldrá. Otra medida que con beneficios sería buscar alternativas para los residuos generados, en esta ocasión se mejora el impacto ambiental y se ocasionan beneficios económicos, ya que empresas comprarían el material a bajo coste para darles uso.

En resumen, con unos pocos cambios que no generan grandes impactos económicos, se favorecería la calidad ambiental sin gran esfuerzo.

## 10.2.- ANÁLISIS DE RENTABILIDAD

Para finalizar, se ha realizado un análisis de rentabilidad donde se ha calculado el VAN (Valor Actual Neto) y el TIR (Tasa Interna de Retorno). Estos son dos indicadores financieros necesarios para poder analizar si la central es viable y rentable una vez hecha la inversión, lo cual es la finalidad de cualquier proyecto. Aunque sean indicadores que tienen el mismo objetivo tienen diferencias notables; mientras el VAN calcula la rentabilidad de la inversión y demuestra sus resultados en términos de unidades de valor monetario, el TIR expresa sus resultados en términos relativos en forma de porcentaje y su función es señalar la tasa a la cual recuperaremos la inversión inicial de nuestro negocio transcurrido cierto tiempo. Ambas fórmulas se relacionan de forma directa con el flujo de caja de los negocios y buscan hacer más preciso el cálculo del tiempo que un negocio tardará en recuperar su inversión inicial.

Para que un proyecto sea viable y rentable el valor del VAN ha de ser positivo, y para ello se ha de seguir la Ecuación 9. Por el contrario, para determinar el TIR ha de aplicarse la Ecuación 10. [91]

$$VAN = -I + \sum_{t=1}^n \frac{C_t - P_t}{(1+i)^t} \quad (9)$$

Donde,

I: la inversión [€]

t: el tiempo de periodos que han transcurrido desde el inicio [año]

C<sub>t</sub>: la cuantía de los cobros realizados en el periodo t [€]

P<sub>t</sub>: la cuantía de los pagos efectuados en el periodo t [€]

i: el tipo de interés acumulado al que actualizamos los flujos de caja en el periodo t [%]

$$TIR = \frac{r}{\left(1 - \frac{1}{(1+r)^n}\right)} \quad (10)$$

Donde,

r: la tasa de descuento [%]

n: la vida útil [año]

Por otra parte también se ha calculado el correspondiente LCOE. El LCOE, Levelized Cost of Energy o Coste Nivelado de la Energía es el valor del coste total actual de construir y operar una instalación generadora de energía a lo largo de toda su vida útil (€/MWh). Así, mide los costes totales que esa instalación tendrá a lo largo de toda su vida y los divide por la producción de energía que realizará también durante todos sus años de operación. A continuación, se presenta la ecuación del LCOE:

$$LCOE = \frac{I + \sum_{t=1}^n \frac{M_t}{(1+TIR)^T}}{\sum_{t=1}^n \frac{E_t}{(1+TIR)^T}} \quad (11)$$

Para calcular la caja de flujo se va a analizar los ingresos, el mantenimiento y la operación, el cash flow y el payback, teniendo en cuenta la inversión; y para ello es necesario saber los datos que se muestran en la Tabla 30.

**Tabla 30.** Datos necesarios para la caja de flujo.

<b>Porcentajes</b>	
Crecimiento del mantenimiento y de la operación (%)	2,00%
Aumento de los ingresos (%)	1,40%
<b>Aerogeneradores</b>	
Potencia (MW)	5
Nº de aerogeneradores	20
<b>Costes de inversión</b>	
Inversión inicial (€)	242.654.300
% 10 de imprevistos (€)	266.919.730
<b>Ingresos</b>	
€/MWh	80
E <sub>real</sub> (MWh)	22.836
Ingresos totales	36.538.333

**Tabla 31. La caja de flujo.**

<b>Año</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>
<b>Inversión</b>	- 266.919.730						
<b>Ingresos</b>		36.538.333	37.049.870	37.568.568	38.094.528	38.627.851	39.168.641
<b>Mantenimiento y operación</b>		- 5.338.395	- 5.445.162	- 5.554.066	- 5.665.147	- 5.778.450	- 5.894.019
<b>Cash Flow</b>	- 266.919.730	31.199.938	31.604.707	32.014.502	32.429.381	32.849.401	33.274.622
<b>Cálculo de payback</b>	- 266.919.730	- 235.719.792	- 204.115.085	- 172.100.583	- 139.671.202	- 106.821.801	- 73.547.179

<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>16</b>
39.717.002	40.273.040	40.836.863	41.408.579	41.988.299	42.576.135	43.172.201	43.776.612	44.389.484	45.010.937
- 6.011.899	- 6.132.137	- 6.254.780	- 6.379.876	- 6.507.473	- 6.637.623	- 6.770.375	- 6.905.783	- 7.043.898	- 7.184.776
33.705.103	34.140.903	34.582.082	35.028.703	35.480.825	35.938.512	36.401.826	36.870.829	37.345.586	37.826.161
- 39.842.077	- 5.701.174	28.880.908	63.909.611	99.390.437	135.328.949	171.730.775	208.601.603	245.947.189	283.773.350

<b>17</b>	<b>18</b>	<b>19</b>	<b>20</b>	<b>21</b>	<b>22</b>	<b>23</b>	<b>24</b>	<b>25</b>
45.641.090	46.280.065	46.927.986	47.584.978	48.251.168	48.926.684	49.611.658	50.306.221	51.010.508
- 7.328.472	- 7.475.041	- 7.624.542	- 7.777.033	- 7.932.574	- 8.091.225	- 8.253.050	- 8.418.111	- 8.586.473
38.312.618	38.805.024	39.303.444	39.807.945	40.318.594	40.835.459	41.358.608	41.888.110	42.424.035
322.085.968	360.890.992	400.194.436	440.002.382	480.320.976	521.156.435	562.515.043	604.403.153	646.827.188

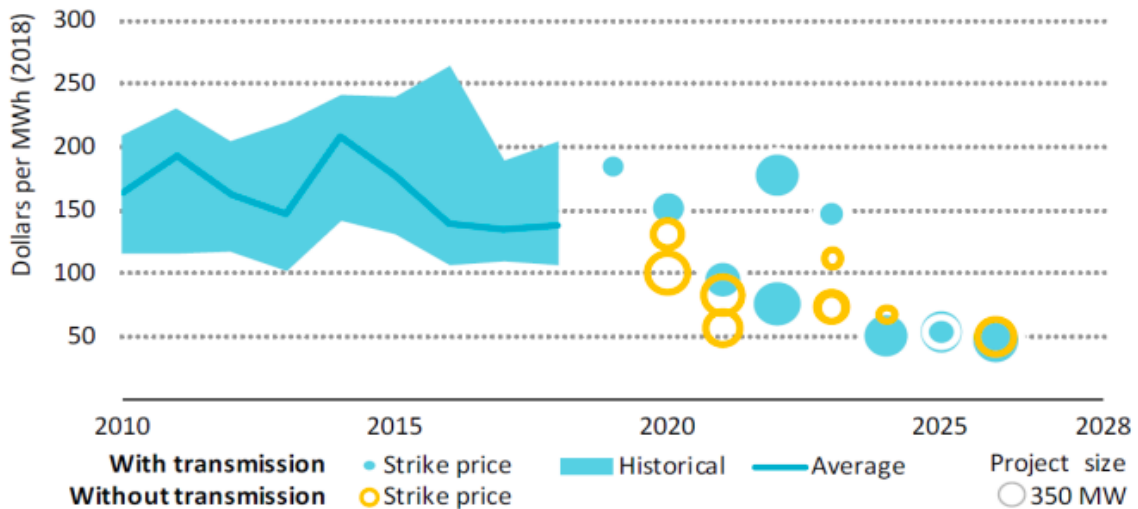
Una vez calculada la caja de flujo (Tabla 31) se pueden aplicar las Ecuaciones 9, 10 y 11 para conseguir los resultados requeridos que se muestran en la Tabla 32.

**Tabla 32.** Valores del VAN, TIR y LCOE.

VAN	TIR	LCOE
88.329.132 €	8,8 %	40 €/MWh

Como se puede observar en la Tabla 32, en el año 9 se recupera todo lo invertido y el parque comienza a obtener beneficios. Por lo tanto es lógico que el VAN y el TIR sean positivos indicando que el proyecto es rentable y viable.

Para terminar, se ha comparado el valor conseguido de LCOE con la evolución del LCOE supuesta en 2018 por las subastas europeas, esto se puede ver en la Figura 45. [91]



**Figura 45.** Evolución del LCOE y precios de adjudicación en subastas europeas. [66]



## 11.- CONCLUSIONES

Una vez terminado el proyecto se pueden analizar diferentes conclusiones. En primer lugar se puede observar que hoy en día uno de los mejores lugares para construir un parque eólico offshore se coloca en el Mar del Norte, no solo por su batimetría de poca profundidad, sino también por la gran fuerza del viento que se genera en esta zona. En cambio, España no es un buen lugar para dichos proyectos, ya que la batimetría es de gran profundidad desde el comienzo de la zona costera; pero una alternativa a ello que está en proceso de investigación es la cimentación flotante. Además las velocidades medias son bajas y mínimas en verano.

Otro aspecto a examinar ha sido el impacto ambiental que se puede generar, donde un parque eólico tiene un menor impacto que la mayoría de las otras fuentes energéticas. Además, el hecho de que sea un parque offshore hace que los aerogeneradores tengan la posibilidad de ser de mayor tamaño, generando así energías superiores. Otra de las ventajas que tienen parques con estas características, es que al estar en una zona desierta, sin obstáculos interviniendo en la fuerza y dirección del viento, la energía del viento es más aprovechable.

Sin embargo, aunque el impacto ambiental de un parque eólico sea no muy elevado, siempre hay requisitos mejorables; y por ello se ha generado un apartado con las diferentes mejoras que se podrían aplicar para minimizar el impacto ocasionado. Además, se han obtenido resultados donde debido a la alta inversión que supone un parque eólico, colocar estas medidas correctoras no supone gran esfuerzo y mejoran notablemente la calidad ambiental.

Para finalizar, con motivo de conocer si el proyecto propuesto es económicamente viable o no, se ha llevado a cabo un análisis económico donde se ha supuesto que la vida útil del proyecto es de 25 años y que genera 100 MW. Para sacar el mayor beneficio se han comparado 4 diferentes aerogeneradores y se ha escogido el que mayor bonificación y energía ha generado. Este análisis económico es muy importante, ya que un proyecto tiene que ser viable en el aspecto ambiental y económico; y en caso de no ser económicamente viable la propuesta no se podría llevar a cabo y habría que modificar varias acciones. En este caso, tanto el VAN y TIR dan valores positivos, por lo que el proyecto estaría listo para presentarlo ante la Autoridad competente. En cuanto al LCOE obtenido, es muy similar al LCOE estipulado por subastas europeas en el año 2018, por lo que se podría deducir que el cálculo realizado es correcto.

## 12.- BIBLIOGRAFÍA

- [1] Appa Renovables. (2021). *Diferencias entre energías renovables y convencionales*. <https://www.appa.es/energias-renovables/renovables-tipos-y-ventajas/diferencias-entre-energias-renovables-y-convencionales/#:%7E:text=Denominamos%20fuentes%20de%20energ%C3%ADa%20convencionales,combustibles%20f%C3%B3siles%20y%20los%20nucleares>
- [2] *Impacto ambiental de la generación termoeléctrica*. (s. f.). hruDnick. [https://hruDnick.sitios.ing.uc.cl/mercados/impamb/EIA%20Electrico\\_archivos/Page1246.htm](https://hruDnick.sitios.ing.uc.cl/mercados/impamb/EIA%20Electrico_archivos/Page1246.htm)
- [3] Fenández Muerza, A. (2007). *Centrales térmicas de ciclo combinado* | EROSKI Consumer. Consumer. <https://www.consumer.es/medio-ambiente/centrales-termicas-de-ciclo-combinado.html>
- [4] *¿Cómo afecta la energía nuclear al medioambiente?* (2021). Ahorreluz. <https://www.ahorreluz.es/blog/energia-nuclear-y-medioambiente/#:%7E:text=conocido%20el%20uranio,-%C2%BFpor%20qu%C3%A9%20perjudicial%20para%20el%20medioambiente%3F,ocasiones%20incalculable%2C%20supone%20grandes%20costes>
- [5] Foro Nuclear. (2020). *¿Cómo influye la energía nuclear en el medio ambiente?* <https://www.foronuclear.org/descubre-la-energia-nuclear/preguntas-y-respuestas/sobre-energia-nuclear-y-medio-ambiente/como-influye-la-energia-nuclear-en-el-medio-ambiente/>
- [6] Cardona, A. (2021). *Cómo afecta la energía nuclear al medio ambiente y al ser humano*. ecologiaverde.com. <https://www.ecologiaverde.com/como-afecta-la-energia-nuclear-al-medio-ambiente-y-al-ser-humano-1664.html>
- [7] HDF energy. (2020). *HIDROGENO Y MEDIO AMBIENTE*. Energia-Los-Cabos. <https://www.energia-loscabos.com/hidrogeno-y-medio-ambiente>
- [8] Iberdrola. (2021). *El hidrógeno verde: una alternativa para reducir las emisiones y cuidar nuestro planeta*. <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/hidrogeno-verde>
- [9] Hilcu, M. (2022). *El impacto de las energías renovables*. Otovo Blog. <https://www.otovo.es/blog/energia/impacto-energias-renovables-medioambiente/>
- [10] National Geographic. (2021). *Los gases de efecto invernadero tienen un impacto cada vez mayor en el día a día del mundo entero. Hacemos un recorrido por la ciencia para explicar qué es exactamente el calentamiento global que provoca el cambio climático y cuáles son sus consecuencias*. <https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/que-es-el-calentamiento-global>
- [11] Iberdrola. (2019). *Las negociaciones climáticas: 25 años en busca de consensos para luchar contra el cambio climático*. <https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/acuerdos-internacionales-sobre-el-cambio-climatico>
- [12] Gonzalez del Hoyo, I. (2021). *Tema 3: Sostenibilidad en entorno energético*. saitec. [https://egela.ehu.eus/pluginfile.php/5901471/mod\\_resource/content/1/Master%20Sost%202021-2022%20TEMA%203.ppt%20-%20-%20Modo%20de%20compatibilidad.pdf](https://egela.ehu.eus/pluginfile.php/5901471/mod_resource/content/1/Master%20Sost%202021-2022%20TEMA%203.ppt%20-%20-%20Modo%20de%20compatibilidad.pdf)

- [13] García Charton, F. (2019). *Objetivos incumplidos*. elDiario. [https://www.eldiario.es/murcia/murcia-y-aparte/objetivos-incumplidos\\_132\\_1676686.html#:~:text=Una%20vez%20que%20los%20objetivos,y%20aumentar%20la%20eficiencia%20energ%C3%A9tica](https://www.eldiario.es/murcia/murcia-y-aparte/objetivos-incumplidos_132_1676686.html#:~:text=Una%20vez%20que%20los%20objetivos,y%20aumentar%20la%20eficiencia%20energ%C3%A9tica)
- [14] United Nations. (s. f.). *De Estocolmo a Kyoto: Breve historia del cambio climático*. <https://www.un.org/es/chronicle/article/de-estocolmo-kyotobreve-historia-del-cambio-climatico>
- [15] IISD. (s. f.). *Línea de tiempo de la EIA – Plataforma en Línea para la EIA*. <https://www.iisd.org/learning/eia/es/eia-essentials/timeline/>
- [16] El casco (s.f.). *La evaluación de impacto ambiental*. [http://www.turismoelcasco.com/lecturas/lectura\\_003.pdf](http://www.turismoelcasco.com/lecturas/lectura_003.pdf)
- [17] Appa Renovables. (2021b). *Renovables en el mundo y en Europa*. <https://www.appa.es/energias-renovables/renovables-en-el-mundo-y-en-europa/>
- [18] Ojea, L. (2019). *APPA: España incumplirá el objetivo del 20% de renovables para 2020*. El Periódico de la Energía. <https://elperiodicodelaenergia.com/appa-espana-incumplira-el-objetivo-del-20-de-renovables-para-2020/>
- [19] Roca, J. A. (2022). *Las renovables representaron el 81% de la nueva capacidad de energía en 2021*. El Periódico de la Energía. <https://elperiodicodelaenergia.com/las-renovables-representaron-el-81-de-la-nueva-capacidad-de-energia-en-2021/>
- [20] Grupo Ecoindustria. (2017). *La energía eólica en el segundo puesto del mix europeo*. <https://www.grupoecoindustria.com/en/la-energia-eolica-segundo-puesto-del-mix-europeo/>
- [21] ElectiaPlus. (2019). *Energías renovables en España: situación en 2018*. <https://www.electiaplus.es/energias-renovables-en-espana/>
- [22] Nehls, G. (2020). *El informe de GWEC indica la resiliencia de la industria eólica, pero la necesidad de triplicar la instalación para obtener cero emisiones netas*. Composites World. <https://www.compositesworld.com/news/gwec-report-indicates-wind-industry-resilience-but-a-need-to-triple-installation-for-net-zero>
- [23] Munguía, S. (2022). *España es una potencia de la energía eólica, pero tiene una gran deuda con la offshore*. Xataka. <https://www.xataka.com/energia/espana-potencia-energia-eolica-tiene-gran-deuda-offshore-asi-aspira-a-corregirla>
- [24] Smartgridsinfo. (2021). *El aumento mundial de la energía eólica debe triplicarse para la neutralidad climática*. <https://www.smartgridsinfo.es/2021/04/05/aumento-mundial-energia-eolica-debe-triplicarse-neutralidad-climatica-segun-gwec>
- [25] Thomson Reuters. (2019). *Ley 21/2013, de 9 de diciembre, Ley de Evaluación Ambiental*. <https://www.thomsonreuters.es/es/leyes/ley-21-2013.html>
- [26] Fernández, D. (2022). *Evaluación de Impacto Ambiental: Nueva Ley 21/2013*. Geoinnova. <https://geoinnova.org/blog-territorio/evaluacion-de-impacto-ambiental-nueva-ley-212013/>

- [27] Fernandez Munguía, S. (2018). *Un poco de historia. Vindeby Offshore Wind Farm, el primer parque eólico marino del mundo*. DiarioRenovables | Energías renovables. Eólica, solar, fotovoltaica, baterías, movilidad sostenible.  
<https://www.diariorenovables.com/2018/03/primer-parque-eolico-marino-del-mundo.html>
- [28] Iberdrola. (2021). *La historia de la energía eólica*. Neenergia.  
<https://www.neoenergia.com/es-es/sala-de-comunicacion/noticias/Paginas/historia-de-energia-eolica.aspx>
- [29] *Parques Eólicos Marinos: Ventajas y Desventajas*. (2022). Estudiar Energías Renovables Online. <https://estudiarenergiasrenovablesonline.es/parques-eolicos-marinos-ventajas-y-desventajas/>
- [30] Marino, I. (2019). *Buques Especiales para la Eólica Marina Offshore*. Ingeniero Marino.  
<https://ingenieromarino.com/buques-especiales-eolica-marina-offshore/>
- [31] Biosfera. (2021). *Evaluación Ambiental*. Biosfera - Consultoría ambiental.  
<https://biosfera.es/evaluacion-ambiental/>
- [32] Junta de Castilla y León. (s. f.). *Evaluación de impacto ambiental (EIA)*. Medio Ambiente. <https://medioambiente.jcyl.es/web/es/calidad-ambiental/evaluacion-impacto-ambiental.html>
- [33] BOE. (2017). *Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental*.  
<https://www.boe.es/buscar/pdf/2013/BOE-A-2013-12913-consolidado.pdf>
- [34] IDAE. (2009). *Atlas eólico del IDAE*. ResearchGate.  
[https://www.researchgate.net/figure/Figura-76-Atlas-eolico-del-IDAE-y-resultado-del-Estudio-Estrategico-Ambiental-del\\_fig4\\_281557248](https://www.researchgate.net/figure/Figura-76-Atlas-eolico-del-IDAE-y-resultado-del-Estudio-Estrategico-Ambiental-del_fig4_281557248)
- [35] Limited, A. (s. f.). *mapa de mar del norte Ilustración del Vector*. Alamy.  
<https://www.alamy.es/imagenes/mapa-del-mar-del-norte.html>
- [36] Meteoblue. (s. f.). *Rosa de los vientos*.  
[https://www.meteoblue.com/es/tiempo/archive/windrose/43.689N-7.175E0\\_Europe%2FMadrid](https://www.meteoblue.com/es/tiempo/archive/windrose/43.689N-7.175E0_Europe%2FMadrid)
- [37] IDAE. (2011). *Análisis del recurso. Atlas eólico de España*.  
[https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos\\_11227\\_e4\\_atlas\\_eolico\\_A\\_9b90ff10.pdf](https://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_11227_e4_atlas_eolico_A_9b90ff10.pdf)
- [38] Osamu, K., Rikiji, T., & Gelder, P. V. (2002). Dynamic Response Analysis of Onshore Wind Energy Power Units during Earthquakes and Wind. *The International Society of Offshore and Polar Engineer*, 520
- [39] Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. (2021). *Hoja de ruta eólica marina y energías del mar de España*.  
<https://www.lamoncloa.gob.es/consejodeministros/resumenes/Documents/2021/101221-Hoja-ruta-eolica-marina.pdf>

- [40] The Wild Power. (2022). *Siemens-Gamesa SG 8.0-167 DD - Fabricantes y aerogeneradores. The Wind Power.* [https://www.thewindpower.net/turbine\\_es\\_1558\\_siemens-gamesa\\_sg-8.0-167-dd.php](https://www.thewindpower.net/turbine_es_1558_siemens-gamesa_sg-8.0-167-dd.php)
- [41] The Wild Power. (2018). *Gamesa G128/5000 - Fabricantes y aerogeneradores. The Wind Power.* [https://www.thewindpower.net/turbine\\_es\\_968\\_gamesa\\_g128-5000.php](https://www.thewindpower.net/turbine_es_968_gamesa_g128-5000.php)
- [42] The Wild Power. (2018). *Gamesa G87/2000 - Fabricantes y aerogeneradores. The Wind Power.* [https://www.thewindpower.net/turbine\\_es\\_46\\_gamesa\\_g87-2000.php](https://www.thewindpower.net/turbine_es_46_gamesa_g87-2000.php)
- [43] The Wild Power. (2018). *Siemens SWT-6.0-154 - Fabricantes y aerogeneradores. The Wind Power.* [https://www.thewindpower.net/turbine\\_es\\_807\\_siemens\\_swt-6.0-154.php](https://www.thewindpower.net/turbine_es_807_siemens_swt-6.0-154.php)
- [44] Sancho Saiz, X. (2022). *Tema 2 parte 1. Estudio de viabilidad de un parque eólico.* [https://egela.ehu.eus/pluginfile.php/5952589/mod\\_resource/content/4/energia\\_eolica/Tema%202%20parte%201.%20Estudio%20de%20viabilidad%20de%20un%20parque%20e%C3%B3lico.pdf](https://egela.ehu.eus/pluginfile.php/5952589/mod_resource/content/4/energia_eolica/Tema%202%20parte%201.%20Estudio%20de%20viabilidad%20de%20un%20parque%20e%C3%B3lico.pdf)
- [45] Rodríguez Galván, G. (2018). *Dimensionamiento de cimentaciones superficiales para aerogeneradores offshore.* [http://mmc.siani.es/files/documents/Master/TFM\\_Gabriel\\_Rodriguez.pdf](http://mmc.siani.es/files/documents/Master/TFM_Gabriel_Rodriguez.pdf)
- [46] de Prados González, I. (2018). *Estudio de implantación de un parque eólico offshore flotante en la costa de Cantabria.* Escuela Politécnica de Minas y Energía. <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/13336/IPG.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [47] Asociación Empresarial Eólica. (2021). *Preguntas frecuentes sobre la eólica marina en España.* AEE. <https://aeeolica.org/wp-content/uploads/2021/09/FQ-EOLICA-MARINA-PDF-def.pdf>
- [48] Sellner, J. (2016). *Desarrollo técnico de un dispositivo autónomo para la instalación de cables eléctricos y de comunicaciones submarino, con principal aplicación en parques eólicos offshore.* E.T.S. de Ingeniería Industrial, Informática y de Telecomunicación. <https://academica-e.unavarra.es/bitstream/handle/2454/22740/Trabajo%20fin%20del%20Master%20Jan%20Sellner.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [49] Sánchez Benegas, D. (2016). *Parque eólico offshore “NGOR” en Dakar, Senegal.* Universidad politécnica de Madrid.
- [50] The World Air Quality Index project. (s. f.). *Contaminación del aire de Unterland, Helgoland, Germany, Helgoland, Germany: Índice de la Calidad del Aire (ICA) en tiempo real.* aqicn.org. <https://aqicn.org/station/@90109/es/>
- [51] Accuweather. (s. f.). *Access Denied.* <https://www.accuweather.com/es/es/san-esteban-derio/2323905/air-quality-index/2323905>
- [52] Weather Spark. (s. f.). *El clima en Helgoland, el tiempo por mes, temperatura promedio (Alemania).* <https://es.weatherspark.com/y/58448/Clima-promedio-en-Helgoland-Alemania-durante-todo-el-a%C3%B1o>

- [53] Windfinder.com. (s. f.). *Windfinder.com - Wind and weather statistic Helgoland Rickmers*. [https://es.windfinder.com/windstatistics/helgoland\\_rickmers](https://es.windfinder.com/windstatistics/helgoland_rickmers)
- [54] Academic. (2010). *Heligoland*. Los diccionarios y las enciclopedias sobre el Académico. <https://es-academic.com/dic.nsf/eswiki/565364>
- [55] European Soil Bureau Network European Commission (2005). *Soil Atlas of Europe*. [https://esdac.jrc.ec.europa.eu/Projects/Soil\\_Atlas/Download/Atlas.pdf](https://esdac.jrc.ec.europa.eu/Projects/Soil_Atlas/Download/Atlas.pdf)
- [56] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (s. f.). *Suelos altamente orgánicos*. FAO. <https://www.fao.org/soils-portal/soil-management/manejo-de-suelos-problematicos/suelos-altamente-organicos/es/>
- [57] Rueda, D. (2021). *Suelos Fluvisoles*. encolombia.com. <https://encolombia.com/economia/agroindustria/agronomia/suelos-fluvisoles/>
- [58] Ibáñez, J. J., & Manriquez Cosio, J. (2012). *Podzoles (WRB) - Un Universo invisible bajo nuestros pies*. Un Universo invisible bajo nuestros pies. <https://www.madrimasd.org/blogs/universo/2012/08/24/142310#:~:text=Los%20Podzoles%20son%20suelos%20con%20un%20horizonte%20subsuperficial%20superior%20t%C3%A1picamente,iluvial%20pardo%20rojizo%20o%20negro>
- [59] GeoEnciclopedia. (2016). *Mar del Norte - Información y Características*. Información y Características | Ciencias de La Tierra. <https://www.geoenciclopedia.com/mar-del-norte/#:~:text=La%20flora%20marina%20est%C3%A1%20representada,atr%C3%A1s%20albergaba%20muchas%20m%C3%A1s%20especies>
- [60] Portillo, G. (2021). *Mar del Norte*. Meteorología en Red. <https://www.meteorologiaenred.com/mar-del-norte.html>
- [61] Voxeurop. (2009). *El mar del Norte, cada vez más enfermo*. <https://voxeurop.eu/es/el-mar-del-norte-cada-vez-mas-enfermo/>
- [62] *Mar del Norte*. (2019). La guía. <https://geografia.laguia2000.com/hidrografia/mar-del-norte>
- [63] La vanguardia. (2019). *Mar del Norte y Báltico, décadas de contaminación y ahora la crisis climática*. <https://www.lavanguardia.com/vida/20191206/472073091629/mar-del-norte-y-baltico-decadas-de-contaminacion-y-ahora-la-crisis-climatica.html>
- [64] Helgoland Tourismus-Service. (2018). *Flora & Fauna*. Helgoland. <https://www.helgoland.de/freizeit-gestalten/naturerlebnisse/flora-und-fauna/>
- [65] Travel Guide (s. f.). *Heligoland - Guía de viaje 2022 | travelguide*. Travelguide.de. <https://www.travelguide.de/es/heligoland/>
- [66] AEE (2021). Preguntas frecuentes sobre la eólica marina en España.
- [67] Aranzadi. (2022). *El atlas online más completo sobre rutas migratorias de aves europeas*. <https://www.aranzadi.eus/atlas-online-rutas-migratorias-aves-europeas>
- [68] KripKit. (s. f.). *Helgoland - Economía, Cultura, Historia*. KripKit. <https://kripkit.com/helgoland/>

- [69] BBC News Mundo. (2017). *Heligoland, la isla que Reino Unido hizo volar en pedazos tras la Segunda Guerra Mundial*. <https://www.bbc.com/mundo/noticias-39635350>
- [70] Deutsche Welle. (2013). *Energía eólica: nuevo rumbo para Heligoland*. DW.COM. <https://www.dw.com/es/energ%C3%ADa-e%C3%B3lica-nuevo-rumbo-para-heligoland-parte-1/av-17131079>
- [71] Deutsche Welle. (2013). *Energía eólica: nuevo rumbo para Heligoland*. DW.COM. <https://www.dw.com/es/energ%C3%ADa-e%C3%B3lica-nuevo-rumbo-para-heligoland-parte-2/av-17146014>
- [72] Route you. (s. f.). *Aeropuerto de Heligoland - Aeropuerto*. RouteYou. <https://www.routeyou.com/es-de/location/view/48862170/aeropuerto-de-heligoland>
- [73] Medio ambiente y clima. (s. f.). *La transición energética*. La actualidad de Alemania. <https://www.tatsachen-ueber-deutschland.de/es/clima-y-energia/la-transicion-energetica>
- [74] Roca, J. A. (2021). *Alemania supera el 50% de renovables en su mix eléctrico en 2020: por primera vez, la eólica y la solar superan la producción de los combustibles fósiles*. El Periódico de la Energía. <https://elperiodicodelaenergia.com/alemania-supera-el-50-de-renovables-en-su-mix-electrico-en-2020-por-primera-vez-la-eolica-y-la-solar-superan-la-produccion-de-los-combustibles-fosiles/>
- [75] Roca, J. A. (2021a). *Alemania podría cubrir toda la demanda energética con renovables en 10–15 años*. El Periódico de la Energía. <https://elperiodicodelaenergia.com/alemania-podria-cubrir-toda-la-demanda-energetica-con-renovables-en-10-15-anos/>
- [76] Futur Energy. (2018). *La expansión hasta 2020 de la energía eólica marina en Alemania, avanza según el plan* | FuturEnergy: Revista técnica bilingüe de energía. <https://futureenergyweb.es/la-expansion-hasta-2020-de-la-energia-eolica-marina-en-alemania-avanza-segun-el-plan/>
- [77] Energías Renovables. (2022). *Alemania, Bélgica, Dinamarca y Holanda quieren instalar 150 gigavatios eólicos en el Mar del Norte*. <https://www.energias-renovables.com/eolica/alemania-belgica-dinamarca-y-holanda-quieren-instalar-20220520>
- [78] Heligoland (s. f.). *Offshorewind*. Heligoland Rathaus. <https://www.heligoland.de/rathaus/rathausundpolitik/haefen/offshorewind/>
- [79] Vattenfall. (2018). *Offshore wind: suction buckets reduce cost and underwater noise*. <https://group.vattenfall.com/press-and-media/newsroom/2017/offshore-wind-suction-buckets-reduce-cost-and-underwater-noise>
- [80] Energías Renovables Marinas. (2017). *Cimentaciones típicas en la eólica marina*. <http://energiasrenovablesmarinas.blogspot.com/2017/08/cimentaciones-tipicas-en-la-eolica.html>
- [81] Rodríguez Galván, G. (2018b). *Dimensionamiento de cimentaciones superficiales para aerogeneradores offshore*. Universidad de las Palmas de Gran Canaria. [http://mmc.siani.es/files/documents/Master/TFM\\_Gabriel\\_Rodriguez.pdf](http://mmc.siani.es/files/documents/Master/TFM_Gabriel_Rodriguez.pdf)

- [82] Ferrer, J. L. (2021). *Los barcos contaminan el mar con la pintura de sus cascos, según dos estudios*. Verde y Azul. <https://verdeyazul.diarioinformacion.com/los-barcos-contaminan-el-mar-con-la-pintura-de-sus-cascos-segun-dos-estudios.html>
- [83] González, J. A. (2008). *Demostración de pinturas no tóxicas para barcos*. The Regents of the University of California. <https://nsgl.gso.uri.edu/casg/casgg08004.pdf>
- [84] World Energy Trade. (2020). *Las aspas de las turbinas eólicas no son reciclables y se han convertido en toneladas de desechos Please enabl*. <https://www.worldenergytrade.com/energias-alternativas/energia-eolica/las-aspas-de-las-turbinas-eolicas-no-son-reciclables-y-se-han-convertido-en-toneladas-de-desechos>
- [85] Endesa. (2021). *Puentes, parques o corales artificiales: así se reciclan las palas de los molinos eólicos*. elconfidencial.com. [https://www.elconfidencial.com/medioambiente/energia/2021-05-20/reciclan-las-palas-de-los-molinos-eolicos-bra\\_3088176/](https://www.elconfidencial.com/medioambiente/energia/2021-05-20/reciclan-las-palas-de-los-molinos-eolicos-bra_3088176/)
- [86] García, A. (2018). *Conoce los tipos de sensores para monitorizar aerogeneradores*. Instrumentación y Control. <https://instrumentacionycontrol.es/tipos-de-sensores-para-monitorizar-aerogeneradores/>
- [87] López Marco, M. (2017). *Estudio de impacto ambiental parque eólico marino “offshore” frente a la costa norte de Vinaròs, Castellón*. Universidad Politécnica de Valencia.
- [88] Baña Pérez, S. (2021). *Sistema SCR para el control de emisiones*. Escuela técnica superior de náutica y máquinas. [https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/28824/Ba%C3%B1aPerez\\_Santiago\\_TFM\\_2021.pdf?sequence=2](https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/28824/Ba%C3%B1aPerez_Santiago_TFM_2021.pdf?sequence=2)
- [89] nvisionist. (2022). *nvbird Offshore*. nvisionist.com. <https://nvisionist.com/nvbird-offshore/>
- [90] Rodríguez Campello, L.S. & Toval Álvarez, Noelia (2011). *Impactos ambientales de un parque eólico marino. Retos y oportunidades. El caso de Huelva*. Escuela de Organización Industrial
- [91] Ramirez, P. (2022). *Van y TIR: Concepto, diferencias y cómo calcularlos*. Economía3. <https://economia3.com/van-tir-concepto-diferencias-como-calcularlos/>



## **ANEXOS**

ANEXO 1. Cálculos aerogenerador y rentabilidad.xlsx

ANEXO 2. Ponderación de factores.xlsx

ANEXO 3. Valoración cualitativa del impacto.xlsm

ANEXO 4. Valoración cuantitativa del impacto.xlsm