



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUOLA TÉCNICA  
SUPERIOR INGENIERÍA  
INDUSTRIAL VALENCIA

Curso Académico:

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer a mi tutor José Felipe Villanueva haberme guiado durante todo este proceso, sin su ayuda no habría sido posible la correcta finalización de este proyecto. Gracias desde el principio por tu predisposición a aceptarme en la realización de este trabajo y durante estos meses gracias por la paciencia y por tu compromiso.

Quiero dedicar estas líneas a mis padres, por acompañarme y apoyarme en todas las decisiones que tomo. Gracias por animarme en los momentos más difíciles durante estos cinco años, sin tener ninguna duda de que iba a conseguirlo.

Si algo he aprendido durante la carrera es que la amistad que hemos formado es mucho más importante que cualquier asignatura que hayamos estudiado. Gracias a vosotros yo he conseguido estar aquí hoy porque habéis confiado en mí en momentos en los que yo no era capaz de hacerlo. Por eso y por todos los momentos vividos sois mi familia, seguiré de cerca cada uno de vuestros pasos, sé que vais a volar muy alto.

Por último y más importante, gracias a ti por ser mucho más que mi hermana mayor, eres mi ejemplo a seguir y te admiro tanto como te quiero. Gracias por estar siempre conmigo vivamos en la misma casa o nos separen diez mil kilómetros. Gracias a ti nada me da miedo, gracias a ti sé que puedo soñar todo lo alto que quiera...

## ÍNDICE

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	6
1.1 OBJETO DEL TRABAJO FINAL DE GRADO .....	6
1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO .....	6
1.3 ALCANCE DEL PROYECTO .....	6
CAPÍTULO 2. NORMATIVA.....	8
2.1 INTERNACIONAL.....	8
2.2 EUROPEA .....	8
2.3 ESPAÑA.....	9
2.4 COMUNIDAD VALENCIANA .....	10
CAPÍTULO 3. ESTADO ACTUAL DE LA ENERGÍA EÓLICA .....	11
3.1 MARCO MUNDIAL .....	11
3.2 MARCO EUROPEO .....	12
3.3 MARCO NACIONAL.....	13
3.4 MARCO AUTONÓMICO .....	15
CAPÍTULO 4. ANÁLISIS DEL EMPLAZAMIENTO .....	17
4.1 CRITERIO MEDIOAMBIENTAL .....	17
4.2 CRITERIO ENERGÉTICO .....	19
4.3 CRITERIO DE UBICACIÓN .....	20
CAPÍTULO 5. CARACTERIZACIÓN DEL RECURSO EÓLICO.....	21
5.1 SITUACIÓN DEL MUNICIPIO.....	21
5.2 FIGURAS AMBIENTALES.....	22
5.3 VALORACIÓN Y ANÁLISIS DEL POTENCIAL EÓLICO.....	23
5.3.1 VELOCIDAD MEDIA ANUAL.....	23
5.3.2 RUGOSIDAD SUPERFICIAL .....	24
5.3.3 CARACTERÍSTICAS DEL RECURSO EÓLICO .....	25
5.4 DENSIDAD DE POTENCIA EÓLICA .....	26
5.4.1 DENSIDAD DEL AIRE .....	26
5.5 DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL.....	26
5.6 PERFIL DE VELOCIDADES .....	27
CAPÍTULO 6. CARACTERIZACIÓN DE LOS AEROGENERADORES .....	29
6.1 CLASES DE AEROGENERADORES .....	29
6.2 MODELOS DE AEROGENERADOR COMPATIBLES .....	30
6.3 PRODUCCIÓN ENERGÉTICA DE LOS MODELOS DE AEROGENERADOR .....	35
6.4 ELECCIÓN DEL MODELO .....	40

CAPÍTULO 7. DISEÑO DEL PARQUE EÓLICO.....	42
7.1 EFECTOS MODIFICADORES DEL VIENTO.....	42
7.1.1 EFECTO PARQUE.....	42
7.1.2 EFECTO COLINA .....	43
7.2 DISPOSICIÓN AEROGENERADORES .....	43
7.2.1 ALTERNATIVA A .....	44
7.2.2 ALTERNATIVA B .....	46
7.2.3 ALTERNATIVA C .....	47
7.3 CÁLCULO DE LA ENERGÍA PRODUCIDA POR EL PARQUE.....	49
CAPÍTULO 8. ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL .....	51
8.1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO .....	51
8.2 INVENTARIO AMBIENTAL .....	51
8.2.1 CLIMATOLOGÍA.....	51
8.2.2 SISMOLOGÍA.....	53
8.2.3 COMPOSICIÓN DEL SUELO Y RELIEVE .....	54
8.2.4 USOS DE LOS SUELOS .....	54
8.2.5 FLORA .....	55
8.2.6 FAUNA .....	55
8.2.7 ESPACIOS NATURALES.....	56
8.2.8 HIDROLOGÍA.....	57
8.2.9 SOCIOECONOMÍA.....	57
8.3 IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS.....	57
8.4 FACTORES AMBIENTALES AFECTADOS.....	58
8.5 EVALUACIÓN DE IMPACTOS. MATRIZ DE LEOPOLD .....	59
8.6 MEDIDAS PREVENTIVAS Y CORRECTORAS .....	64
8.6.1 RUIDOS Y VIBRACIONES .....	64
8.6.2 CALIDAD DEL AIRE .....	64
8.6.3 SUELO Y EROSIÓN.....	64
8.6.4 IMPACTO VISUAL.....	65
8.6.5 FLORA .....	65
8.6.6 FAUNA .....	65
CAPÍTULO 9. ESTUDIO DE VIABILIDAD ECONÓMICA.....	66
9.1 COSTES INICIALES .....	66
9.2 COSTES DE EXPLOTACIÓN .....	66
9.3 INGRESOS .....	67
9.4 ANÁLISIS DE EMISIONES.....	67

9.5 ANÁLISIS FINANCIERO .....	68
9.6 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD .....	69
CAPÍTULO 10. CONCLUSIONES .....	71
CAPÍTULO 11. REFERENCIAS .....	72

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 - POTENCIA EÓLICA POR COMUNIDADES AUTÓNOMAS. FUENTE: ELABORACIÓN AEE .....	15
TABLA 2-ESPACIOS NATURALES PROTEGIDOS. FUENTE: CONSELLERIA D'INFRASTRUCTURES, TERRITORI I MEDI AMBIENT .....	22
TABLA 3 - DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL. FUENTE: ABB. LIBRO PLANTAS EÓLICAS (CUADERNO DE APLICACIONES TÉCNICAS Nº12) .....	27
TABLA 4 - VALORES C Y K .....	27
TABLA 5 - TABLA COEFICIENTE ALFA. FUENTE: ABB. LIBRO PLANTAS EÓLICAS (CUADERNO DE APLICACIONES TÉCNICAS Nº12) .....	28
TABLA 6-PARÁMETROS CLÁSICOS PARA LAS CLASES DE AEROGENERADORES. FUENTE: ABB. LIBRO PLANTAS EÓLICAS (CUADERNO DE APLICACIONES TÉCNICAS Nº12).....	29
TABLA 7: AEROGENERADORES PRESELECCIONADOS .....	30
TABLA 8-ESPECIFICACIONES TÉCNICAS E82. FUENTE: WIND-TURBINE-MODELS [14] .....	30
TABLA 9-ESPECIFICACIONES TÉCNICAS E115. FUENTE: WIND-TURBINE-MODELS .....	31
TABLA 10-ESPECIFICACIONES TÉCNICAS G128/5.0. FUENTE: WIND-TURBINE-MODELS.....	32
TABLA 11-ESPECIFICACIONES TÉCNICAS B76/2000. FUENTE: WIND-TURBINE-MODELS .....	32
TABLA 12-ESPECIFICACIONES TÉCNICAS LEITWIND LTW101/3000. FUENTE: WIND-TURBINE-MODELS ...	33
TABLA 13-ESPECIFICACIONES TÉCNICAS MULTIBRID M5000. FUENTE: WIND-TURBINE-MODELS .....	34
TABLA 14-TABLA CURVA DE POTENCIA CORREGIDA MODELOS DE 2 MW .....	36
TABLA 15-TABLA CURVA DE POTENCIA CORREGIDA MODELOS 3.0 MW .....	37
TABLA 16-TABLA CURVA DE POTENCIA CORREGIDA MODELOS 5.0 MW .....	38
TABLA 17-TABLA DE ENERGÍA PRODUCIDA EN CADA SECTOR .....	39
TABLA 18-TABLA DE FRECUENCIAS DE CADA SECTOR DE LA ROSA DE LOS VIENTOS. FUENTE: GLOBAL WIND ATLAS.....	39
TABLA 19- ENERGÍA PRODUCIDA BRUTA ANUAL DE LOS MODELOS PRESELECCIONADOS .....	40
TABLA 20-TABLA HORAS EQUIVALENTES Y FACTOR DE CARGA .....	40
TABLA 21 - RESUMEN ENERGÍA PARQUE EÓLICO .....	41
TABLA 22-TABLA DE POSICIÓN EXACTA DE LOS AEROGENERADORES DISEÑO A .....	46
TABLA 23-TABLA DE POSICIÓN EXACTA DE LOS AEROGENERADORES DISEÑO B.....	47
TABLA 24-TABLA DE POSICIÓN EXACTA DE LOS AEROGENERADORES DISEÑO C.....	49
TABLA 25 - ENERGÍA DISEÑO A.....	49
TABLA 26 - ENERGÍA DISEÑO B.....	50
TABLA 27 - ENERGÍA DISEÑO C.....	50
TABLA 28-DATOS HISTÓRICOS DEL TIEMPO EN AYORA. FUENTE: CLIMATE-DATA.ORG .....	52
TABLA 29 - FASE DE CONSTRUCCIÓN .....	61
TABLA 30 - FASE DE EXPLOTACIÓN.....	62
TABLA 31 - FASE DESMANTELAMIENTO .....	63
TABLA 32 – RESUMEN CÁLCULOS INVERSIÓN .....	66
TABLA 33 - VIDA ÚTIL SEGÚN EL TIPO DE INSTALACIÓN. FUENTE: ORDEN IET/1045/2014 .....	68
TABLA 34. VALORES DEL VAN Y EL TIR DEL PROYECTO. FUENTE: RETSCREEN .....	69

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 - ENERGÍA GENERADA A NIVEL MUNDIAL. FUENTE: GWEC .....	12
FIGURA 2 - EVOLUCIÓN DEL INCREMENTO DE POTENCIA EÓLICA 2016-2020. FUENTE: GWEC .....	12
FIGURA 3 - NUEVA POTENCIA INSTALADA TERRESTRE Y MARINA EN EUROPA EN 2020. FUENTE: WINDEUROPE [10] .....	13
FIGURA 4 - COBERTURA DE LA DEMANDA ELÉCTRICA POR EÓLICA POR CC.AA(%). FUENTE: REE .....	14
FIGURA 5 - PARQUES EÓLICOS INSTALADOS EN LA COMUNIDAD VALENCIANA. FUENTE: AEE .....	16
FIGURA 6 - PLANO DE ZONAS DE APROVECHAMIENTO EÓLICO DE LA COMUNIDAD VALENCIANA. FUENTE: GENERALITAT VALENCIANA .....	18
FIGURA 7 - VIENTO MEDIO COMUNIDAD VALENCIANA. FUENTE: ABB (CUADERNO DE APLICACIONES TÉCNICAS Nº12) [12] .....	19
FIGURA 8 - DETALLE DE PARQUES EÓLICOS INSTALADOS EN PROVINCIA DE VALENCIA. FUENTE: AEE ....	20
FIGURA 9 - IMAGEN DE VALLE DE COFRENTES. FUENTE: VISOR DE CARTOGRAFÍA DE LA COMUNIDAD VALENCIANA .....	21
FIGURA 10 - EMPLAZAMIENTO SELECCIONADO. FUENTE: VISOR DE CARTOGRAFÍA DE LA COMUNIDAD VALENCIANA .....	22
FIGURA 11 - VELOCIDAD DEL VIENTO. FUENTE: GLOBAL WIND ATLAS .....	23
FIGURA 12-VELOCIDAD MEDIA ANUAL. FUENTE: GLOBAL WIND ATLAS .....	24
FIGURA 13-RUGOSIDAD DEL TERRENO. FUENTE: GLOBAL WIND ATLAS .....	25
FIGURA 14 - ROSA DE LOS VIENTOS VALLE DE COFRENTES. FUENTE: GLOBAL WIND ATLAS .....	25
FIGURA 15-CURVA DE POTENCIA AEROGENERADOR E82. FUENTE: WIND-TURBINE-MODELS .....	31
FIGURA 16-CURVA DE POTENCIA AEROGENERADOR E115. FUENTE: WIND-TURBINE-MODELS .....	31
FIGURA 17-CURVA DE POTENCIA G128/5.0. FUENTE: WIND-TURBINE-MODELS.....	32
FIGURA 18-CURVA DE POTENCIA AEROGENERADOR B76/2000. FUENTE: WIND-TURBINE-MODELS .....	33
FIGURA 19-CURVA DE POTENCIA AEROGENERADOR LEITWIND LTW101/3000. FUENTE: WIND-TURBINE- MODELS .....	33
FIGURA 20-CURVA DE POTENCIA AEROGENERADOR MULTIBRID M5000. FUENTE: WIND-TURBINE- MODELS .....	34
FIGURA 21-EVOLUCIÓN ANUAL TEMPERATURA VALLE DE AYORA. FUENTE [METEOBLUE] .....	35
FIGURA 22-REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE LA ESTELA. EFECTO PARQUE. FUENTE: APUNTES TECNOLOGÍA ENERGÉTICA .....	43
FIGURA 23-EMPLAZAMIENTO SELECCIONADO. FUENTE: GOOGLE MAPS .....	44
FIGURA 24-FOTOS DEL AEROGENERADOR E82/2000. FUENTE: THEWINDPOWER .....	45
FIGURA 25-DISEÑO A. FUENTE: VISOR CARTOGRÁFICO DE LA COMUNIDAD VALENCIANA .....	45
FIGURA 26-FOTOS DEL AEROGENERADOR E115. FUENTE [WIND-TURBINE-MODELS] .....	46
FIGURA 27-DISEÑO B. FUENTE: VISOR CARTOGRÁFICO DE LA COMUNIDAD VALENCIANA.....	47
FIGURA 28-FOTOS DEL AEROGENERADOR G128.5.0. FUENTE [WIND-TURBINE-MODELS] .....	48
FIGURA 29-DISEÑO C. FUENTE: VISOR CARTOGRÁFICO DE LA COMUNIDAD VALENCIANA.....	48
FIGURA 30-CLIMOGRAMA DE AYORA. FUENTE: CLIMATE-DATA.ORG .....	52
FIGURA 31-MAPA DE SISMOLOGÍA. FUENTE: INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL .....	53
FIGURA 32 - MAPA GEOLÓGICO DE AYORA. FUENTE: INSTITUTO GEOLÓGICO Y MINERO DE ESPAÑA ....	54
FIGURA 33- RESUMEN DE REDUCCIÓN DE EMISIONES. FUENTE: RETSCREEN .....	68
FIGURA 34: GRÁFICO DE FLUJO DE CAJA ACUMULADO. FUENTE: RETSCREEN .....	69
FIGURA 35. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD SOBRE EL TIR. FUENTE: RETSCREEN.....	70
FIGURA 36. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD SOBRE EL VAN. FUENTE: RETSCREEN.....	70

## CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 OBJETO DEL TRABAJO FINAL DE GRADO

El objeto del Trabajo Final de Grado es el estudio de viabilidad de una instalación de aerogeneradores en la zona de Ayora, inscrita en la zona eólica número 12 de la Comunidad Valenciana, provincia de Valencia. Se va a dotar al parque eólico de una potencia total instalada de 30 MW mediante el estudio de diferentes tipos de aerogeneradores, así como los distintos posicionamientos que se puede hacer de estos para maximizar la energía producida. Finalmente, se realiza el estudio de impacto ambiental para ver cómo afecta al entorno y el estudio económico para comprobar si es rentable.

### 1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Este proyecto se enmarca en la Agenda 2030 para Desarrollo Sostenible [1], dentro del Objetivo 7, que trata de garantizar el acceso a una *“Energía asequible, segura y no contaminante”* que España y la Comunidad Valenciana se han comprometido a seguir. Los datos destacables sobre la energía a nivel mundial, obtenidos de la Agenda 2030 para Desarrollo Sostenible, son que el 13% de la población aún no tiene acceso a electricidad, que 3.000 millones de personas dependen de la madera, el carbón vegetal o los desechos de origen animal para calentar la comida, que la energía es el factor que representa el 60% de todas las emisiones mundiales de efecto invernadero y que en 2015 el 17,5% del consumo final de energía fue de energías renovables.

Por ello, este proyecto busca contribuir a aumentar la proporción de energía renovable en el conjunto de fuentes energéticas, utilizando para ello la producción de energía renovable con mayor potencial de crecimiento como es la energía eólica. A pesar de ello, este tipo de energía tiene un importante impacto visual en el medio, por lo que es importante elegir la zona idónea donde hacer la instalación. En cuanto a la Comunidad Valenciana, hay trazado el Plan Eólico [2], acuerdo de 26 de junio de 2001, al cual se le han realizado modificaciones en 2017 y en 2019, para realizar actualizaciones y cambios sobre las zonas denominadas como aptas.

Concretamente, este proyecto se apoya sobre el Decreto Ley 14/2020 [3], que habla sobre la necesidad de acelerar la implantación de instalaciones para el aprovechamiento de las energías renovables por la emergencia climática y la necesidad de la urgente reactivación económica.

### 1.3 ALCANCE DEL PROYECTO

El presente trabajo tiene como objetivo diseñar un parque eólico, operación que requiere de los siguientes pasos para obtener la instalación de aerogeneradores óptima:

- Potencial eólico de la zona. Se procede al estudio del viento en la zona mediante las velocidades medias, distribución de Weibull, rugosidad, densidad de potencia del viento



y rosa de los vientos. Dichos datos se van a obtener del IDAE [4] y el recurso Global Wind Atlas [5].

- Elección de los tipos de aerogeneradores entre los distintos diseños proporcionados por los fabricantes. Se van a estudiar seis tipos de aerogeneradores, analizando las correspondientes curvas de potencia para elegir los tres modelos más energéticamente rentables.
- Diseñar en la misma zona tres distribuciones del parque eólico, con los tipos de aerogenerador escogidos después del estudio. De esta forma obtener el diseño óptimo en cuanto a mayor productividad energética se refiere.
- Elaboración del Estudio de Impacto Ambiental del parque eólico a instalar. Evaluar la repercusión que tiene este proyecto en la zona a instalar, además de aplicar medidas preventivas y correctoras para preservar la flora y la fauna propias del lugar.
- Elaboración del Estudio de Viabilidad Económica del proyecto, para así estudiar la rentabilidad de dicho parque en esta zona, en comparación con distintos parques eólicos y distintos recursos energéticos actuales.
- Elaboración del presupuesto.

## CAPÍTULO 2. NORMATIVA

A la hora de realizar el estudio de una instalación se ha de tener en cuenta la legislación relativa a los factores que afectan a la energía eólica, como son el medio ambiente y la producción de energía eléctrica. En este capítulo se resume la legislación actual que se va a respetar en este proyecto, haciendo el desglose a distintos niveles, siendo de especial importancia la legislación autonómica para este trabajo.

### 2.1 INTERNACIONAL

A nivel internacional, la Agencia Internacional de Energías Renovables IRENA [6] es la principal organización que apoya a los países en la transición hacia un futuro energético sostenible, y sirve como plataforma para la cooperación internacional, como centro de excelencia y como repositorio de conocimientos sobre tecnología, políticas, recursos y finanzas en materia de energías renovables.

Junto a IRENA, la ONU con su Convención Marco de Las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) que consta de 197 partes, cuenta con una composición casi universal y es el tratado precursor del Acuerdo de París sobre el cambio climático de 2015 y del Protocolo de Kyoto de 1997.

Por lo tanto, aunque a nivel mundial no se tiene una legislación específica de acuerdo con todos los países, IRENA marca una serie de directrices que en su mayoría siguen y adaptan todos los países.

### 2.2 EUROPEA

- DIRECTIVA 92/43/CEE del Consejo Europeo de 21 de mayo de 1992. En relación con la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres.
- Directiva 2009/28/CE del Parlamento y Consejo Europeo del 23 de abril de 2009. Esta directiva es relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables. Se modifican y derogan las Directivas 2001/77/CE y 2003/30/CE.
- Directiva 2012/27/UE del Parlamento y Consejo Europeo a fecha 25 de octubre del 2012. Directiva que trata la eficiencia energética. Se ven modificadas las Directivas 2009/125/CE y 2010/30/UE. y Se ven derogadas las Directivas 2004/8/CE y 2006/32/CE.
- Directiva 2014/52/UE del Parlamento y Consejo Europeo con fecha 16 de abril del 2014. Se ve modificada la Directiva 2011/92/UE, que evalúa la repercusión de los proyectos tanto públicos como privados relativos al medio ambiente.
- Directiva 2019/904/UE del Parlamento y Consejo Europeo del 5 de junio de 2019. Trata de minimizar el impacto de los productos de plástico en el medio ambiente.

- Comunicación de la Comisión — Directrices sobre ayudas estatales en materia de protección del medio ambiente y energía 2014-2020 para proyectos tanto públicos como privados relativos al medio ambiente.

## 2.3 ESPAÑA

- Real Decreto (RD) 1955/2000 del 1 de diciembre sobre la regulación de las actividades de transporte, comercialización, distribución, procedimientos de autorización de instalaciones de energía eléctrica y suministro.
- RD 1997/1995 del 7 de diciembre que establece medidas para contribuir a garantizar la biodiversidad a través de la conservación de hábitats naturales, flora y fauna autóctonos.
- Ley 34/2007 con fecha 15 de noviembre sobre la calidad del aire y la protección de la atmósfera.
- Ley 42/2007 con fecha 13 de diciembre sobre Patrimonio Natural y Biodiversidad.
- RD 413/2014 del 6 de junio. Regula la actividad de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos. Queda derogado RD 1565/2010 y RD 1614/2010.
- Orden IET/1045/2014 del 16 de junio que aprueba los distintos parámetros retributivos de instalaciones tipo aplicables a instalaciones de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos.
- RD 947/2015 del 16 de octubre, se establecen las convocatorias para otorgar el régimen retributivo específico a nuevas instalaciones de producción de energía eléctrica que funcionen a partir de tecnología tipo eólica.
- RD 359/2017 del 31 de marzo. Queda establecida una convocatoria para otorgar el régimen retributivo específico a nuevas instalaciones de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables en el sistema eléctrico de la península.
- Orden ETU/315/2017 del 6 de abril. Complemento al RD 359/2017 del 31 de marzo por el que se regula el procedimiento de asignación del régimen retributivo en la convocatoria mencionada.
- RD-Ley 15/2018 del 5 de octubre en el que se toman medidas urgentes para la transición energética y para la protección de los distintos consumidores.
- Ley 10/2019 del 22 de febrero que abarca el cambio climático y la transición energética.
- RD 960/2020 del 3 de noviembre en el que se regula el régimen económico de energías renovables para instalaciones de producción de energía eléctrica.

## 2.4 COMUNIDAD VALENCIANA

- Ley 11/1994 del 27 de diciembre que designa los espacios naturales protegidos de la Comunidad Valenciana.
- ACUERDO del 26 de julio del 2001 de la Generalitat Valenciana por el que se aprueba el Plan Eólico de la Comunidad Valenciana.
- Ley 5/2014 a fecha de 25 de julio sobre Ordenación del Territorio, Urbanismo y Paisaje de la Comunidad Valenciana.
- Ley 7/2014 del 22 de diciembre sobre Medidas Fiscales, de Gestión Administrativa y Financiera y de Organización de la Generalitat Valenciana. Interesa en este proyecto el Artículo 15.1 sobre instalaciones de producción, transporte y distribución de energía eléctrica.
- Decreto-Ley 14/2020 del 7 de agosto del Consell sobre las medidas para acelerar la implantación de instalaciones para el aprovechamiento de las energías renovables. Aceleración necesaria por la emergencia climática y la necesidad de la urgente reactivación económica.

## CAPÍTULO 3. ESTADO ACTUAL DE LA ENERGÍA EÓLICA

La energía eólica es la energía renovable que más está creciendo en los últimos años y además, es la energía que más potencial tiene por lo que aumentar y optimizar su uso es un firme objetivo que deben seguir todos los países del mundo. En este capítulo se va a analizar cuál es la situación tecnológica de la energía eólica a distintos niveles.

### 3.1 MARCO MUNDIAL

IRENA en su documento de *Perspectivas mundiales de las energías renovables: Transformación energética 2020-2050* [6] marca la hoja de ruta a seguir por todos los países para conseguir un desarrollo sostenible. Se puede destacar que este documento busca la descarbonización profunda de la industria y la transición energética como método para impulsar el desarrollo socioeconómico con el objetivo final de llegar a cero emisiones.

Según GWEC Market Intelligence [7], en el primer trimestre de 2021 se subastaron casi 7 GW de capacidad de energía eólica a nivel mundial, lo que supuso un aumento interanual del 160% si se compara con el primer trimestre de 2020 que sufrió una desaceleración debida a la primera ola de la pandemia del COVID-19. La mayor parte de la nueva capacidad eólica se debe a tecnología offshore correspondiente a la energía eólica instalada en el mar.

A grandes rasgos, el mercado eólico marino de EE. UU. representó el 64% de la nueva energía eólica, correspondiendo a 3,9 GW adjudicados. El resto de la capacidad eólica marina adjudicada en el primer trimestre de 2021 fue en China, con 1,4 GW. China es el mercado eólico más grande del mundo y también subastó energía eólica terrestre por un total de casi 6 GW. El único otro país que adjudicó capacidad de energía eólica en APAC (Asia-Pacífico) fue India, con un proyecto de energía eólica de 1,2 GW.

No se adjudicó nueva capacidad de energía eólica en el primer trimestre ni en África ni en América Latina. Sin embargo, Sudáfrica anunció 1,6 GW de nueva capacidad eólica terrestre después de abrir la quinta ventana de licitación de energía renovable del país bajo el Programa de Adquisición de Productores de Energía Independiente de Energía Renovable (REIPPP).

Se centra el estudio de este proyecto en la tecnología onshore, correspondiente a la energía producida en el interior terrestre. La figura 1 muestra las proporciones de energía generada a nivel mundial.

Viendo los datos, a pesar de la recuperación del mercado de 2021 frente a 2020, la hoja de ruta Net Zero 2050 publicada por la AIE (Agencia Internacional de la Energía) [8] muestra que se necesita instalar al menos 390 GW de nueva capacidad de energía eólica cada año durante la próxima década para alcanzar que este tipo de energía sea la mayor fuente productora en la combinación energética global.

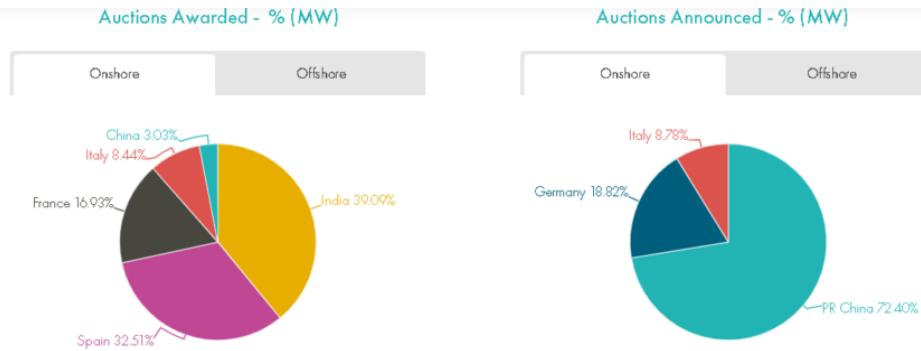


Figura 1 - Energía generada a nivel mundial. Fuente: GWEC



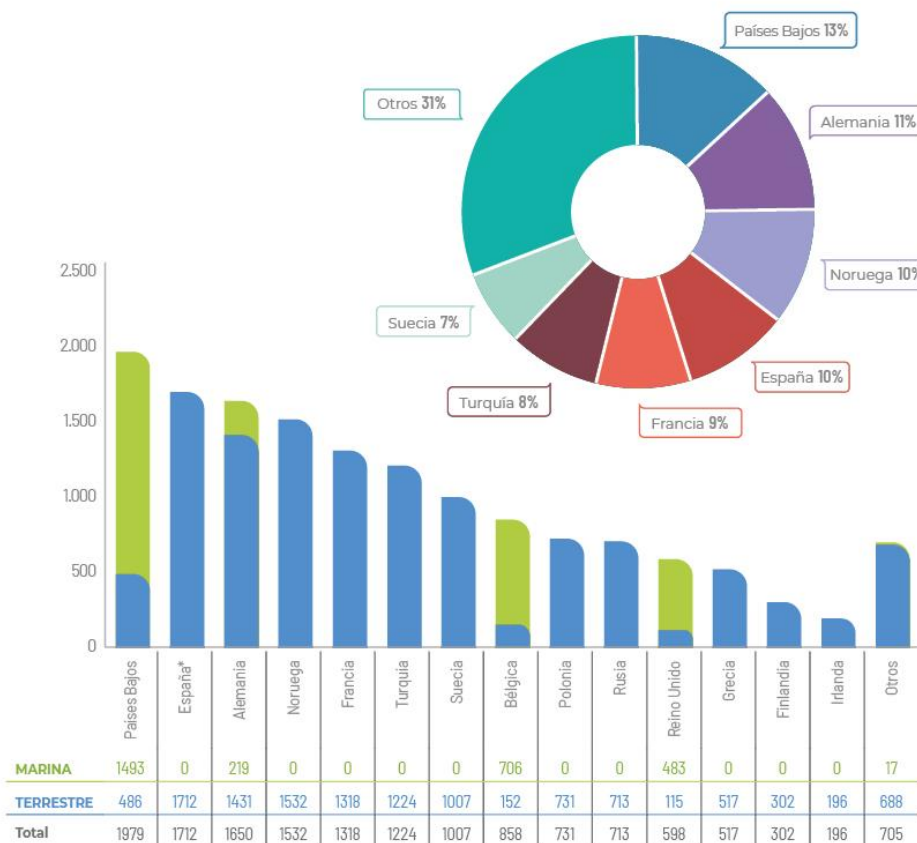
Figura 2 - Evolución del incremento de potencia eólica 2016-2020. Fuente: GWEC

En la figura 2 se observa el incremento de la potencia eólica generada entre 2016 y 2020. Se observa una ligera disminución hasta 2018 y un claro repunte con especial aumento en el año 2020, cuya producción es casi un 100% mayor que la generada en el primer año del gráfico.

### 3.2 MARCO EUROPEO

En total, la Unión Europea cuenta con 220 GW eólicos (onshore y offshore), potencia que es capaz de generar 458 TWh (lo que equivale al consumo de 170 millones de europeos). Además, gracias a la producción de energía eléctrica mediante la tecnología eólica, se ha evitado la emisión de 271 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, y la importación de combustibles fósiles por valor de más de 16.000 millones de euros (Asociación Empresarial Eólica, AAE) [9].

En Europa, casi 2 GW de capacidad eólica terrestre se adjudicaron a través de subastas en España, Italia y Francia, siendo la subasta en Francia la única subasta eólica pura. Además, también se anunciaron otros 6,5 GW de nueva capacidad de subasta en el primer trimestre de 2021 en Europa, incluidos 4,3 GW de energía eólica marina procedente de Polonia, y 700 MW de energía eólica terrestre en Italia y 1500 MW en Alemania.



España\*= los datos de España son de AEE. WindEurope había utilizado los datos provisionales de REE

Figura 3 - Nueva potencia instalada terrestre y marina en Europa en 2020. Fuente: WindEurope [10]

De la figura 3 se puede destacar que los Países Bajos han sido el país que mayor potencia eólica han instalado en 2020 en Europa, siendo la mayor parte de estas instalaciones con tecnología offshore. España se sitúa en el segundo puesto en cuanto a potencia eólica instalada, siendo el país que mayor potencia eólica ha instalado con tecnología Onshore, es decir, potencia terrestre.

### 3.3 MARCO NACIONAL

Obteniendo los datos del Anuario Eólico 2021 elaborado por La Asociación Empresarial Eólica (AEE), se puede observar que en 2020 la energía eólica ha repetido como segunda tecnología de la mezcla energética en España, con una cobertura del 21,9% de la demanda. Además, España es la quinta potencia a nivel mundial en el ranking de países con mayor potencia instalada y la segunda a nivel europeo. En 2020 se instalaron 1720 MW de potencia eólica, que, aun siendo

una buena cifra para el sector, está por debajo de los 2,2 GW anuales que es necesario instalar durante la próxima década para asegurar los objetivos marcados por el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030. Este aumento lleva a la cifra de 27.446 MW de potencia eólica total instalada en España, que está repartida en 1265 parques eólicos en los que existen un total de 21419 aerogeneradores instalados.

Respecto a las comunidades autónomas, Castilla y León es la que cuenta con mayor potencia eólica instalada (6300 MW), seguida por Aragón (4159 MW) que ha sido la que ha destacado por su incremento de potencia eólica en 2020, después de ellas se encuentra Navarra.

Hablando en términos económicos, la energía eólica aporta en torno a 4000 millones de euros a la economía española, un 0,35% del PIB, con unas exportaciones valoradas en 2000 millones de euros y casi 600 millones de euros pagados en impuestos y tributos. El sector eólico emplea en España a aproximadamente 30.000 personas que forman parte de la actividad.

Otro de los objetivos de este proyecto es la obtención de energía limpia para evitar la producción de CO<sub>2</sub>, por lo tanto, hablando en términos medioambientales, según los datos del AEE gracias a la energía eólica se evitan al año 29 millones de toneladas de emisiones de dióxido de carbono.

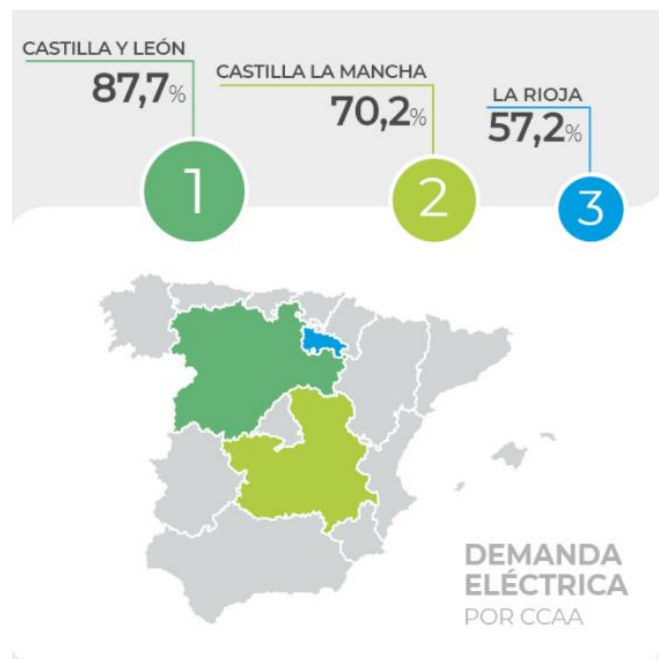


Figura 4 - Cobertura de la demanda eléctrica por eólica por CC.AA(%). Fuente: REE

En la figura 4 obtenida de Red Eléctrica de España [11], se observan las tres comunidades autónomas que más demanda eléctrica han cubierto con la energía eólica. Para realizar un estudio más detallado, en la tabla 1 se muestra la potencia eólica instalada por comunidades autónomas en 2020.

Vistos los resultados de la tabla 1 de la potencia eólica acumulada, correspondiente a la tercera columna de la tabla, se calcula una potencia acumulada total (2020) de 27.446 MW en España.



CCAA	Potencia Instalada en 2020 (MW)	Potencia Acumulada a Cierre de 2020 (MW)	Cuota de Mercado Sobre el Acumulado (%)	Nº de Parques Eólicos
Castilla y León	216	6.300	23,0%	267
Castila La Mancha	65	3.886	14,2%	148
Galicia	24	3.829	14,0%	179
Andalucía	24	3.478	12,7%	162
Aragón	1.051	4.159	15,2%	168
Cataluña	0	1.271	4,6%	47
Comunidad Valenciana	50	1.239	4,5%	39
Navarra	262	1.303	4,7%	58
Asturias	0	590	2,1%	23
La Rioja	0	447	1,6%	14
Islas Canarias	29	450	1,6%	89
Murcia	0	262	1,0%	14
País Vasco	0	153	0,6%	7
Extremadura	0	39	0,1%	1
Cantabria	0	35	0,1%	3
Baleares	0	4	0,0%	46

Tabla 1 - Potencia eólica por comunidades autónomas. Fuente: elaboración AEE

### 3.4 MARCO AUTONÓMICO

La Comunidad Valenciana cuenta con un 9.4% de la demanda eléctrica cubierta por la energía eólica, dato que la sitúa en la décima posición a nivel nacional. Esta energía se genera en 38 parques eólicos que se encuentran en funcionamiento. En la figura 5 se muestra la ubicación aproximada de los parques eólicos, destacando que es la provincia de Valencia la que más potencia eólica tiene instalada.

Los parques eólicos de la Comunidad Valenciana suman un total de 1189 MW, correspondiente al 4.6% de la potencia instalada en España. Además, hay 32 parques eólicos solicitados que aportarían una capacidad de generación de 1400 MW. De estos últimos, 785 MW (correspondientes a 22 parques eólicos) se encuentran en un estado de gestión avanzado.

Recopilando datos en 2020 de la Asociación de Empresas Eólicas (AEE), el reparto de potencia entre provincias en la Comunidad Valenciana es de 586,5 MW en Castellón y de 602,4 MW en Valencia, teniendo Alicante 0 MW instalados por el momento.

En la Comunidad Valenciana hay un total de cinco fabricantes con alguno de sus modelos de aerogenerador instalados. El fabricante que más potencia instalada tiene es Acciona Windpower con 643,5 MW (un 54,12% del total), seguido por Gamesa con 397,3 MW (33,41%). Juntos tienen la gran mayoría de la potencia instalada en la Comunidad Valenciana (87,54%).

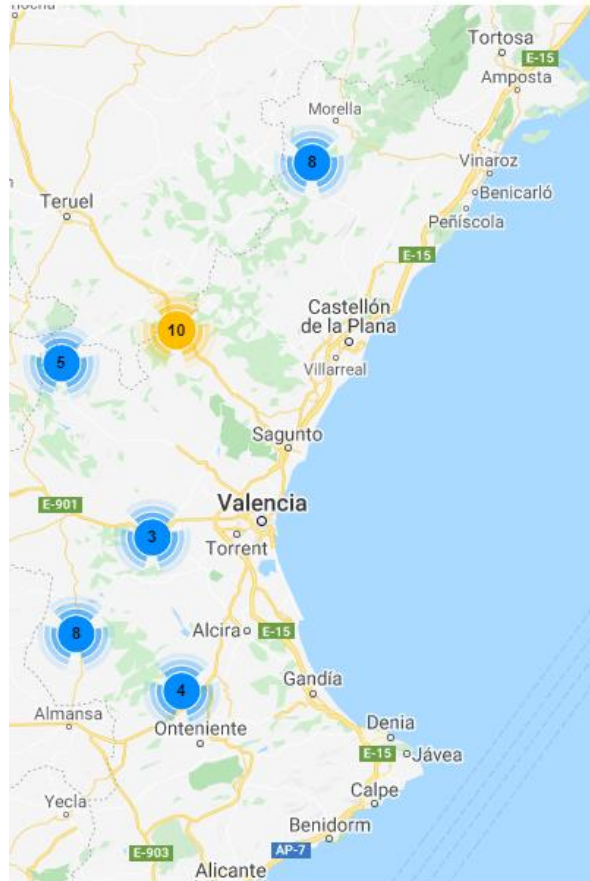


Figura 5 - Parques eólicos instalados en la Comunidad Valenciana. Fuente: AEE

## CAPÍTULO 4. ANÁLISIS DEL EMPLAZAMIENTO

La Comunidad Valenciana tiene un potencial eólico que se cataloga de tipo medio, sin embargo, sobre ella se da una circunstancia muy particular que matiza la valoración del recurso: su desigual distribución territorial. Por lo tanto, aunque en la costa el viento no es generalmente susceptible de aprovechamiento, las alineaciones montañosas de interior alcanzan velocidades próximas a los 7 m/s por lo que se hace viable la instalación de parques eólicos.

Todo lo relativo al aprovechamiento del recurso eólico en esta autonomía lo recoge El Plan Eólico de la Comunidad Valenciana, que se configura como un Plan de Acción Territorial cuyo ámbito de aplicación se circunscribe a la totalidad de la superficie de la Comunidad Valenciana, por lo cual adoptará determinaciones para el conjunto del territorio de ésta. Sin embargo, dado que las instalaciones de aprovechamiento eólico únicamente pueden situarse en aquellas zonas en las cuales existe el recurso eólico, el análisis de las limitaciones medioambientales se centrará en estas zonas, quedando al margen de este el resto del territorio por razones de inexistencia de recurso significativo, o falta de constatación de éste

Por lo tanto, se distinguen en la figura 6 diversas zonas en las que existe recurso eólico y por lo tanto potencialmente podrán ubicarse instalaciones eólicas. Por otro lado, tenemos zonas que por razones ambientales la implantación de instalaciones eólicas está prohibida. También existe territorio cuya aptitud para ser soporte de instalaciones de aprovechamiento eólico no se determina en el Plan.

### 4.1 CRITERIO MEDIOAMBIENTAL

El criterio medioambiental implica la adopción de unos criterios básicos que determinan la exclusión de distintas áreas. Aunque El Plan Eólico tiene el conjunto del territorio valenciano como ámbito de aplicación, solo las áreas donde existe un recurso eólico significativo se someten a análisis.

Las zonas aptas serán zonas que no contradigan ninguno de los seis criterios de exclusión del Plan Eólico de la Comunidad Valenciana. El territorio de esta comunidad autónoma puede ser excluido del Plan Eólico por pertenecer a una de las siguientes zonas:

- **Criterio nº1:** Áreas que se encuentren incluidas en espacios naturales dotados de figuras de protección específica reguladas por la Generalitat Valenciana.
- **Criterio nº2:** Áreas que formen parte de espacios catalogados como Z.E.P.A. (Zona de especial protección para las aves).
- **Criterio nº3:** Zonas Húmedas, bien recogidas en el Convenio RAMSAR o en el Catálogo de Humedales de la Comunidad Valenciana.



GENERALITAT VALÈNCIANA

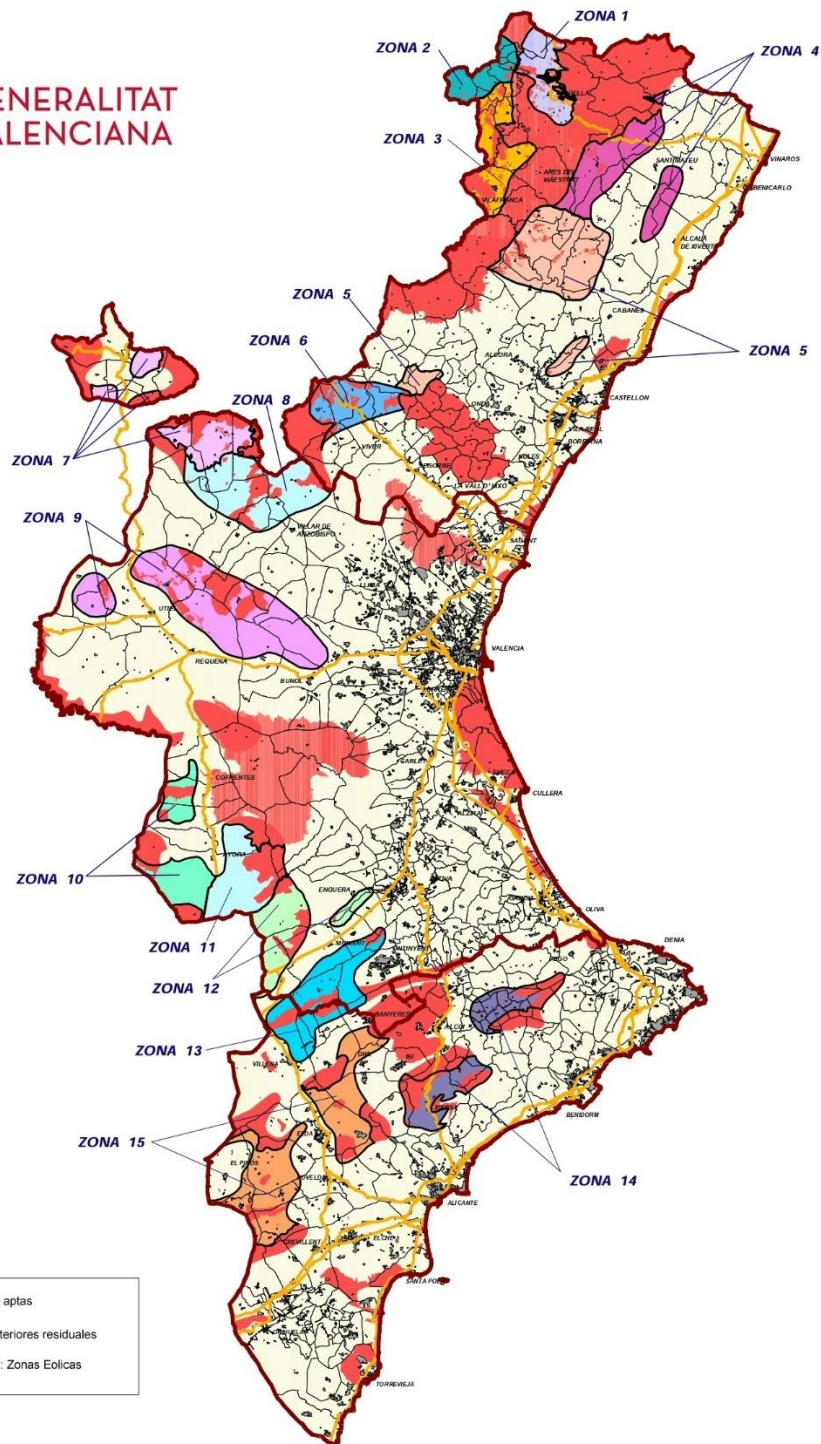


Figura 6 - Plano de zonas de aprovechamiento eólico de la Comunidad Valenciana. Fuente: Generalitat Valenciana

- **Criterio nº4:** Áreas que formen parte de Reservas Nacionales de Caza.
- **Criterio nº5:** Áreas cubiertas por masas boscosas de especies arbóreas relevantes en la Comunidad Valenciana o que se encuentren presentes, aunque no sean dominantes.
- **Criterio nº6:** Áreas que deben quedar excluidas por consideraciones territoriales de carácter global con relación a la actividad del aprovechamiento eólico.

## 4.2 CRITERIO ENERGÉTICO

Uno de los principales parámetros para la obtención de energía eólica es la velocidad del viento. La velocidad del viento de cada región está registrada por el mapa de vientos. El Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) proporciona el mapa eólico de la Comunidad Valenciana para una altura de 80 metros respecto a la cota del terreno. Este Atlas Eólico clasifica el territorio por colores dependiendo de los intervalos de velocidad del viento conocido en las zonas de estudio.

Las zonas más interesantes corresponden a las coloreadas en verde oscuro, correspondiente a un viento medio entre 6 y 6,5 m/s.



Figura 7 - Viento medio Comunidad Valenciana. Fuente: ABB (Cuaderno de aplicaciones técnicas nº12) [12]

### 4.3 CRITERIO DE UBICACIÓN

Además de los criterios energético y medioambiental, existe el condicionante de las propiedades del emplazamiento. Entre ellos se encuentra que haya parques eólicos construidos en la zona y la disposición de líneas eléctricas próximas.

En el apartado de marco autonómico (3.4) se ha visto un mapa sobre los parques eólicos construidos en la Comunidad Valenciana. Este proyecto se va a guiar por este mapa para elegir la zona concreta donde situar otra posible instalación. Se puede observar que la zona del interior de la provincia de Valencia es la zona en la que más parques eólicos hay construidos, por tanto, se plantea la posibilidad de que sea una zona susceptible de una mayor explotación para optimizar el recurso eólico.



**Figura 8 - Detalle de parques eólicos instalados en provincia de Valencia. Fuente: AEE**

La zona escogida en este proyecto corresponde a la zona 11 en el mapa, que en el Plan Eólico de la Comunidad Valenciana se sitúa en el territorio 15, que fue uno de los cuatro últimos que se adscribieron a este plan. El área se denomina Sierra del Boquerón, se ubica al oeste de la provincia de Valencia y afecta a la comarca de Ayora. Esta comarca engloba los municipios de Cofrentes, Jalance y Jarafuel, con una amplitud de 79.08 kilómetros cuadrados.

## CAPÍTULO 5. CARACTERIZACIÓN DEL RECURSO EÓLICO

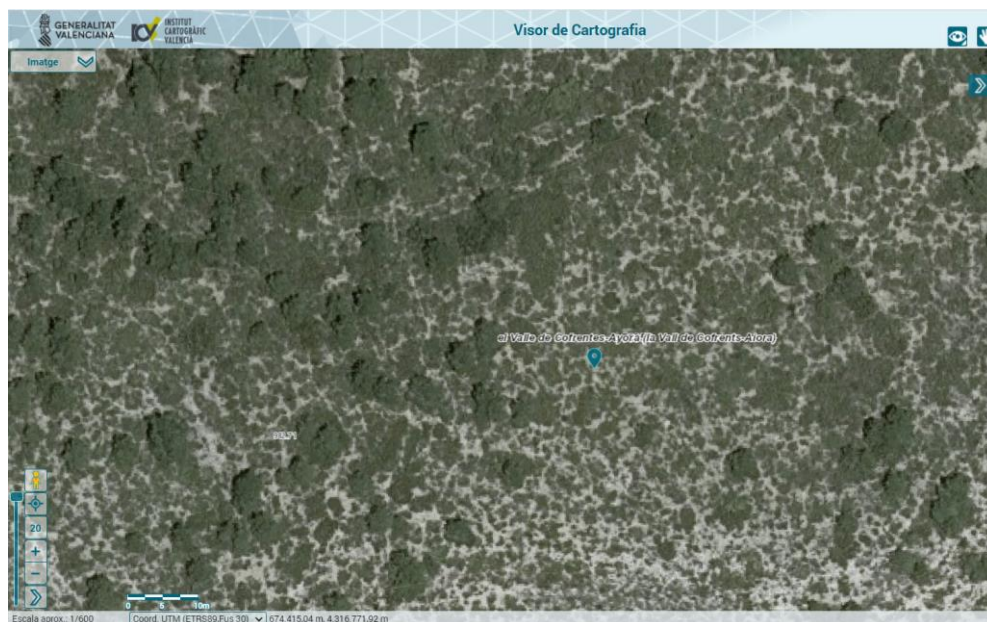
Desde un punto de vista energético es importante caracterizar el recurso eólico atendiendo a la situación del municipio, las figuras ambientales y la rugosidad media anual, entre otras. En este capítulo se procede a realizar dicho estudio, para poder diseñar posteriormente el parque eólico con el aerogenerador óptimo dadas las condiciones del emplazamiento elegido.

### 5.1 SITUACIÓN DEL MUNICIPIO

El emplazamiento elegido para la instalación de aerogeneradores es El Valle de Cofrentes, en Ayora. Esta elección se realiza por las condiciones del emplazamiento que pronostican buenos resultados energéticos.

El Valle de Cofrentes, en Ayora, es una comarca perteneciente al interior de la provincia de Valencia que se encuentra limítrofe con la provincia de Albacete. Geográficamente, limita por el norte con las comarcas de Requena-Utiel y la Hoya de Buñol, al este con la comarca del Canal de Navarrés, al oeste con La Manchuela (Albacete) y al sur con el Corredor de Almansa (Albacete también). El patrimonio natural y monumental de la comarca es rico y variado, aspectos en los que se ahondará posteriormente.

Ayora cuenta con una población (datos de 2019) de 9835 habitantes, con una densidad de 8,62 habitantes por kilómetro cuadrado.



**Figura 9 - Imagen de Valle de Cofrentes. Fuente: Visor de cartografía de la Comunidad Valenciana**

La forma de acceder a Ayora desde Valencia es por la carretera comarcal CV-322, que presenta la desventaja de que atraviesa toda la sierra, por lo que la alternativa más rápida es viajar por la A-3 hasta Requena, y a partir de ahí coger la carretera nacional N-330 para acceder desde Cofrentes hasta Ayora.

## 5.2 FIGURAS AMBIENTALES

Los espacios naturales protegidos se clasifican en distintas figuras en función de los bienes y valores que se quieren proteger, y es uno de los factores a tener en cuenta a la hora de elegir el emplazamiento del parque eólico.

En el Valle de Cofrentes-Ayora se encuentran distintas figuras, cuya superficie se recoge en la tabla 2.

Figuras de protección	Abreviatura	Superficie (ha)
Lugar de interés comunitario	LIC	57.408,50
Zona Especial de Conservación	ZEC	57.408,30
Zona especial de protección para las aves	ZEPA	55.868,57
Zona húmeda	ZH	610,05
Microreserva	Mcr	25,21
Cueva	Cv	--

Tabla 2-Espacios naturales protegidos. Fuente: Conselleria d'Infraestructures, Territori i Medi Ambient

Es importante comprobar que no existe inconveniente en la zona elegida para el parque eólico, comprobando que no sea una reserva natural. Se procede a realizar dicho seguimiento gracias al visor cartográfico de la Comunidad Valenciana, como se muestra en la figura 10.

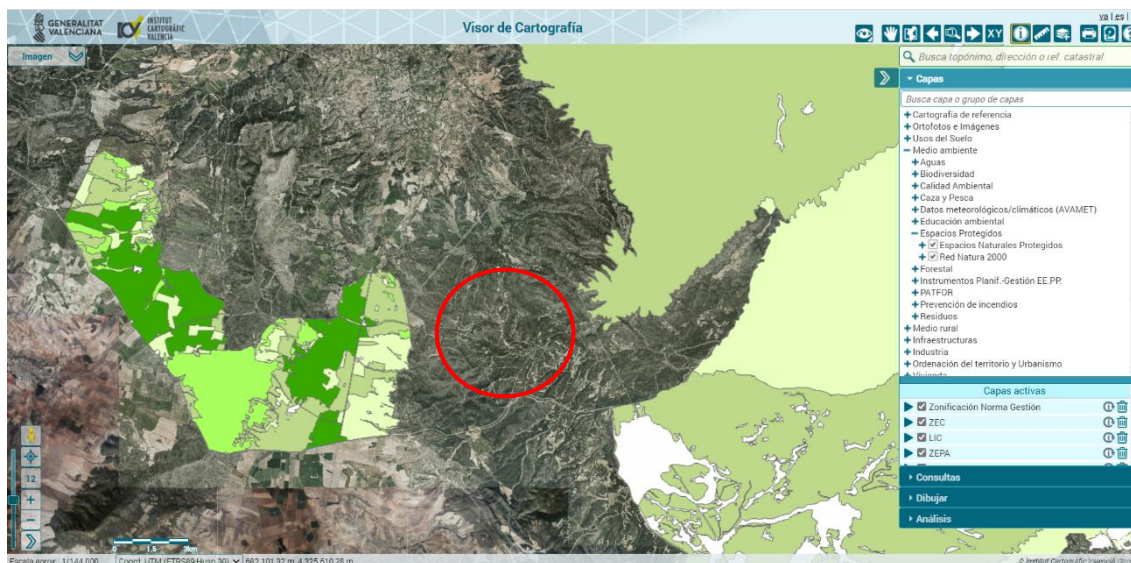


Figura 10 - Emplazamiento seleccionado. Fuente: Visor de Cartografía de la Comunidad Valenciana

Por lo tanto, el emplazamiento escogido dentro del círculo rojo se encuentra fuera de las zonas coloreadas correspondientes a zonas de reserva natural, por lo que es un lugar adecuado para realizar el diseño del parque eólico en cuanto al criterio medioambiental.



### 5.3 VALORACIÓN Y ANÁLISIS DEL POTENCIAL EÓLICO

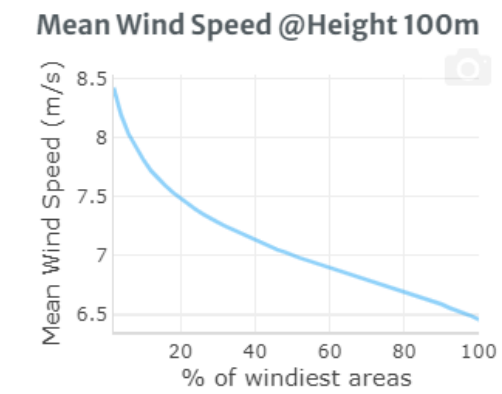
El potencial eólico se define como la energía que se puede obtener del viento. Esta energía es de tipo cinético, causada por la masa de aire en movimiento, por lo tanto, se puede obtener la potencia disponible del viento que atraviesa un volumen de control cilíndrico (las palas del aerogenerador) con la siguiente fórmula:

$$Potencia_{disponible} = \frac{1}{2} \rho A v^3 C_p \quad (1)$$

Se observa que la potencia disponible está muy condicionada por la velocidad del viento ( $v$ ) y además también interviene la densidad del aire ( $\rho$ ) y la superficie del viento barrida por las palas del aerogenerador ( $A$ ). La expresión, llamada Fórmula de Betz termina con el coeficiente  $C_p$ , que se define como la relación entre la potencia extraíble y la potencia incidente, de valor 0,59. En los siguientes apartados se procede a desglosar la aportación de cada uno de estos factores a la zona de estudio, haciendo uso de la herramienta *Global Wind Atlas* que es una aplicación online gratuita diseñada para ayudar a identificar las zonas de gran intensidad de viento, para así poder realizar los cálculos preliminares pertinentes a la hora de diseñar plantas de generación de energía eólica.

#### 5.3.1 VELOCIDAD MEDIA ANUAL

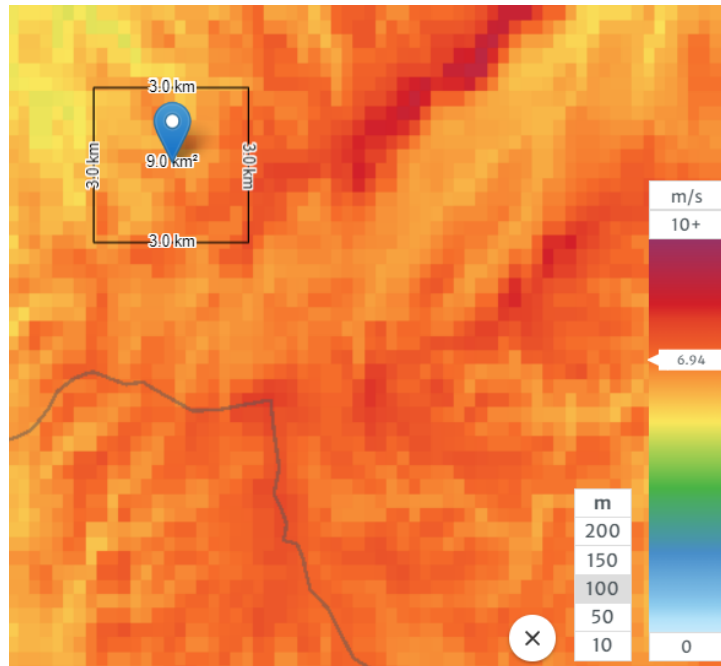
Centrándonos en la zona del Valle de Cofrentes-Ayora, se encuentra que la velocidad media a una altura de 100 metros es superior a los 7,2 m/s. Por lo tanto, se corrobora que el área del presente estudio es una zona apta para albergar una planta de aerogeneradores en cuanto a velocidad del viento se refiere.



**Figura 11 - Velocidad del viento. Fuente: Global Wind Atlas**

En la figura 11, correspondiente a la velocidad del viento en el emplazamiento seleccionado a una altura de 100 metros se observa que se pueden alcanzar picos de velocidad superiores a 7,5 m/s en un 20% de las zonas con más viento.

Se procede al estudio del emplazamiento escogido con la herramienta de Global Wind Atlas. En primer lugar, se observa la velocidad media anual del lugar escogido. Se recogen todos los datos para una altura de 100 metros sobre el terreno, que posteriormente se verá que va a ser aproximadamente la altura de la torre escogida del aerogenerador.



**Figura 12-Velocidad media anual. Fuente: Global Wind Atlas**

Haciendo un análisis de la amplia zona del Valle de Cofrentes-Ayora, se observa en la figura 12 que para una altura de 100 metros hay una velocidad media anual mayor de 6 m/s, además hay una zona central interesante de estudio dado la alta velocidad media del viento, observable bajo el color rojo intenso, donde se pueden alcanzar velocidades de 8.73 m/s.

### 5.3.2 RUGOSIDAD SUPERFICIAL

La rugosidad se define como el conjunto de irregularidades que posee una superficie, en el caso de estudio se refiere a la rugosidad presente en el terreno. Esto es un factor importante de estudio ya que afecta al perfil de velocidades del viento de manera inversa, es decir que, a mayor rugosidad superficial, mayor será la deceleración del viento por lo que peor será el perfil de velocidades y como consecuencia de ello, menos energía se podrá obtener con la estación de aerogeneradores.

En la figura 13 se puede apreciar la rugosidad del terreno, siendo en toda la zona menor de 1,5 metros, encontrando además en la parte central seleccionada, una zona con rugosidades que rondan los 0,2 metros, valores que vamos a considerar preferentes a la hora de seleccionar el punto idóneo de la instalación de aerogeneradores del presente estudio.

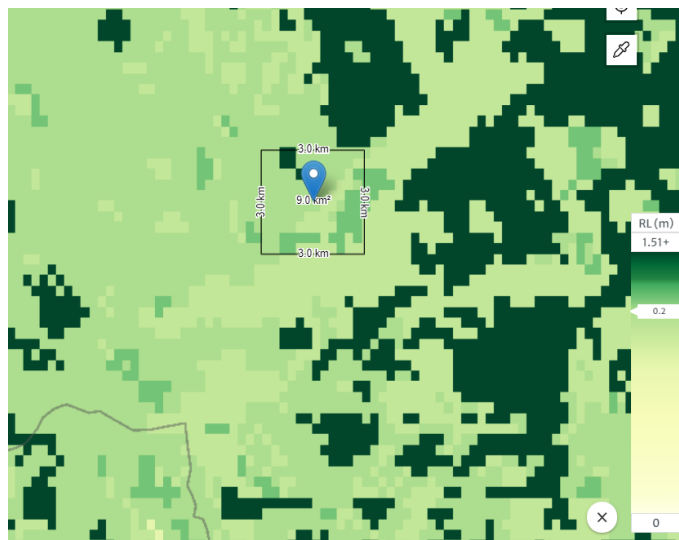


Figura 13-Rugosidad del terreno. Fuente: Global Wind Atlas

### 5.3.3 CARACTERÍSTICAS DEL RECURSO EÓLICO

Se ha comprobado que usando como herramienta la aplicación del Global Wind Atlas se puede estudiar en profundidad las características de la zona de estudio. En este caso, además de la velocidad del viento, es importante analizar la dirección que posee y para ello se va a usar la rosa de los vientos.

La rosa de los vientos informa sobre las direcciones en las que el viento sopla con mayor frecuencia e intensidad, lo cual es muy interesante ya que el objetivo es maximizar la energía obtenida por los aerogeneradores. La orientación para la que se obtiene más rendimiento es posicionando los aerogeneradores en dirección perpendicular a la dirección principal del viento.

La rosa se divide en doce sectores de 30° cada uno, ordenados desde la dirección Norte en sentido horario. El radio de la cuña de cada sector proporciona la intensidad del viento analizado. La figura 14 muestra la rosa de los vientos para el emplazamiento escogido en el presente estudio.

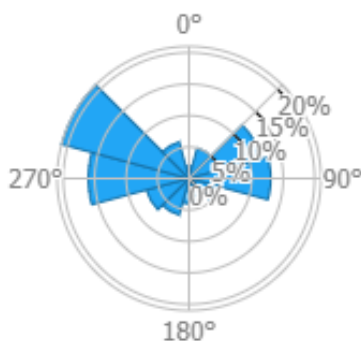


Figura 14 - Rosa de los vientos Valle de Cofrentes. Fuente: Global Wind Atlas

A pesar de la amplia zona de estudio, se observa una clara dirección del viento correspondiente a la orientación (280-290 grados), parte noroeste, por lo que se debe elegir la orientación completamente perpendicular de las aspas del aerogenerador.

## 5.4 DENSIDAD DE POTENCIA EÓLICA

La densidad de potencia eólica expresa la cantidad de potencia por metro cuadrado que puede ser aprovechable del viento. Gracias a ella, es posible calcular la cantidad de potencia generable por la instalación, teniendo en cuenta que puede convertirse como máximo en torno al 59% de la energía cinética en energía mecánica.

Esta característica viene regida por la Ley de Betz, formulada por el físico alemán Albert Betz en 1919. La ley deriva del principio de conservación de la masa y el momento de la corriente de aire que fluye a través de un “disco accionador” idealizado que extrae energía de la corriente de viento. La ley dice que ninguna turbina puede capturar más de 16/27 (conocido como coeficiente de Betz) de la energía cinética del viento. En la práctica, las turbinas eólicas alcanzan un pico máximo entre el 75-80% del límite de Betz.

### 5.4.1 DENSIDAD DEL AIRE

La densidad de potencia eólica ha quedado vista que depende directamente de la densidad del aire, la cual depende de la temperatura y la altura sobre el nivel del mar.

$$\rho = \frac{P_0}{TR} e^{-\frac{gz}{RT}} \quad (2)$$

La cota z referida a la altura, se va a tomar como la altura de la zona estudiada respecto al nivel del mar, correspondiente a 850 metros más la altura del buje, que se especificará con la elección del aerogenerador pero que se va a tomar en torno a 100 metros, con lo cual el valor que se va a utilizar para los cálculos es el de 950 metros.

## 5.5 DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL

Otro de los aspectos que hay que tener en cuenta para completar el estudio del viento en la zona escogida es la caracterización de la variación de la velocidad del viento, para ello se va a utilizar la distribución de Weibull, que debe su nombre al matemático sueco Waloddi Weibull, que la describió en 1951.

La distribución de Weibull es una herramienta estadística que permite mostrar la probabilidad que hay de que el viento sople a una determinada velocidad. La expresión de esta distribución se recoge en la ecuación 3.

$$P(v) = \frac{k}{A} * \left(\frac{v}{C}\right)^{k-1} * e^{-(v/C)^k} \quad (3)$$

La distribución de Weibull describe aerológicamente un lugar y queda determinada conociendo dos parámetros. Por un lado,  $A$ , correspondiente al factor de escala y por otro,  $k$ , llamado factor de forma. Así, para un determinado valor de velocidad ( $v$ ) la función de densidad de probabilidad proporciona la información que queremos.

El factor de escala ( $A$ ) se expresa en m/s y se relaciona de forma directa con la velocidad media. Por otro lado, el factor de forma ( $k$ ) es adimensional y su papel es modificar la simetría de la distribución, siendo los valores cercanos a 1 los correspondientes a distribuciones muy asimétricas, mientras que valores elevados ( $k > 2-3$ ) corresponden a distribuciones simétricas. Los valores típicos se recogen en la siguiente tabla:

FACTOR DE FORMA ( $k$ )	MORFOLOGÍA DEL TERRENO	RÉGIMEN DE VIENTOS
1.2-1.7	Lugares montañosos	Muy variable
1.8-2.5	Grandes llanuras y colinas	Variable
2.5-3.0	Campo abierto	Bastante regular
3.1-3.5	Zonas costeras	Regular
3.5-4.0	Islas	Muy regular

**Tabla 3 - Distribución de Weibull. Fuente: ABB. Libro Plantas Eólicas (Cuaderno de aplicaciones técnicas nº12)**

La tabla 4 recoge los datos del factor de escala y del factor de forma del emplazamiento escogido. Estos datos se han obtenido mediante el uso de Global Wind Atlas.

SECTOR	C	K	SECTOR	C	K
1	7,36	1,354	7	6,2	1,799
2	5,54	1,057	8	7,6	1,787
3	9,81	1,416	9	8,1	1,475
4	9,32	1,963	10	11,91	1,607
5	6,3	1,697	11	14,46	2,107
6	5,33	1,814	12	12,14	2,049

**Tabla 4 - Valores C y k**

## 5.6 PERFIL DE VELOCIDADES

La influencia de la altura sobre el suelo se basa en que la fricción entre el aire y el terreno frena al viento en las proximidades del suelo, provocando un perfil de velocidad en función de la altura (capa límite). Este perfil de velocidad depende de la rugosidad del terreno y de los obstáculos que presente.

El perfil de velocidad del viento en función de la altura se puede calcular con la expresión:

$$V_i = V_0 * \left(\frac{Z_i}{Z_0}\right)^\alpha \quad (4)$$

Esta expresión proporciona la velocidad a una altura  $i$ , conociendo la velocidad a la altura  $z_0$  mediante medidas anemométricas, y la rugosidad del terreno ( $\alpha$ ). La rugosidad se puede determinar preliminarmente con valores indicativos de la siguiente tabla:

<b>Coefficiente <math>\alpha</math></b>	<b>Descripción</b>
0.09	Mar en calma
0.12	Zonas agrícolas abiertas con presencia limitada de obstáculos de poca altura
0.16	Zonas agrícolas abiertas con presencia limitada de obstáculos de altura media (6-8 m)
0.20	Zonas agrícolas con presencia de numerosos obstáculos de altura media (6-8 m)
0.30	Zonas urbanas, bosques

**Tabla 5 - Tabla coeficiente alfa. Fuente: ABB. Libro Plantas Eólicas (Cuaderno de aplicaciones técnicas nº12)**

Para obtener el valor del coeficiente alfa de forma matemática para la altura exacta del emplazamiento escogido se puede recurrir a la siguiente fórmula:

$$\alpha = 0.096 \log Z_0 + 0.016 (\log Z_0)^2 + 0.24 \quad (5)$$

Aplicando a la fórmula la altura de 950 metros respecto al nivel del mar se obtiene un valor de  $\alpha$  igual a 0.66773, usando ahora la ecuación (4) y con el dato de velocidad media del emplazamiento de 7.31 metros por segundo, se podría obtener el perfil de velocidades.

## CAPÍTULO 6. CARACTERIZACIÓN DE LOS AEROGENERADORES

Se debe escoger el aerogenerador comercial que permita obtener el máximo aprovechamiento energético en la ubicación de estudio. Esta selección se realiza mediante una catalogación tipo tabla donde se plasma la marca, modelo, potencia, diámetro de rotor, altura de buje, clase de turbina de viento y tipo de generador.

### 6.1 CLASES DE AEROGENERADORES

Se sigue la Norma IEC 61400 [13] para establecer los requisitos de diseño de la instalación, con el objetivo de protegerla adecuadamente durante su vida útil. La clase de turbina de viento, definida en la normativa IEC 61400-1 (IEC, 2005) es primordial para elegir el aerogenerador, ya que indica la capacidad que tiene para resistir una velocidad e intensidad de turbulencia determinadas a la altura del buje.

Clases de aerogeneradores		I	II	III	S
$V_{ref}$	m/s	50	42,5	37,5	Valores especificados por el diseñador
A	$I_{ref}(-)$	0,16			
B	$I_{ref}(-)$	0,14			
C	$I_{ref}(-)$	0,12			

Tabla 6-Parámetros clásicos para las clases de aerogeneradores. Fuente: ABB. Libro Plantas Eólicas (Cuaderno de aplicaciones técnicas nº12)

Los valores de los parámetros se aplican a la altura del buje y corresponde:

- $V_{ref}$  – velocidad de referencia del viento promediada en 10 minutos
- A – designa la categoría para las características de las turbulencias más altas
- B – designa la categoría para las características de las turbulencias medias
- C – designa la categoría para las características de las turbulencias más bajas
- $I_{ref}$  – valor esperado de la intensidad de turbulencia para 15 metros por segundo.

Un aerogenerador debe diseñarse para soportar con seguridad las condiciones del viento definidas por la clase seleccionada de aerogeneradores. Esta tabla se utiliza para determinar la clase de aerogenerador dependiendo de la velocidad de referencia en la zona de estudio. Para ello se calcula la velocidad media anual con la siguiente expresión:

$$V_{ref} = \frac{V_{media\ anual}}{0.2} \quad (6)$$

Se elige el tipo de aerogenerador atendiendo al criterio de elegir la velocidad de referencia inmediatamente superior a la calculada en el emplazamiento elegido, correspondiente a la calculada con la ecuación 6.

Atendiendo al punto escogido, la velocidad media máxima para una altura de 100 metros es de 8.73 metros por segundo.

## 6.2 MODELOS DE AEROGENERADOR COMPATIBLES

Se procede a estudiar el aerogenerador óptimo para el diseño del parque eólico en estudio. Para ello, se realiza una comparación entre aerogeneradores a distinta potencia y a distinta altura, jugando con los parámetros mencionados.

La siguiente tabla recoge los aerogeneradores preseleccionados, definiendo el modelo, la altura que disponemos de torre, la potencia y el fabricante.

MODELO	POTENCIA (MW)	ALTURA (m)	FABRICANTE
E82/2000	2	78-138	ENERCON
E115/3000	3	92-149	ENERCON
G128/5.0	5	81-140	GAMESA
B76/2000	2	60-100	BONUS
LTW101/3000	3	93-143	LEITWIND
M5000	5	90-102	MULTIBRID

**Tabla 7: Aerogeneradores preseleccionados**

En las siguientes tablas se muestran las características técnicas de los aerogeneradores preseleccionados de los que se va a realizar el estudio. Los fabricantes escogidos en este proyecto son *Enercon* y *Siemens Gamesa*, por ser dos de los principales fabricantes cuyos catálogos públicos proporcionan toda la información necesaria para realizar el presente estudio.

Seguidamente se detallan las características de cada aerogenerador:

- **MODELO ENERCON E82/2000**

<b>POTENCIA</b>	Potencia nominal (MW)	2
<b>ROTOR</b>	Diámetro (m)	82
	Velocidad mín (vuelta/min)	6
	Velocidad máx (vuelta/min)	18
	Densidad de potencia (W/m <sup>2</sup> )	378.7
<b>TORRE</b>	Altura mínima (m)	78
	Altura máxima (m)	138
	Altura escogida (m)	93
<b>PALAS</b>	Número de palas	3
<b>VIENTO</b>	Velocidad mín (m/s)	2
	Velocidad nominal (m/s)	12,5
	Velocidad máx (m/s)	25
	Clase de viento	IEC IIa (WZ III)

**Tabla 8-Especificaciones técnicas E82. Fuente: wind-turbine-models [14]**



Curva de potencia

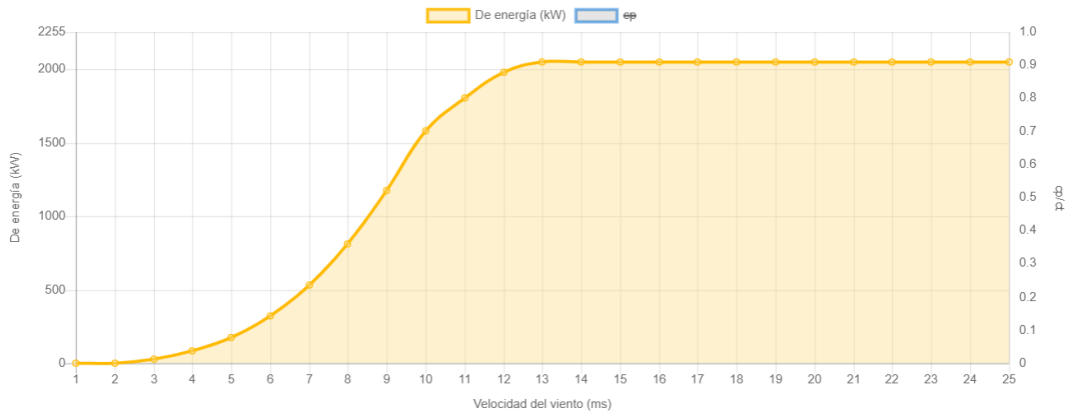


Figura 15-Curva de potencia aerogenerador E82. Fuente: wind-turbine-models

• **MODELO E115/3000 3MW**

<b>POTENCIA</b>	Potencia nominal (MW)	3
<b>ROTOR</b>	Diámetro (m)	115.7
	Velocidad mín (vuelta/min)	4
	Velocidad máx (vuelta/min)	12.8
	Densidad de potencia (W/m2)	285.3
<b>TORRE</b>	Altura mínima (m)	92
	Altura máxima (m)	149
	Altura escogida (m)	93
<b>PALAS</b>	Número de palas	3
<b>VIENTO</b>	Velocidad mín (m/s)	2
	Velocidad nominal (m/s)	12
	Velocidad máx (m/s)	25
	Clase de viento	IEC IIa (WZ III)

Tabla 9-Especificaciones técnicas E115. Fuente: wind-turbine-models

Curva de potencia

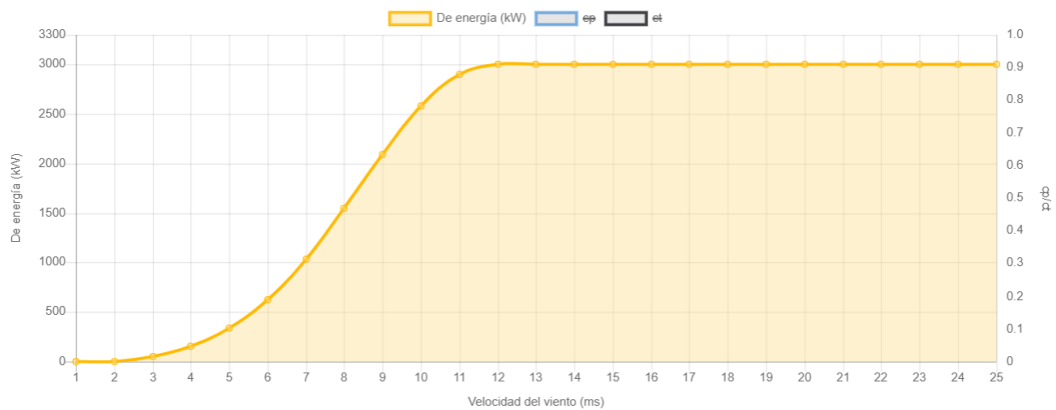


Figura 16-Curva de potencia aerogenerador E115. FUENTE: wind-turbine-models

- **MODELO G128/5.0:**

<b>POTENCIA</b>	Potencia nominal (MW)	5
<b>ROTOR</b>	Diámetro (m)	128
	Velocidad mín (vuelta/min)	2
	Velocidad máx (vuelta/min)	10.3
	Densidad de potencia (W/m <sup>2</sup> )	388.6
<b>TORRE</b>	Altura mínima (m)	81
	Altura máxima (m)	140
	Altura escogida (m)	95
<b>PALAS</b>	Número de palas	3
<b>VIENTO</b>	Velocidad mín (m/s)	2
	Velocidad nominal (m/s)	14
	Velocidad máx (m/s)	27
	Clase de viento	II / IIa

Tabla 10-Especificaciones técnicas G128/5.0. Fuente: wind-turbine-models

### Curva de potencia

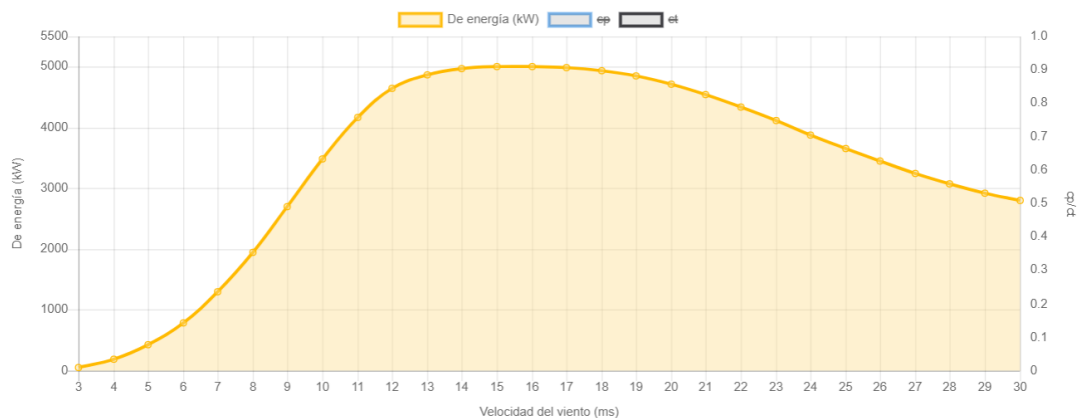


Figura 17-Curva de potencia G128/5.0. Fuente: wind-turbine-models

- **MODELO BONUS B76/2000**

<b>POTENCIA</b>	Potencia nominal (MW)	2
<b>ROTOR</b>	Diámetro (m)	76
	Velocidad mín (vuelta/min)	-
	Velocidad máx (vuelta/min)	16
	Densidad de potencia (W/m <sup>2</sup> )	444.4
<b>TORRE</b>	Altura mínima (m)	60
	Altura máxima (m)	100
	Altura escogida (m)	100
<b>PALAS</b>	Número de palas	3
<b>VIENTO</b>	Velocidad mín (m/s)	3
	Velocidad nominal (m/s)	15
	Velocidad máx (m/s)	25
	Clase de viento	IEC IIA/IIIA/S

Tabla 11-Especificaciones técnicas B76/2000. Fuente: wind-turbine-models

## Curva de potencia



Figura 18-Curva de potencia aerogenerador B76/2000. Fuente: wind-turbine-models

- **MODELO LEITWIND LTW101/3000**

<b>POTENCIA</b>	Potencia nominal (MW)	3
<b>ROTOR</b>	Diámetro (m)	101
	Velocidad mín (vuelta/min)	-
	Velocidad máx (vuelta/min)	14.4
	Densidad de potencia (W/m <sup>2</sup> )	374.4
<b>TORRE</b>	Altura mínima (m)	93
	Altura máxima (m)	143
	Altura escogida (m)	100
<b>PALAS</b>	Número de palas	3
<b>VIENTO</b>	Velocidad mín (m/s)	3
	Velocidad nominal (m/s)	15
	Velocidad máx (m/s)	25
	Clase de viento	Ila

Tabla 12-Especificaciones técnicas LEITWIND LTW101/3000. Fuente: wind-turbine-models

## Curva de potencia

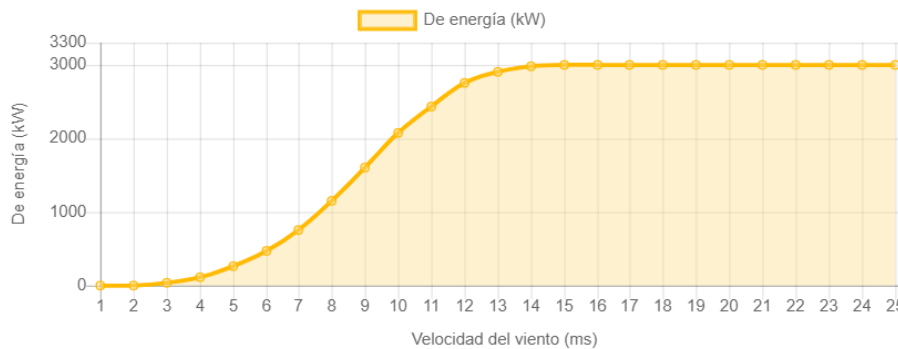


Figura 19-Curva de potencia aerogenerador LEITWIND LTW101/3000. Fuente: wind-turbine-models

- **MODELO MULTIBRID M5000**

<b>POTENCIA</b>	Potencia nominal (MW)	5
<b>ROTOR</b>	Diámetro (m)	116
	Velocidad mín (vuelta/min)	-
	Velocidad máx (vuelta/min)	14.8
	Densidad de potencia (W/m <sup>2</sup> )	473.1
<b>TORRE</b>	Altura mínima (m)	90
	Altura máxima (m)	102
	Altura escogida (m)	102
<b>PALAS</b>	Número de palas	3
<b>VIENTO</b>	Velocidad mín (m/s)	3.5
	Velocidad nominal (m/s)	12
	Velocidad máx (m/s)	25
	Clase de viento	Ila

Tabla 13-Especificaciones técnicas MULTIBRID M5000. Fuente: wind-turbine-models

## Curva de potencia

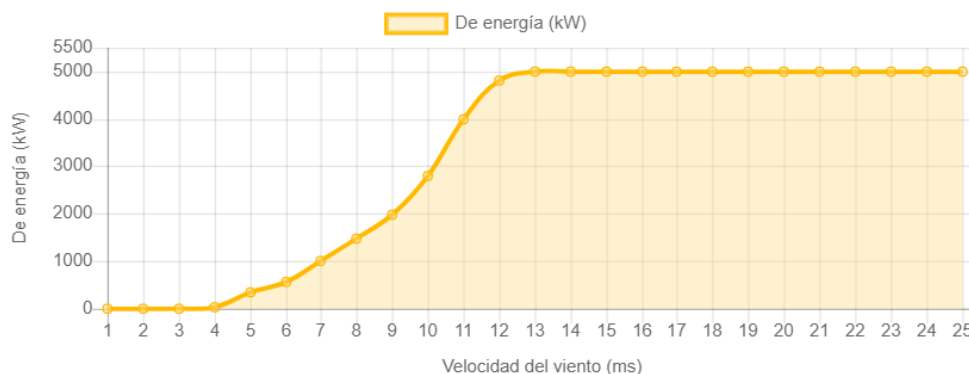


Figura 20-Curva de potencia aerogenerador MULTIBRID M5000. Fuente: wind-turbine-models

Una vez expuestas las características de cada tipo de aerogenerador escogido, se procede a explicar la metodología a seguir en este proyecto.

Se va a realizar un estudio comparativo de la energía producida por cada tipo de aerogenerador igualando las condiciones a tres potencias distintas, que como puede observarse anteriormente son 2, 3 y 5 MW. La altura de torre de todos los aerogeneradores está en torno a los 100 metros. Este valor no es aleatorio, si no que Global Wind Atlas proporciona los datos de la distribución de Weibull y de la Rosa de los vientos para esa altura, aunque en caso necesario se podría adaptar los valores de la K y la c de Weibull para cualquier altura de torre que se desee. Global Wind Atlas también permite obtener los valores para altura de 50 y 150 metros, pero se elige preferiblemente una altura de torre de 100 metros por ser un valor más comercializado.

### 6.3 PRODUCCIÓN ENERGÉTICA DE LOS MODELOS DE AEROGENERADOR

Este apartado se dispone a mostrar los cálculos de la energía que cada año produce cada tipo de aerogenerador preseleccionado. Como se ha explicado, a partir de una altura de torre de 100 metros y de las distintas potencias que tiene cada modelo, se obtendrá la mejor opción para el parque eólico.

Lo primero que se va a realizar, es obtener la densidad del aire en el lugar escogido para el emplazamiento, para de esta forma corregir la potencia de los aerogeneradores. La curva de potencia que se ha adjuntado en el apartado anterior corresponde a los datos a cota 0, cota a nivel del mar. En el estudio a realizar, la zona corresponde a una altura aproximada de 950 m.

Para calcular la densidad del aire se recurre a la fórmula de los gases ideales:

$$\rho = \frac{P}{R \cdot T} \quad (7)$$

Siendo R igual a 8.314472 J/K\**mol*. Como se observa, es necesario hallar la presión atmosférica en ese lugar. Se va a tomar como valor de referencia una altura media de 950 metros, aproximación con la rigurosidad suficiente para el estudio presente a pesar de que, al tratarse de una zona montañosa, la altitud exacta varía dependiendo del punto en el que se encuentre el aerogenerador. La presión se calcula con la siguiente ecuación:

$$P = P_0 e^{-\mu g h / RT} \quad (8)$$

Los parámetros de esta ecuación corresponden:

$\mu$  – masa molar del aire terrestre, con un valor de 0.0289644 kg/*mol*

$g$  – aceleración de la gravedad, con un valor de 9.80665 m/s<sup>2</sup>

$h$  – altura respecto al nivel del mar

$R$  – Constante universal de gas para el aire, con un valor de 8.31432 N\*m/(*mol*\*K)

$T$  – Temperatura del aire (K)

Observando la figura 21 de la evolución anual en el Valle de Ayora se obtiene una temperatura media de 15.4°C, valor que se va a usar para realizar los cálculos.

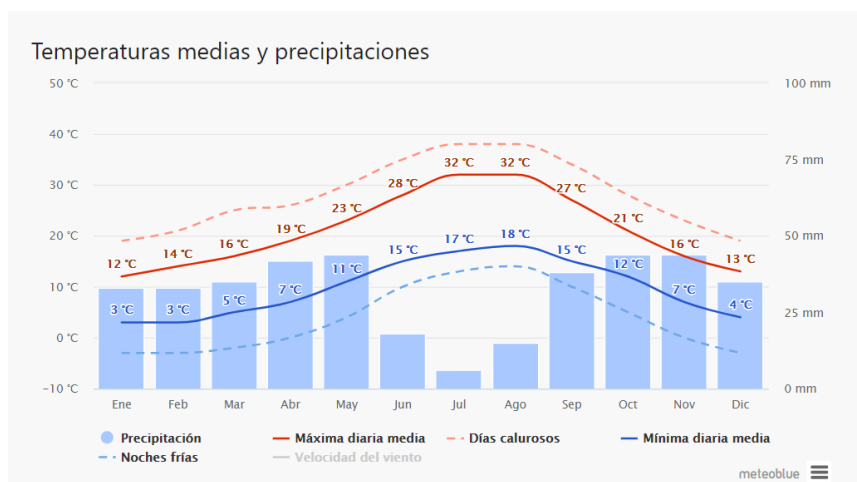


Figura 21-Evolución anual temperatura Valle de Ayora. Fuente [meteoblue]

Teniendo todos los valores mencionados en cuenta, con una temperatura estándar de 288.65 K y una altitud respecto al nivel del mar de 950 metros, se obtiene una presión de 677 mmHg. Se realiza el cambio de unidades pertinente para introducir el valor en la ecuación de gases ideales, obteniendo 901.47 hPa. Aplicando la ecuación de los gases ideales se obtiene una densidad de 1.11 kg/m<sup>3</sup>.

Ahora se procede a calcular la potencia corregida (P<sub>c</sub>) según la siguiente ecuación, cuyos parámetros corresponden a la densidad del aire a la altura del nivel del mar (ρ<sub>1</sub>), valor correspondiente a 1.225 kg/m<sup>3</sup>, la densidad del aire en el emplazamiento (ρ<sub>2</sub>), y la potencia proporcionada por la curva de potencia (P<sub>1</sub>):

$$P_c = \frac{\rho_2}{\rho_1} * P_1 \quad (9)$$

Se aplica la fórmula anterior a los datos de la potencia de la curva, de esta forma se obtiene una nueva curva, llamada curva corregida de los aerogeneradores. Se muestran las tablas 14, 15 y 16, correspondientes a las comparativas de la curva de potencia corregida. Cada tabla muestra los dos modelos que trabajan a la misma potencia para poder comparar fácilmente cuál de ambas es la mejor opción en el emplazamiento que se ha seleccionado para instalar el parque eólico.

v(m/s)	MODELO E82		MODELO B76	
	P(kW)	P <sub>c</sub> (kW)	P(kW)	P <sub>c</sub> (kW)
0	0	0	0	0
1	0	0	0	0
2	3	3	0	0
3	25	25	0	0
4	82	81	46,91	46
5	174	172	133	132
6	321	317	237	234
7	532	526	401	397
8	815	806	623	616
9	1180	1167	886	876
10	1580	1562	1190	1177
11	1810	1790	1502	1485
12	1980	1958	1740	1721
13	2050	2027	1891	1870
14	2050	2027	1962	1940
15	2050	2027	1988	1966
16	2050	2027	1996	1974
17	2050	2027	1999	1977
18	2050	2027	2000	1978
19	2050	2027	2000	1978
20	2050	2027	2000	1978
21	2050	2027	2000	1978
22	2050	2027	2000	1978
23	2050	2027	2000	1978
24	2050	2027	2000	1978
25	2050	2027	2000	1978

Tabla 14-Tabla Curva de Potencia Corregida modelos de 2 MW

v(m/s)	MODELO E115 3.0		MODELO LTW 3.0	
	P(kW)	Pc(kW)	P(kW)	Pc(kW)
0	0	0	0	0
1	0	0	0	0
2	3	3	0	0
3	48,5	48	31	31
4	155	153	113	112
5	339	335	252	249
6	627,5	621	461	456
7	1035,5	1024	756	748
8	1549	1532	1153	1140
9	2090	2067	1607	1589
10	2580	2551	2069	2046
11	2900	2868	2430	2403
12	3000	2967	2754	2723
13	3000	2967	2910	2878
14	3000	2967	2970	2937
15	3000	2967	3000	2967
16	3000	2967	3000	2967
17	3000	2967	3000	2967
18	3000	2967	3000	2967
19	3000	2967	3000	2967
20	3000	2967	3000	2967
21	3000	2967	3000	2967
22	3000	2967	3000	2967
23	3000	2967	3000	2967
24	3000	2967	3000	2967
25	3000	2967	3000	2967

**Tabla 15-Tabla Curva de Potencia corregida modelos 3.0 MW**

Una vez obtenidas las curvas de potencia corregidas de cada modelo de aerogenerador, se procede al siguiente paso para calcular la producción energética de cada uno de ellos, cálculo que se realiza con la siguiente ecuación:

$$Producción\ Energética = \sum P(v) * 8760 * Pc \quad (10)$$

Este paso consiste en multiplicar el número de horas del año (8760 horas) por la probabilidad de que se tenga una determinada velocidad (P(v)) obtenida con la correspondiente distribución de Weibull. Este resultado se multiplica por la potencia calculada anteriormente, llamada potencia corregida (Pc) obteniendo la energía producida a una determinada velocidad. El cálculo se debe realizar para cada sector, ya que cada uno tiene una distribución distinta de Weibull.

v(m/s)	MODELO G128-5.0		MODELO M5.0	
	P(kW)	Pc(kW)	P(kW)	Pc(kW)
0	0	0	0	0
1	0	0	0	0
2	0	0	0	0
3	59	58	0	0
4	195	193	10	10
5	420	415	330	326
6	786	777	560	554
7	1296	1282	1000	989
8	1943	1921	1470	1454
9	2699	2669	1980	1958
10	3487	3448	2800	2769
11	4174	4128	4000	3955
12	4639	4587	4800	4747
13	4875	4821	5000	4944
14	4965	4910	5000	4944
15	5000	4944	5000	4944
16	5000	4944	5000	4944
17	4984	4928	5000	4944
18	4944	4889	5000	4944
19	4859	4805	5000	4944
20	4722	4669	5000	4944
21	4541	4490	5000	4944
22	4331	4283	5000	4944
23	4108	4062	5000	4944
24	3883	3840	5000	4944
25	3661	3620	5000	4944

Tabla 16-Tabla Curva de Potencia Corregida modelos 5.0 MW

En la tabla 17 se recoge la energía producida en cada sector para cada uno de los aerogeneradores. La energía está calculada en MWh.

Para obtener la energía total producida en un año, se suman las energías producidas de cada uno de los doce sectores en los que se distribuye la rosa de los vientos. Hay que tener en cuenta que para cada sector se tiene una frecuencia distinta ( $f_i$ ), valores que se obtienen de Global Wind Atlas en el apartado correspondiente a la Rosa de los Vientos. Por tanto, la energía anual producida por cada aerogenerador se va a calcular con la siguiente ecuación:

$$\text{Energía producida bruta anual} = \sum_1^{12} f_i * \text{Producción Energética}_i \quad (11)$$



	<b>E82-2.0 (MWh)</b>	<b>B76-2.0 (MWh)</b>	<b>E115 3.0 (MWh)</b>	<b>LTW 3.0 (MWh)</b>	<b>G128-5.0 (MWh)</b>	<b>M5.0 (MWh)</b>
<i>Sector 1</i>	5860,21	4971,85	9540,84	8223,75	13715,76	12377,78
<i>Sector 2</i>	3410,49	2875,50	5584,18	4787,10	7980,93	7126,04
<i>Sector 3</i>	7053,29	6148,87	11227,59	9955,37	16465,88	15399,00
<i>Sector 4</i>	6934,62	5820,43	11357,24	9684,20	16275,63	14524,82
<i>Sector 5</i>	3185,63	2513,75	5512,16	4422,30	7479,25	6102,74
<i>Sector 6</i>	1857,40	1390,44	3364,71	2579,70	4377,46	3260,83
<i>Sector 7</i>	2920,79	2270,45	5123,58	4051,42	6859,59	5468,21
<i>Sector 8</i>	4772,07	3886,29	8030,07	6639,03	11197,53	9584,78
<i>Sector 9</i>	5565,31	4713,06	9069,73	7803,96	13044,98	11737,42
<i>Sector 10</i>	8844,32	7827,56	13897,36	12523,77	20610,43	19667,52
<i>Sector 11</i>	11584,30	10428,77	17923,98	16464,16	26995,13	26304,45
<i>Sector 12</i>	9995,58	8784,10	15759,24	14107,05	23419,56	22118,32

**Tabla 17-Tabla de energía producida en cada sector**

La frecuencia de cada sector según los datos de Global Wind Atlas se recoge en la siguiente tabla 18.

<b>SECTOR</b>	<b>frecuencia</b>	<b>SECTOR</b>	<b>frecuencia</b>	<b>SECTOR</b>	<b>frecuencia</b>
<b>1</b>	0.03	<b>5</b>	0.07	<b>9</b>	0.07
<b>2</b>	0.02	<b>6</b>	0.05	<b>10</b>	0.11
<b>3</b>	0.06	<b>7</b>	0.06	<b>11</b>	0.19
<b>4</b>	0.13	<b>8</b>	0.07	<b>12</b>	0.13

**Tabla 18-Tabla de frecuencias de cada sector de la Rosa de los Vientos. Fuente: Global Wind Atlas**

La tabla 19 recoge la energía producida brutal anual de los modelos preseleccionados. A la vista de los resultados el modelo GT128 de 5 MW es el que mayor energía bruta obtiene. Sin embargo, este cálculo de energía no es esclarecedor del mejor aerogenerador, como se verá posteriormente.

Modelos	E82-2.0	B76-2.0	E115 3.0	LTW 3.0	G128-5.0	M5.0
Energía (MWh)	7256,76	6300,35	11589,46	9812,80	16966,61	15773,55

**Tabla 19- Energía producida bruta anual de los modelos preseleccionados**

El siguiente cálculo necesario es hallar las horas equivalentes, cálculo sencillo que consiste en dividir la energía producida anual entre la potencia nominal de cada aerogenerador. El parámetro horas equivalentes indica las horas que debería estar el aerogenerador entregando la potencia nominal para poder obtener el total de energía anual y responde a la siguiente ecuación:

$$h_{eq} = \frac{\text{Energía producida anual}}{\text{Potencia nominal}} \quad (12)$$

El último parámetro por calcular es el factor de carga. La función de este coeficiente es indicar la relación entre dos tipos de energía. Por un lado, la energía real generada total en un año y por otro lado la energía máxima que se podría haber generado si funcionara el aerogenerador a la potencia nominal durante todo el periodo. La forma de calcular este parámetro es dividir las horas equivalentes (calculadas anteriormente) entre 8760, correspondiente al número de horas que tiene un año, se realiza con la siguiente ecuación:

$$\text{Factor de carga} = \frac{h_{eq}}{8760} \quad (13)$$

Los valores correspondientes para estos dos parámetros de cada tipo de aerogenerador se recogen en la tabla 20.

	E82-2.0	B76-2.0	E115 3.0	LTW 3.0	G128-5.0	M5.0
Horas equivalentes	3628,38	3150,18	3863,15	3270,93	3393,32	3154,71
Factor de carga	0,41	0,36	0,44	0,37	0,39	0,36

**Tabla 20-Tabla Horas equivalentes y factor de carga**

Los valores obtenidos tanto de horas equivalentes como de factor de carga son números muy buenos para instalaciones eólicas, lo que pronostica un buen resultado del presente estudio.

## 6.4 ELECCIÓN DEL MODELO

Se ha realizado el estudio de diversos modelos de aerogeneradores, prestando atención a la energía producida por cada modelo. El estudio se ha basado en comparar 6 modelos de turbinas diferentes de 3 potencias distintas, comprobando la energía producida a una altura de torre de aproximadamente 100 metros. Se utiliza Global Wind Atlas para obtener los datos suficientes

para realizar todos los cálculos necesarios de direcciones de viento, frecuencias y parámetros de la distribución de Weibull entre otros.

Observando los cálculos realizados en el apartado anterior, se escoge el modelo de aerogenerador más productivo de cada potencia. Estos son los de Enercon E82 de 2MW y el E115 de 3MW junto con el modelo de Gamesa G128 de 5MW.

En la tabla 21 se muestra un resumen de la potencia total del parque de 30MW que se obtendría con cada tipo de aerogenerador escogido:

	<b>E82-2.0</b>	<b>E115-3.0</b>	<b>G128-5.0</b>
<b>Nº aerogeneradores</b>	15	10	6
<b>Energía (MWh)</b>	108851,41	115894,61	101799,6
<b>Horas equivalentes</b>	3628,38	3863,15	3393,32
<b>Factor de carga</b>	0,41	0,44	0,39

**Tabla 21 - Resumen Energía Parque Eólico**

A la vista de los resultados, el modelo que se escogería preferiblemente para diseñar el parque eólico es el modelo de Enercon E115 de 3MW, sin embargo, en este estudio se van a realizar tres alternativas de disposición de aerogeneradores en el mismo emplazamiento, haciendo cada una de ellas con uno de los modelos presentes en la tabla 21.

## CAPÍTULO 7. DISEÑO DEL PARQUE EÓLICO

En este capítulo se va a estudiar la disposición de los aerogeneradores en la zona de estudio. Para ello se proponen diversas alternativas en la misma ubicación, para las que se comprueban sus distintas pérdidas energéticas.

### 7.1 EFECTOS MODIFICADORES DEL VIENTO

El viento sufre variaciones en la meso-escala y en la microescala. Al hablar de la meso-escala se refiere sobre todo a las variaciones en las grandes cordilleras debidas a las brisas nocturnas y diurnas y al desigual calentamiento por radiación de la tierra y del mar. Por un lado, el aire pesado que se desliza por las laderas de las montañas, en contraposición con el aire caliente que sube de los valles.

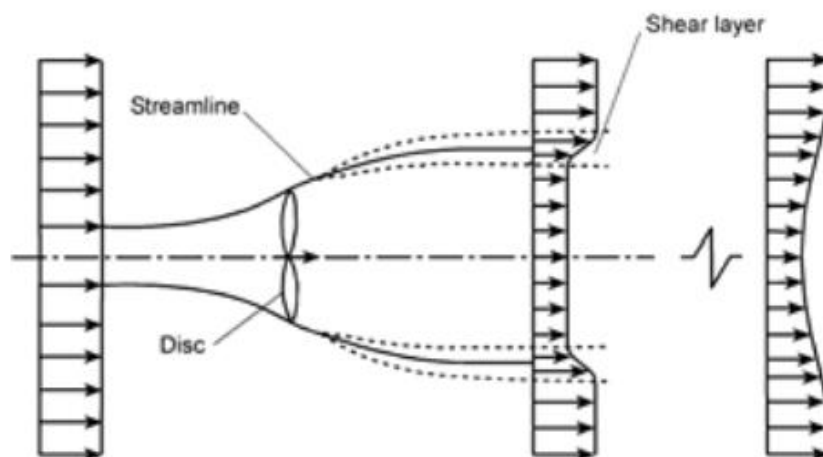
Este apartado se centra en la variación del viento en la microescala, que se ve afectado por pequeños obstáculos y colinas. Se va a diferenciar entre dos tipos de efectos distintos, el efecto parque y el efecto colina.

#### 7.1.1 EFECTO PARQUE

El efecto parque, también llamado efecto estela, es una de las perturbaciones del viento generadas en la microescala. En cuanto a la parte física, el viento genera energía al atravesar la turbina del aerogenerador. Teniendo en cuenta el principio de conservación de la energía, la cantidad de movimiento disponible en el viento variará, por lo que quedará que a la salida la energía disponible es menor que a la entrada. Esto provoca una estela tras la turbina, que se puede definir como una larga cola de viento más turbulenta y con menor velocidad que el viento que llega al aerogenerador.

Este efecto es el causante de las condiciones de separación entre aerogeneradores. El criterio que se sigue a la hora del diseño es de una separación entre 5 y 7 diámetro de rotor en la dirección del viento dominante, y de 2 a 4 diámetros de rotor en la dirección perpendicular de él. Esta separación es imprescindible, ya que si se disminuye la velocidad del viento que llega a la siguiente turbina, la cantidad de energía producida también es menor. Además, al generar un viento más turbulento, la vida útil de los aerogeneradores también disminuye, ya que la turbulencia provoca más daños en los elementos de la turbina que el viento en régimen laminar.

La pérdida de energía debida al efecto parque se calcula conociendo el rotor de la turbina eólica, la rosa de los vientos, la distribución de Weibull y la rugosidad en las diferentes direcciones. Teniendo en cuenta todos los parámetros se calcula la energía debida al apantallamiento entre aerogeneradores, siendo un 5% la pérdida de energía típica.



**Figura 22-Representación esquemática de la estela. Efecto parque. Fuente: Apuntes Tecnología Energética**

### 7.1.2 EFECTO COLINA

A la hora de posicionar los aerogeneradores es interesante realizarlo en colinas o en estribaciones que dominen el paisaje. Esto se realiza porque supone una ventaja tener una vista lo más amplia posible en la dirección del viento, y porque en las colinas siempre se aprecian velocidades del viento algo superiores a las áreas circundantes. El motivo es que el aire se comprime en la parte de la montaña que da al viento, y al alcanzar la cima vuelve a expandirse al descender hacia la colina de bajas presiones por la ladera a sotavento de la colina.

Además, también es importante encontrar colinas poco escarpadas y con una superficie no muy accidentada, ya que eso puede provocar demasiadas turbulencias, lo que disminuye la vida útil de la instalación.

Para terminar con el efecto colina hay que tener en cuenta que el posicionamiento del parque eólico en una zona muy escarpada dificulta la instalación, y por lo tanto la encarece frente al posicionamiento de los aerogeneradores en una zona más llana y con buenos accesos.

### 7.2 DISPOSICIÓN AEROGENERADORES

En el capítulo anterior se han seleccionado los modelos de aerogenerador a utilizar, correspondiente uno a 2 MW, otro a 3 MW y un último de 5 MW. Por lo tanto, en la instalación se necesitan 15, 10 y 6 aerogeneradores correspondientemente para obtener la potencia de 30 MW objetivo de este proyecto. Los requisitos a tener en cuenta varían con el diámetro del rotor, las recomendaciones del IDAE para reducir las pérdidas por efecto parque y efecto colina son, como ha quedado recogido en los apartados anteriores, que debe haber una separación mínima de 2 veces el diámetro del rotor entre aerogeneradores en la dirección perpendicular a la dirección predominante del viento. Además, la separación aumenta a una distancia de 5 veces el diámetro del rotor para la dirección del viento predominante.

Los requisitos administrativos se resumen a distancias mínimas obligatorias que se deben de cumplir a distintos puntos. Se recogen en los siguientes puntos:

- Distancia mínima a suelo urbano de uso no industrial: 1000 metros.
- Distancia mínima a una línea de la red eléctrica de alta tensión: 250 metros.
- Distancia mínima a carreteras autonómicas: 100 metros.
- Distancia mínima a carreteras nacionales, autovía y/o autopista: 200 metros.

El emplazamiento elegido cuenta con la seguridad de cumplir con los requisitos medioambientales de no afectar a los Espacios Naturales Protegidos ni a las Figuras Ambientales, por lo que no se va a observar ninguna restricción en ese aspecto. Se van a tener en cuenta las distintas pérdidas que se producen en el parque eólico para finalmente decantarse por un diseño u otro.



**Figura 23-Emplazamiento seleccionado. Fuente: Google Maps**

En la figura 23 se puede observar una vista por satélite del emplazamiento escogido, lugar donde se va a proceder al diseño del parque eólico.

### 7.2.1 ALTERNATIVA A

El primer diseño que se va a realizar corresponde al modelo de 2MW de Enercon denominado E82/2000 que tiene un diámetro de rotor de 82 metros. Para esta alternativa se necesita un total de 15 aerogeneradores para conseguir los 30MW establecidos en el proyecto. El diseño del aerogenerador se puede ver en la figura 24.



Figura 24-Fotos del Aerogenerador E82/2000. Fuente: thewindpower

Se va a realizar la disposición en tres líneas. De acuerdo con las distintas restricciones definidas para evitar en la medida de lo posible el efecto parque se definen dos distancias mínimas. La primera es en dirección perpendicular al viento, correspondiente a dos veces el diámetro de rotor, que será de 164 metros. La segunda distancia mínima corresponde a la dirección predominante del viento, siendo de mínimo 5 veces el diámetro del rotor, con lo cual es de 410 metros como mínimo entre aerogeneradores consecutivos.

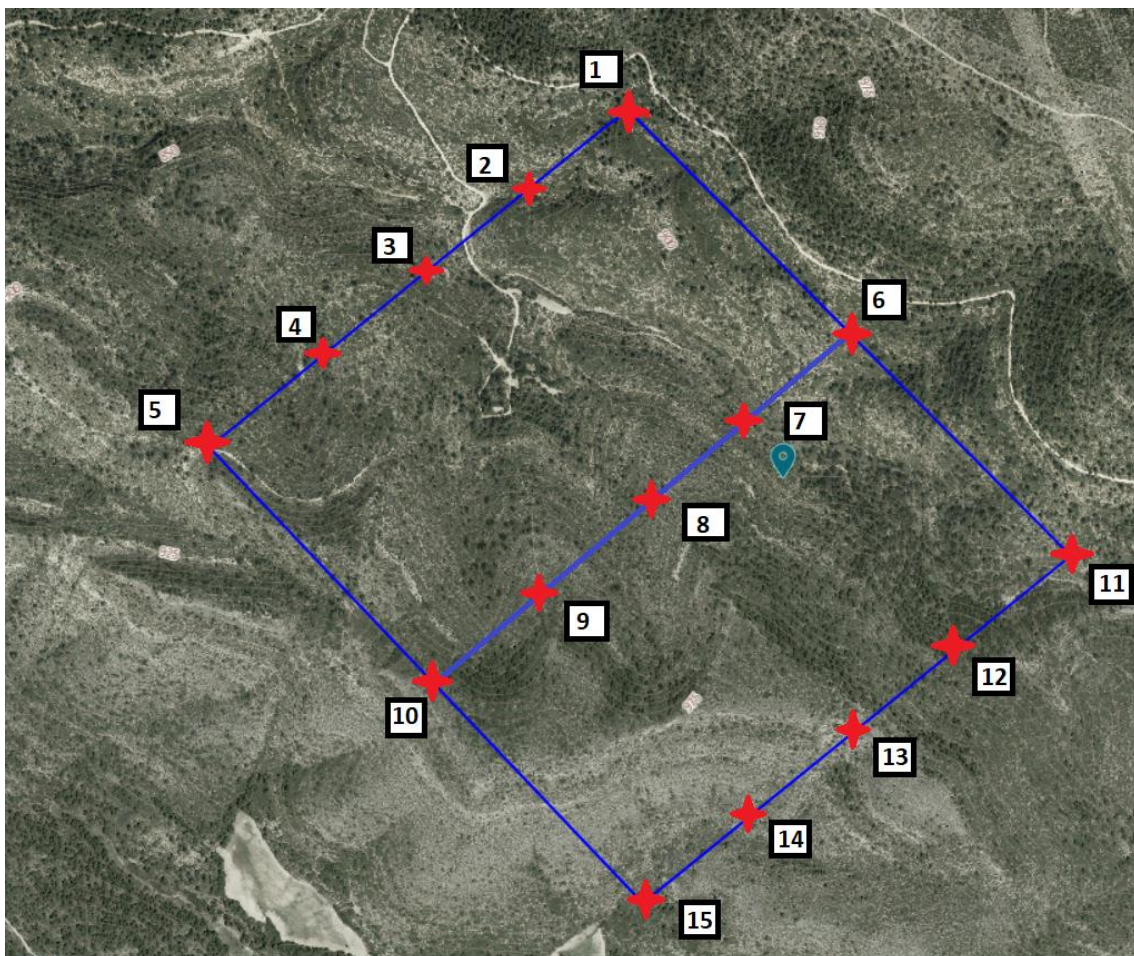


Figura 25-DISEÑO A. Fuente: VISOR CARTOGRÁFICO DE LA COMUNIDAD VALENCIANA

En la tabla 22 se muestran los puntos exactos donde se disponen los 15 aerogeneradores necesarios.

<b>Aerogenerador</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Latitud	38.989867°	38.988816°	38.987732°	38.986814°	38.98584°
Longitud	-0.984042°	-0.985823°	-0.987539°	-0.989020°	-0.990543°
<b>Aerogenerador</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
Latitud	38.987065°	38.986147°	38.985213°	38.984279°	38.982995°
Longitud	-0.980437°	-0.982196°	-0.983870°	-0.985501°	-0.987046°
<b>Aerogenerador</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>
Latitud	38.984529°	38.983562°	38.982444°	38.981377°	38.980393°
Longitud	-0.977218°	-0.978699°	-0.980501°	-0.982218°	-0.983806°

**Tabla 22-Tabla de posición exacta de los aerogeneradores DISEÑO A**

## 7.2.2 ALTERNATIVA B

Para esta alternativa se utiliza el modelo Enercon E115 de 3MW, para conseguir la potencia demandada por el parque se necesitan un total de 10 aerogeneradores. El modelo presenta el diseño mostrado en la figura 26.



**Figura 26-Fotos del Aerogenerador E115. Fuente [wind-turbine-models]**

Se disponen los aerogeneradores en 2 filas, necesitando una distancia total de 930 metros por fila. Esta línea de aerogeneradores se dispone en dirección perpendicular a la predominante del viento, por lo que la distancia entre dos aerogeneradores consecutivos debe ser de mínimo do veces el diámetro, valor de mínimo 230 metros. Por otro lado, la distancia que deben guardar entre las filas es de mínimo 580 metros, ya que corresponde a la dirección predominante del viento.

En la tabla 23 se muestran los puntos exactos donde se disponen los 10 aerogeneradores necesarios. La numeración comienza en el punto situado más al norte de la ilustración y se completa siguiendo la selección en sentido antihorario.



Aerogenerador	1	2	3	4	5
Latitud	38.989537°	38.987869°	38.985835°	38.983299°	38.981264°
Longitud	-0.988510°	-0.989326°	-0.990441°	-0.991815°	-0.992973°
Aerogenerador	6	7	8	9	10
Latitud	38.979663°	38.981531°	38.983900°	38.986001°	38.987869°
Longitud	-0.986751°	-0.984562°	-0.984562°	-0.983489°	-0.982373°

Tabla 23-Tabla de posición exacta de los aerogeneradores DISEÑO B

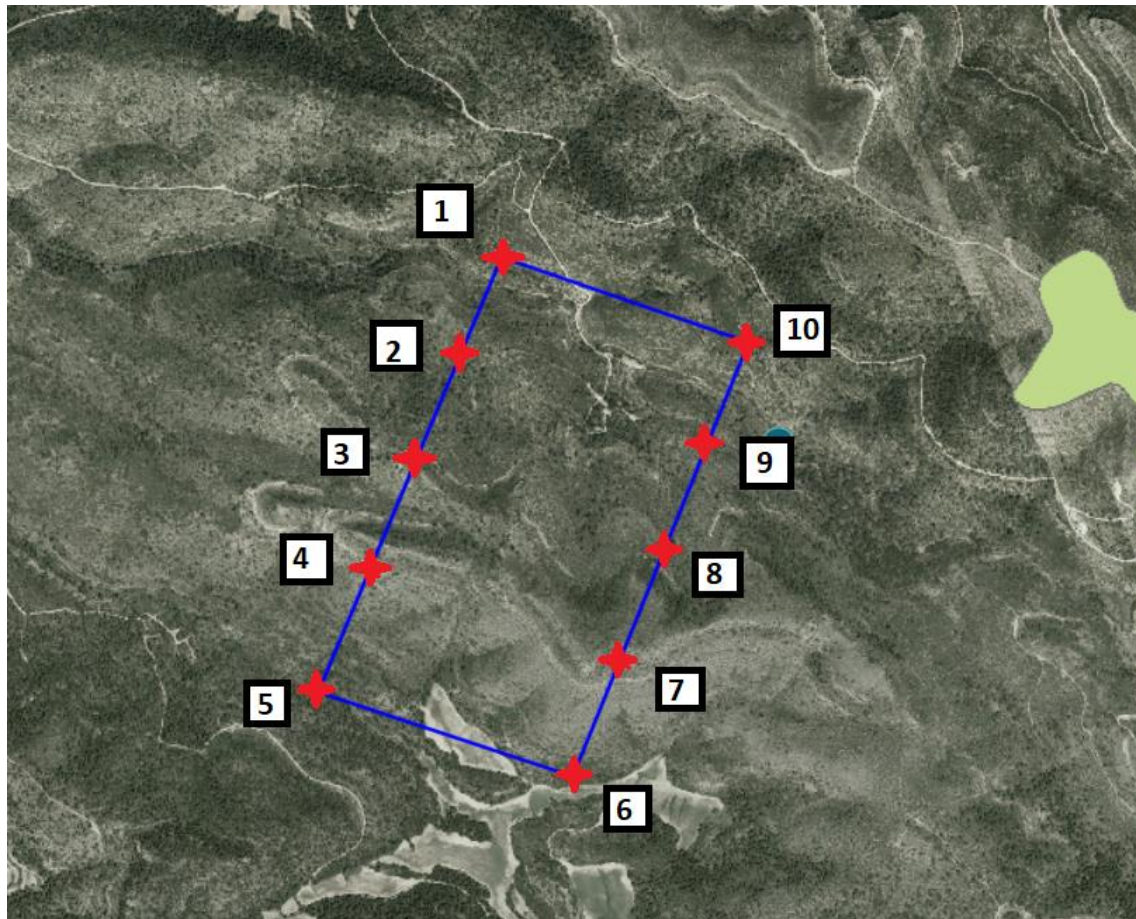


Figura 27-DISEÑO B. Fuente: VISOR CARTOGRÁFICO DE LA COMUNIDAD VALENCIANA

### 7.2.3 ALTERNATIVA C

La última alternativa se realiza con el modelo de 5MW denominado G128-5.0 del fabricante GAMESA. Para este diseño se necesitan un total de 6 aerogeneradores, cuya disposición va a ser hexagonal, intentando aprovechar el relieve del terreno para colocarlos en una ubicación óptima en cuanto a rendimiento energético se refiere.

En la figura 28 se pueden ver fotografías del modelo escogido.

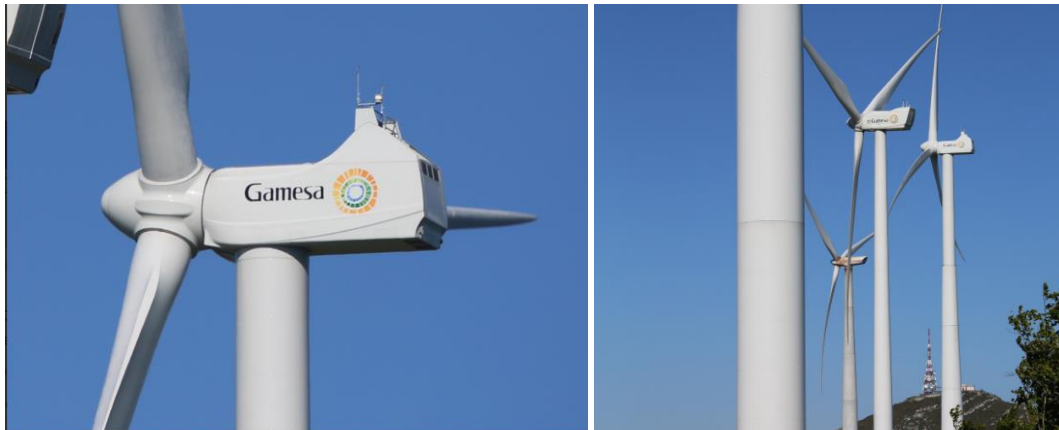


Figura 28-Fotos del Aerogenerador G128.5.0. Fuente [wind-turbine-models]

El modelo tiene un diámetro de rotor de 128 metros, por lo que se necesita una separación mínima de 256 metros en la dirección perpendicular al viento, y una separación de 640 metros entre aerogeneradores consecutivos en la dirección del viento. Siguiendo estas indicaciones se muestra la disposición en la figura 29.

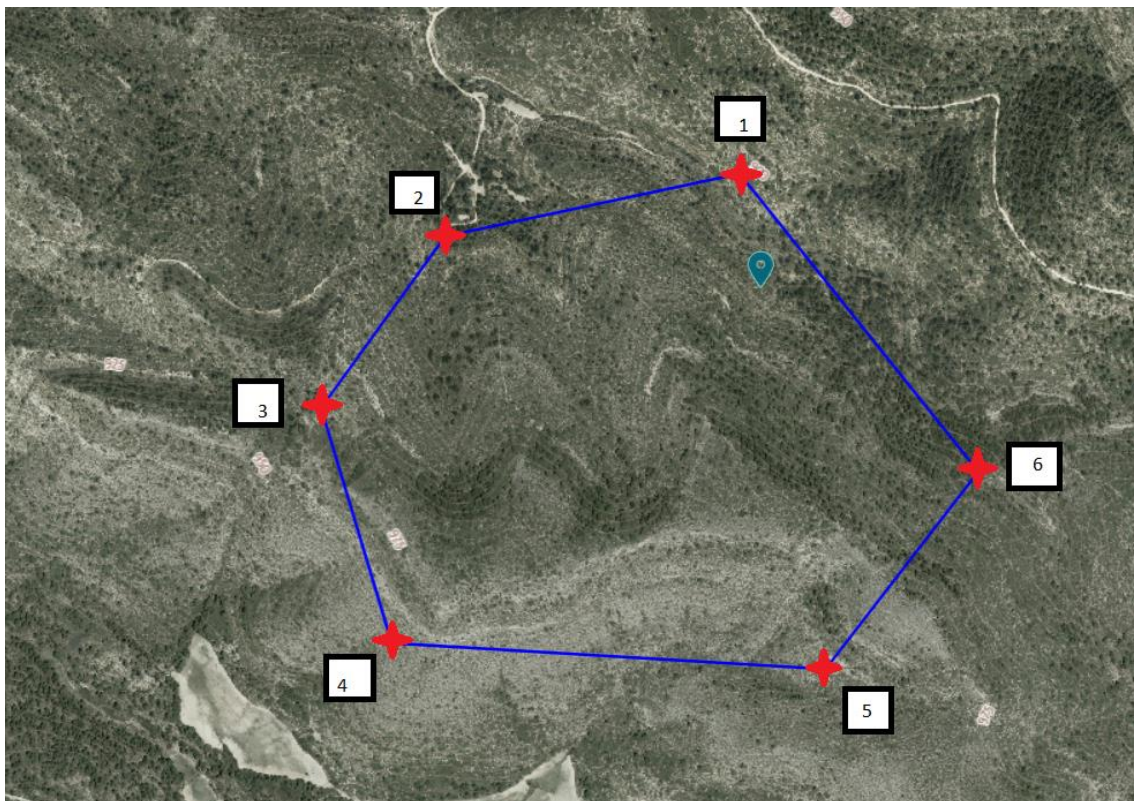


Figura 29-Diseño C. Fuente: VISOR CARTOGRÁFICO DE LA COMUNIDAD VALENCIANA

En la tabla 24 se muestran los puntos exactos donde se disponen los 10 aerogeneradores necesarios. La numeración comienza en el punto situado más al norte de la ilustración y se completa siguiendo la selección en sentido antihorario.

Aerogenerador	1	2	3
Latitud	38.9986769°	38.986068°	38.984067°
Longitud	-0.9811987°	-0.986343°	-0.988188°
Aerogenerador	4	5	6
Latitud	38.981331°	38.981047°	38.983333°
Longitud	-0.987137°	-0.980635°	-0.978425°

Tabla 24-Tabla de posición exacta de los aerogeneradores DISEÑO C

### 7.3 CÁLCULO DE LA ENERGÍA PRODUCIDA POR EL PARQUE

Se procede a calcular la energía que va a producir cada una de las 3 alternativas de parque eólico. Se realiza mediante las pérdidas estándar que están contrastadas para este tipo de instalaciones de aerogeneradores. Las distintas pérdidas que hay que tener en cuenta son las pérdidas por efecto parque, las pérdidas denominadas “por disponibilidad” que consisten en pérdidas por mantenimiento, las distintas pérdidas que se puedan producir y las pérdidas eléctricas.

En el capítulo de elección de aerogeneradores se ha calculado la energía bruta producida por cada aerogenerador sin tener en cuenta las pérdidas. En las tablas 25, 26 y 27 se resume la energía producida por cada diseño de parque, así como se especifican todas las pérdidas.

Las pérdidas por efecto parque se calculan como el 4,5% de la energía bruta producida anualmente por el parque. Así mismo, las de disponibilidad corresponden al 12% de la energía. Más pequeñas son las pérdidas varias (4%) y las pérdidas eléctricas (1%). Finalmente, en las tablas 25, 26 y 27 se recogen las horas equivalentes y el factor de carga de cada diseño de parque eólico.

Potencia aerogenerador (MW)	2
Potencia del parque (MW)	30
Número de aerogeneradores	15
Energía bruta anual por aerogenerador (MWh/año)	7256,76
Energía brutal anual del parque (MWh/año)	108851,41
Pérdidas efecto parque (MWh/año)	4898,31349
Pérdidas por disponibilidad (MWh/año)	13062,1693
Pérdidas eléctricas (MWh/año)	1088,51411
Pérdidas varias (MWh/año)	4354,05643
<b>Energía neta anual del parque (MWh/año)</b>	<b>85448,36</b>
Horas equivalentes	3628,38
Factor de carga	0,41

Tabla 25 - Energía Diseño A

Se observa viendo las tablas 25, 26 y 27 que el parque eólico con el que se obtiene mayor energía neta es el diseño B, correspondiente a aerogeneradores de 3 MW. Como ha podido comprobarse, no es posible preseleccionar un aerogenerador teniendo en cuenta sólo la energía bruta que se genera, ya que al contabilizar las pérdidas debidas a las distintas disposiciones el modelo óptimo puede cambiar. En la energía bruta salía que el mejor modelo era el correspondiente a aerogeneradores de 5 MW, pero tras el estudio exhaustivo se comprueba que el mejor modelo corresponde a una potencia de 3 MW.

Potencia aerogenerador (MW)	3
Potencia del parque (MW)	30
Número de aerogeneradores	10
Energía bruta anual por aerogenerador (MWh/año)	11589,46
Energía brutal anual del parque (MWh/año)	115894,61
Pérdidas efecto parque (MWh/año)	1738,41914
Pérdidas por disponibilidad (MWh/año)	4635,78438
Pérdidas eléctricas (MWh/año)	386,315365
Pérdidas varias (MWh/año)	1545,26146
<b>Energía neta anual del parque (MWh/año)</b>	<b>107588,83</b>
Horas equivalentes	3863,15
Factor de carga	0,44

Tabla 26 - Energía Diseño B

Potencia aerogenerador (MW)	5
Potencia del parque (MW)	30
Número de aerogeneradores	6
Energía bruta anual por aerogenerador (MWh/año)	16966,61
Energía brutal anual del parque (MWh/año)	101799,67
Pérdidas efecto parque (MWh/año)	4580,98522
Pérdidas por disponibilidad (MWh/año)	12215,9606
Pérdidas eléctricas (MWh/año)	1017,99671
Pérdidas varias (MWh/año)	4071,98686
<b>Energía neta anual del parque (MWh/año)</b>	<b>79912,74</b>
Horas equivalentes	3393,32
Factor de carga	0,39

Tabla 27 - Energía Diseño C

## CAPÍTULO 8. ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

La Unión Europea obliga a realizar el Estudio de Impacto Ambiental (EIA) correspondiente para cada tipo de proyecto y adoptar, en base a los resultados, las medidas correctoras necesarias para que se minimicen los efectos negativos del mismo sobre el medio ambiente. En España existe la Ley 21/2013 (BOE, 2013) [15] que dicta que aquellos parques eólicos con una potencia instalada de 30 MW o menor y que estén situados en zonas no protegidas deben someterse a una evaluación ambiental simplificada. En parques eólicos con una potencia instalada superior a 30 MW se debe realizar una evaluación ambiental ordinaria.

Dada la potencia de 30 MW del parque eólico de este proyecto, el tipo de evaluación que se va a desarrollar en el presente capítulo es la simplificada, realizando para ello un inventario ambiental y una matriz de Leopold, herramienta usada con la finalidad de valorar los impactos del proyecto. Con el objetivo de minimizar los efectos negativos se analizan las diferentes fases del proyecto y el diferente grado en que estos van a repercutir en el medio ambiente.

### 8.1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Este proyecto tiene como objeto la construcción de una instalación de aerogeneradores de 30 MW en el Valle de Cofrentes, dentro del municipio de Ayora, en la provincia de Valencia. A la vista de los resultados de los capítulos anteriores, el parque eólico estará compuesto de 10 aerogeneradores de 3 MW cada uno, con denominación del modelo E115-3.0 del fabricante Enercon. La altura de torre es de 100 metros. Se estima que la energía anual producida por el parque será de 107.588,86 MWh.

### 8.2 INVENTARIO AMBIENTAL

El contenido mínimo del Inventario Ambiental en los EIA aparece reflejado en el Anexo VI de la Ley 21/2013 [15] de evaluación ambiental. En él se detallan los aspectos del inventario ambiental a considerar y el alcance de estos, aunque es el Órgano Ambiental el que debe definir el alcance exacto en cada caso concreto.

El objetivo del inventario es proporcionar una caracterización del medio que posteriormente permita establecer los posibles impactos ambientales debidos a la ejecución del proyecto. Se deben descartar del mismo aquellos aspectos ambientales que no tengan relevancia.

#### 8.2.1 CLIMATOLOGÍA

El territorio de estudio es el Valle de Ayora, por lo que se estudia el clima predominante en esta zona y se obtienen los datos sobre la climatología de Climate-Data [16].

El clima en Ayora es cálido y templado, clasificado como Csa según Köppen y Geiger. El significado de esta clasificación se hace por letras, en primer lugar (C) significa que se halla en el

grupo de climas templados, la segunda letra (s) significa que el verano es seco, lo que significa que las precipitaciones son escasas. Por último (a) se refiere también al verano, que en este caso significa verano caluroso. La figura 30 muestra el climograma de Ayora.

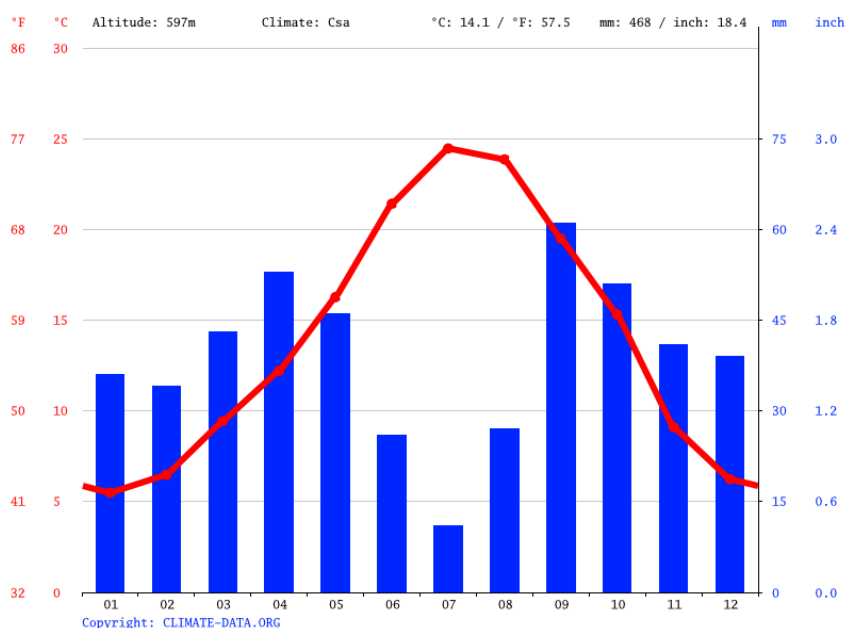


Figura 30-Climograma de Ayora. Fuente: Climate-Data.org

A vistas del climograma, se observa que tal como se ha informado con la clasificación Köppen y Geiger, la temperatura media en los meses de verano puede alcanzar casi los 24.5°C y las precipitaciones son escasas.

En cuanto a los meses de invierno, las temperaturas más bajas se alcanzan en los meses de invierno, con una temperatura media mínima que pasa los 5°C. En cuanto a las precipitaciones, se observa una precipitación media anual de 61 mm al año, siendo julio el mes más seco con 11 mm.

En resumen, la diferencia en la precipitación entre el mes más seco y el mes más lluvioso es de 50 mm, con una variación de las temperaturas medias de unos 19°C. Para ilustrar esta información, se muestra en la tabla 28 los datos históricos del tiempo de Ayora.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	5.5	6.5	9.4	12.2	16.3	21.4	24.5	23.9	19.5	15.3	9.1	6.2
Temperatura min. (°C)	1.3	1.8	4.2	6.6	10.2	14.8	17.8	17.9	14.5	10.7	5	2.3
Temperatura máx. (°C)	10.6	11.8	15.2	18.1	22.4	28.2	31.7	30.7	25.2	20.6	13.8	11
Precipitación (mm)	36	34	43	53	46	26	11	27	61	51	41	39
Humedad(%)	73%	66%	60%	58%	54%	48%	46%	51%	60%	67%	71%	75%
Días lluviosos (días)	4	4	5	6	5	3	2	4	6	5	5	5
Horas de sol (horas)	6.5	7.1	8.4	9.7	11.2	12.4	12.2	10.8	8.9	7.6	6.8	6.2

Tabla 28-Datos históricos del tiempo en Ayora. Fuente: Climate-Data.org

Para finalizar, Ayora cuenta con alrededor de 3283,88 horas de sol durante todo el año, dato que cumple con la media de horas de sol del clima mediterráneo.

En relación con la instalación de aerogeneradores proyectada, el clima no se va a ver afectado por este parque eólico, aunque las condiciones meteorológicas hay que tenerlas en cuenta para definir una correcta realización del presente proyecto.

### 8.2.2 SISMOLOGÍA

La Sismología pone de manifiesto los procesos dinámicos que suceden en la Tierra, a través de los terremotos y su distribución temporal. De la misma forma, el estudio de la propagación de las ondas que producen los terremotos proporciona información sobre la estructura interior de las mismas, las regiones que las forman y la distribución en ellas de la densidad y las constantes eléctricas.

El siguiente mapa, obtenido del Instituto Geográfico Nacional [17] muestra la sismicidad en la península. Atendiendo a la leyenda del mapa, se observa que, aunque la provincia de Valencia puede ser considerada una zona típicamente sísmica, los terremotos que aquí se producen no son de magnitud elevada.

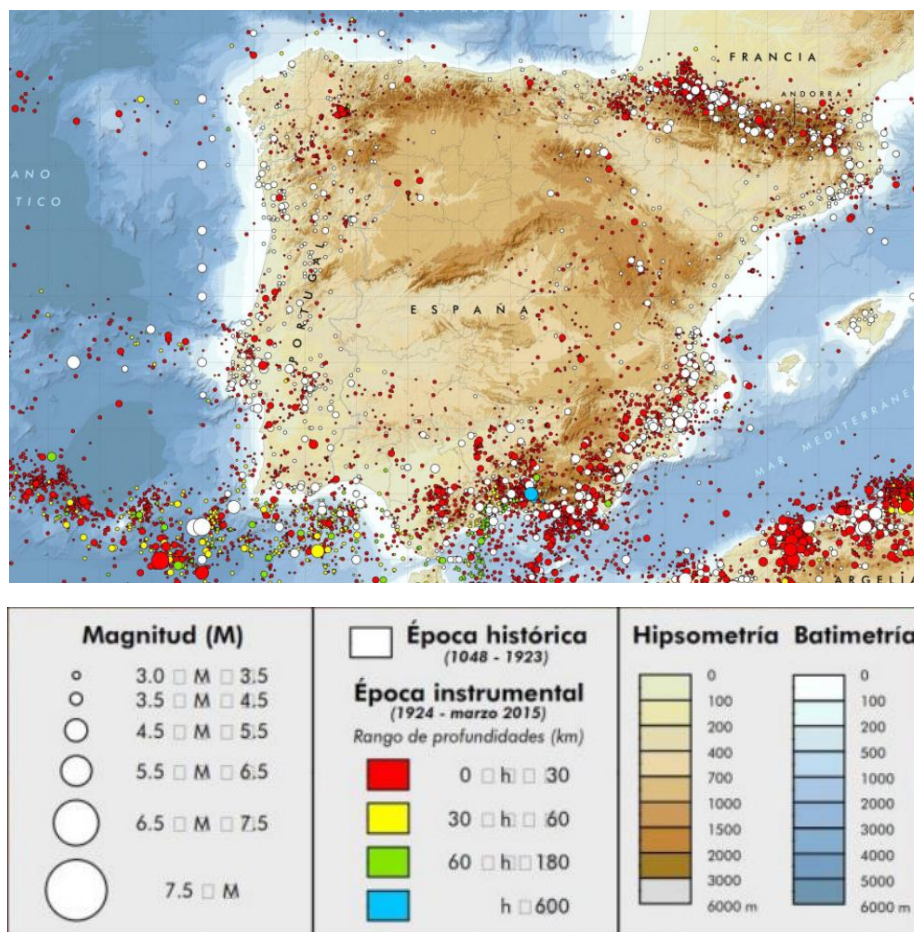
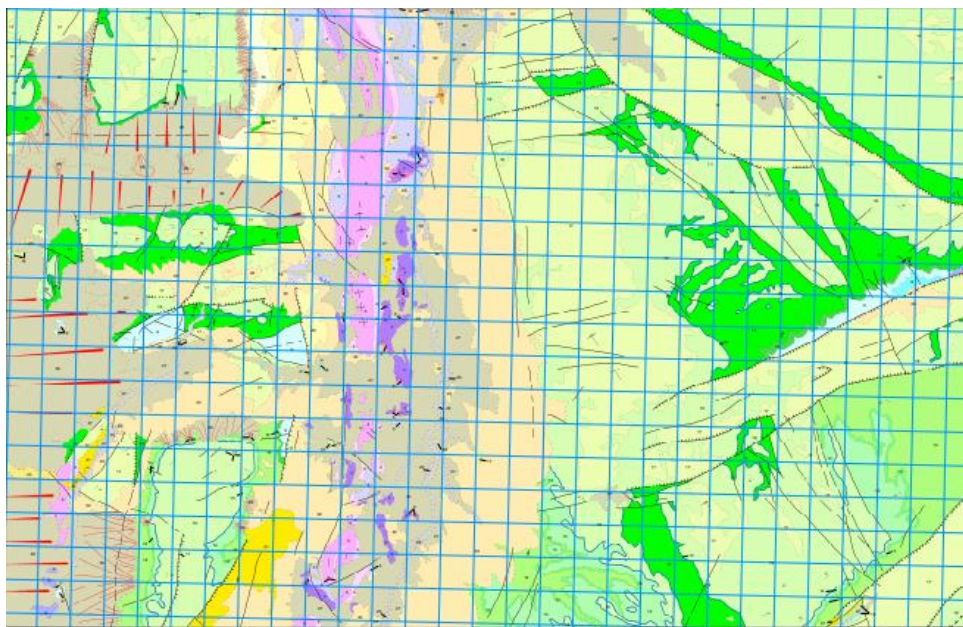


Figura 31-Mapa de sismología. Fuente: Instituto Geográfico Nacional

Finalmente, se estima que la sismología en Ayora no va a ser significativa para el presente proyecto, siendo viable la construcción del parque eólico en esta zona sin que se vea afectado por movimientos de tierras.

### 8.2.3 COMPOSICIÓN DEL SUELO Y RELIEVE

La siguiente figura muestra la composición del suelo de Ayora, localidad donde está situado el parque eólico del presente proyecto. Atendiendo a la leyenda del mapa se observa que el suelo está compuesto principalmente por yesos y arenas de distintos tipos.



**Figura 32 - Mapa geológico de Ayora. Fuente: Instituto Geológico y Minero de España**

En cuanto al relieve del área de estudio, la altitud oscila entre los 530 metros y los 1260 metros, siendo en torno a los 900 metros el emplazamiento escogido para el parque eólico. Hay que destacar el amplio corredor creado por la prolongación hacia el sur de la fosa central y los relieves tabulares orientales y occidentales. El resultado de esta fosa central es un paisaje de suaves pendientes y barrancos.

### 8.2.4 USOS DE LOS SUELOS

El emplazamiento escogido cuenta principalmente con matorrales, arbustos y pino carrasco, sin embargo, el área del Valle de Cofrentes-Ayora puede contar con tierras de cultivo. El cultivo predominante en esta zona es el olivo, el almendro, los cereales de secano típicos del clima continental y la vid.



### 8.2.5 FLORA

Como en el resto de la Comunidad Valenciana, la vegetación es típicamente mediterránea, aunque la riqueza natural del Valle de Ayora ofrece un paisaje exuberante. Se obtiene la información sobre la flora y la fauna de la Asociación Patrimonio Ayora.

En general, en el Valle de Cofrentes-Ayora, emplazamiento escogido para el parque eólico proyectado, se encuentra un gran manto verde formado por romero, tomillo, aliagas y pinadas. Se enumera a continuación la flora local más destacada de Ayora:

- Fesnillo o Gitam (*Dictamnus hispanicus*)
- Escabiosa enana (*Knautia subcaposa*)
- Cardo cardador (*Dipsacus fullonum*)
- Reina de los Prados (*Filipendula vulgaris*)
- Ajo amarillo (*Allium moly*)
- Astrágalo amarillo (*Astragalus alopecuroides*)
- Carraspique de pedregal (*Iberis carnosa*)
- Campanula de pedregal (*Campanula semisecta*)
- Dedalera (*Digitalis obscura*)
- Hierba lagunera (*Ranunculus peltatus*)
- Lirio enano (*Iris lutescens*)
- Guisante valenciano (*Lathyrus pulcher*)

### 8.2.6 FAUNA

La fauna en esta zona es la típica de la zona montañosa de la Comunidad Valenciana de las provincias de Valencia sur y el norte de Alicante, en la zona de interior. En mamíferos cabe destacar el conejo, que sirve de principal alimento a los carnívoros como el jabalí. Se procede a enumerar distintos ejemplos de cada categoría de animales.

- MAMÍFEROS
  - Gato montés (*Felis silvestris*)
  - Jabalí (*Sus scrofa*)
  - Cabra doméstica (*Capra pirenaica*)
  - Ardilla (*Sciurus vulgaris*)
  - Autillo (*Otus scops*)
  - Conejo (*Oryctolagus cuniculus*)
  - Garduña (*Martes foina*)
  
- ANFIBIOS
  - Sapo (*Bufo bujo*)
  - Rana (*Pelophylax perezi*)
  
- REPTILES
  - Vívora (*Vipera latastei*)

- Salamanesca (*Tarentola mauritanica*)
  - Lagartija colilarga (*Psammodromus algirus*)
  - Culebra bastarda (*Malpolon monspessulanus*)
  - Culebra viperina (*Natrix maura*)
- INSECTOS
    - Libélula (*Coenagrion* sp.)
    - Cinche (*Graphosoma lineatum*)
    - Araña (*Hogna radiata*)
    - Hormiga

Se aprecia una gran variedad de aves, las principales son:

- Residentes:
  - Halcón Peregrino
  - Roquero Solitario
  - Paloma Torcaz
  - Arrendajo
  - Águila Real
  - Tarabilla Europea
  - Agateador Europeo
  - Busardo Ratonero
  - Cuervo Grande
  - Curruca Cabecinegra
  - Herrerillo Capuchinof
  - Carbonero Garrapinos
  - Perdiz Roja
- Estivales
  - Avión Roquero
  - Culebrera europea
  - Vencejo Común
  - Vencejo Pálido
  - Busardo Ratonero
  - Curruca Rabilarga
- Invernales
  - Colirrojo Tizón
  - Pardillo Común

#### 8.2.7 ESPACIOS NATURALES

Para situar el emplazamiento ya se ha comprobado que no estaba dentro de ningún espacio protegido (apartado 4.1) por lo que el parque eólico no afecta a ningún espacio natural de la Comunidad Valenciana.

### 8.2.8 HIDROLOGÍA

Se plantea en este apartado si el proyecto de instalación de aerogeneradores interfiere en la red hidrográfica de la Comunidad Valenciana. Mediante el visor cartográfico de la Comunidad Valenciana se comprueba que no hay ningún río que se vea afectado por el emplazamiento del parque eólico, ya que se respeta completamente el cauce y la distancia a los ríos cercanos.

### 8.2.9 SOCIOECONOMÍA

El emplazamiento escogido denominado Valle de Cofrentes-Ayora, se encuentra dentro del término municipal de Ayora. Esta ciudad cuenta con una población de 5283 habitantes, de los cuales 2600 son hombres y 2683 mujeres, según los datos obtenidos a 1 de enero de 2020 del INE [18].

Relativo a la economía de la comarca, se basa en la agricultura y la ganadería siendo de especial importancia la apicultura, ya que Ayora es el mayor impulsor de miel de todo el mundo. En el sector secundario, en relación con la producción de energía se encuentra la Central nuclear de Cofrentes que es la mayor productora de empleo. Como se observa, es un paraje ya abierto a la energía limpia por lo que la instalación de una planta eólica podría impulsar este sector convirtiendo la generación de energía como el medio económico principal de la comarca del Valle de Ayora.

También hay que destacar la importancia del textil y de la construcción, ya que cuentan con numerosas empresas dedicadas activamente a este sector. Para terminar con este apartado hay que mencionar que Ayora cuenta con un polígono industrial de empresas locales.

Los datos de paro registrados en julio de 2021 en Ayora ascienden a un 17.18%, siendo la media de 2020 de 18.79%. Este dato deja el número de parados registrados en 420 personas.

## 8.3 IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS

En este apartado se identifican las acciones de la ejecución del parque eólico que puedan causar efectos ambientales. Los distintos impactos se van a agrupar en tres categorías, correspondientes cada una de ellas a la fase en la que se encuentre el proyecto en el momento en el que aparezca dicho impacto. Las tres fases son construcción, explotación y desmantelamiento.

- **Fase construcción**

- Construcción de accesos viales (carreteras y caminos).
- Modificación del hábitat mediante desbroce de la vegetación como bosque, matorrales y pastizales.
- Movimiento de tierras y emisiones de polvo.
- Pavimentación de la superficie.
- Construcción de aerogeneradores y líneas eléctricas.

- Circulación de maquinaria, camiones y automóviles.
  - Ruidos y vibraciones.
- 
- **Fase explotación**
    - Circulación de automóviles, camiones y maquinaria específica para mantenimiento.
    - Ruidos y vibraciones debidos al funcionamiento del parque eólico.
    - Presencia de los aerogeneradores en el entorno.
    - Control y gestión de la natura.
    - Generación de energía.
- 
- **Fase desmantelamiento**
    - Ruidos y vibraciones por el desmantelamiento del parque eólico.
    - Desarme de aerogeneradores y de las líneas eléctricas.
    - Circulación de automóviles, camiones y maquinaria específica para el desarme.
    - Movimiento de tierras.
    - Emisiones de polvo.
    - Reposición de la forestación.
    - Recogida y reciclaje de residuos.

## 8.4 FACTORES AMBIENTALES AFECTADOS

Los impactos ambientales pueden afectar al medio ambiente, por ello hay que caracterizar los elementos que puedan ser alterados por las acciones ambientales descritas en el apartado anterior. Estos factores ambientales se clasifican en cuatro grupos que se enumeran a continuación:

- **Características físicas y químicas**
  - Tierra: el terreno en el que se va a realizar la instalación de aerogeneradores se va a ver afectado por los distintos procesos, como son la cimentación y la pavimentación.
  - Atmósfera: Se emiten gases a la atmósfera por el uso de vehículos y maquinaria durante la construcción, el mantenimiento y el desmantelamiento del parque eólico.
  - Procesos: Se puede producir degradación del suelo por el uso continuado de camiones y máquinas pesadas.
  - Confort sonoro: Va a aumentar el ruido del emplazamiento del parque, causado principalmente por las palas de los aerogeneradores y el tránsito de vehículos y maquinaria.
  - Agua: Se pueden producir filtraciones en la parte cimentada. Estas filtraciones pueden deteriorar la calidad de las aguas subterráneas.

- **Condiciones biológicas**

- Flora: Se va a realizar el desbroce y la tala de la zona del emplazamiento para poder despejar la zona y realizar la instalación de aerogeneradores. Para paliar estos efectos se realizará un control de las especies presentes y una replantación de la zona tras el desmantelamiento del parque eólico.
- Fauna: Tras la disminución de la vegetación se puede ver la consecuente disminución de los animales que vivan en la zona del parque eólico. Las distintas especies se van a encontrar en un hábitat con menos flora y mayor ruido que el medio al que estaban acostumbrados. Especialmente el número de aves se ve reducido causando por el choque de ellas con las palas de los aerogeneradores. Se va a realizar un control de la fauna para minimizar el impacto.

- **Factores culturales**

- Explotación de tierras: los cultivos de la zona se pueden ver afectados.
- Empleo: la construcción, el mantenimiento y el desmantelamiento del parque eólico genera muchos puestos de trabajo. Esto supone un beneficio para la comarca en la que se sitúan los aerogeneradores.
- Estética: el paisaje se va a ver modificado por los aerogeneradores que tienen una altura de casi 100 metros. Sin embargo, la opinión de si mejora o empeora la estética de la zona es muy subjetiva dependiendo el tipo de persona a quien se pregunte.
- Actividades humanas: las redes de transportes se modificarán para la construcción del parque y para el montaje y desmontaje de los aerogeneradores. En la fase de desmantelamiento del parque los vertederos cercanos van a recibir numerosos residuos que no sean reciclables.
- Recreación: el Valle de Cofrentes es una zona de interés turístico, contando con numerosas sendas a su alrededor. Hay que modificar las rutas que pasen por el parque eólico.

- **Relaciones ecológicas**

- Cadena trófica: Esta cadena es el proceso de transferencia de sustancias nutritivas a través de las distintas especies de la comunidad biológica. Esta cadena se va a ver afectada por las condiciones biológicas mencionadas anteriormente, la disminución de la flora y la fauna del lugar donde se emplaza el parque eólico.

## 8.5 EVALUACIÓN DE IMPACTOS. MATRIZ DE LEOPOLD

Para evaluar conjuntamente los distintos impactos que tiene la instalación de aerogeneradores del presente proyecto se va a usar una herramienta llamada Matriz de Leopold. Es una matriz de tipo relacional causa-efecto, en la que en el eje horizontal se colocan las acciones enumeradas anteriormente que pueden causar un impacto ambiental. Por otro lado, en el eje

vertical se colocan los elementos ambientales que pueden verse afectados por las distintas acciones.

Se va a realizar una matriz de Leopold para cada una de las fases del proyecto: la fase de construcción, la fase de explotación y la fase de desmantelamiento. En cada conexión entre acción y elemento ambiental hay una casilla con una barra diagonal que la divide. En la parte superior de la casilla se indica la magnitud del posible impacto, siendo el 1 la mínima magnitud y 10 la máxima. Esta casilla puede adoptar un valor positivo o negativo, dependiendo de si supone un impacto positivo o perjudicial para el elemento ambiental. En la parte inferior de la casilla se coloca un valor positivo entre el 1 y el 10, nuevamente siendo el 1 el valor que representa la importancia o intensidad mínima del impacto y 10 la máxima.

Esta clasificación responde a una evaluación subjetiva de las acciones y repercusiones en el medio, aun así es muy útil para tener una calificación aceptable de los impactos que se producen por la construcción del parque eólico.

Una vez realizada la asignación numérica a cada casilla se realiza la suma de todas las filas y de todas las columnas. La suma de las filas indica la fragilidad del elemento ambiental considerado, mientras que la suma de las columnas indica la agresividad que tiene la acción en el medio. Para finalizar la matriz, se suman las casillas agrupando por las categorías las condiciones ambientales y las acciones. Así se puede observar cuáles son las acciones que más afectan al lugar donde se sitúa el parque eólico y cuáles son las condiciones ambientales que se ven más perjudicadas. Así se pueden buscar soluciones óptimas para minimizar los impactos del proyecto.

ACCIONES		ELEMENTOS AMBIENTALES	Construcción accesos	Desbroce vegetación	Modificación del hábitat	Movimiento de tierras	Emisiones de polvo	Cimentación	Construcción aerogeneradores	Construcción líneas eléctricas	Circulación vehículos	Ruidos y vibraciones	EVALUACIONES		
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS	Tierra	Suelos	-5/3			-3/2	-3/1	-1/2		-2/1	-6/3		-20/12	-33	
		Forma del terreno	-4/3			-3/3	-1/1	-1/1		-2/2	-2/3		-13/13	25	
	Atmósfera										-8/4		-8/4	4	
	Procesos										-6/5		-6/5	5	
	Confort sonoro							-2/1		-3/2	-4/4	-3/3	-15/12	-15/12	
	Agua							-2/1					-2/1	-2/1	
Condiciones biológicas	Flora	Bosques		-3/2	-3/1								-6/3	-25	
		Matorrales		-5/4	-5/4									-10/8	
		Pastizales		-5/5	-4/4									-9/9	20
	Fauna	Anfibios			-3/3	-1/1	-1/1						-3/2	-8/7	-46
		Reptiles			-3/3	-2/1	-1/1						-3/2	-9/7	
		Aves			-3/3	-1/1	-1/1						-1/1	-6/6	
		Mamíferos			-7/5	-2/3	-3/2						-4/2	-16/12	
		Insectos			-3/2	-2/1	-1/1						-1/1	-7/5	37
	Factores culturales	Explotación de tierras	Agricultura	-4/3					-3/3		-5/3			-12/9	-12/9
		Interés estético y humano	Salidas al campo	-1/2	-2/2						-1/1		-3/2	-7/7	-38
Calidad vida rural			-2/2			-2/1	-1/1		-3/2	-1/1	-2/3	-4/2	-15/12		
Paisajes				-6/4					-8/4	-2/2			-16/10	29	
Economía		Empleo	7/5	4/4				5/5	7/5	7/5			30/24	30/24	
Servicios e infraestructuras		Red de transportes	-3/1									-4/2	-7/3	-7/3	
	Vertedero											-	-	3	
Relaciones ecológicas	Cadena trófica			-3/4									-3/4	-3/4	
EVALUACIONES			-15/21	-17/21	-34/29	-16/13	-12/9	-4/13	-4/11	-9/17	-15/24	-22/15	-148	173	

**Tabla 29 - Fase de construcción**

La primera matriz representa la fase de construcción. A la vista de los resultados, los elementos ambientales más frágiles son, ordenando del más frágil al que menos lo es, la fauna, el suelo y la forma del terreno, el interés estético y humano y la flora. Se destaca como factor positivo la generación de empleo en la zona del proyecto, con el consiguiente beneficio económico para la comarca, ya que se van a tener que realizar numerosas obras para poner a punto el parque eólico. Las acciones más agresivas de esta fase son en primer lugar la modificación del hábitat y la construcción de accesos, el movimiento de tierras y emisión de polvo y la circulación de vehículos y máquinas pesadas, todo ello con el consecuente ruido y vibración que producen.

ELEMENTOS AMBIENTALES		ACCIONES		Circulación de automóviles	Movimiento tierras y emisiones polvo	Maquinaria pesada y camiones	Control y gestión de la natura	Aerogeneradores	Ruidos y vibraciones	EVALUACIONES	
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS	Tierra	Suelos		-1	-3	1				-4	-5
		Forma del terreno			1	-1					2
	Atmósfera	Calidad	-4		2	-6	3			-10	-10
	Procesos	Erosión	-1		1	-2	1			-3	-3
	Confort sonoro	Sonido	-2		1	-4	2	-5	-2	-13	-13
	Agua	Filtraciones						5	2	10	10
Condiciones biológicas	Flora	Bosques				3	3			3	17
		Matorrales				6	5			6	5
		Pastizales				8	5			8	13
	Fauna	Anfibios				2	2	-1	2	1	-1
		Reptiles				3	2	-4	2	-1	4
		Aves				5	2	-3	-4	-2	12
		Mamíferos				6	2	-2	1	4	3
		Insectos				1	1	-4	1	-3	2
Factores culturales	Explotación de tierras	Agricultura								-	-
	Interés estético y humano	Salidas al campo	-2	-1	-6	2	1	-3	2	-10	-23
		Calidad vida rural		-4	1	4	3	-6	-4	-10	7
		Paisajes						-3	2	-3	18
	Economía	Empleo				7	4	8	5	15	15
Servicios e infra-estructuras	Red de transportes									-	
	Vertedero									-	
Relaciones ecológicas	Cadena trófica									-	
EVALUACIONES				-9	-6	-22	47	-9	-24	-23	85
				6	3	11	30	21	14		

**Tabla 30 - Fase de explotación**

La segunda matriz de Leopold a realizar ha sido de la fase de explotación. Viendo los resultados, nuevamente es el interés estético y humano el mayor perjudicado, siendo la calidad de la vida rural, las salidas al campo y los paisajes los parámetros a cuantificar. También se ve el empleo



con un impacto positivo, además de que el control de la vegetación va a generar un impacto positivo a la flora autóctona del emplazamiento. El movimiento de la maquinaria pesada es la acción más perjudicial, consecuentemente se producen muchos ruidos y vibraciones. La acción más beneficiosa es el control y gestión de la natura, que tiene un impacto muy importante para paliar los efectos negativos del proyecto. El funcionamiento de los aerogeneradores va a ser un desencadenante muy grande del ruido y vibración que se produce en la zona.

ELEMENTOS AMBIENTALES		ACCIONES								EVALUACIONES			
		Ruidos y vibraciones	Desarme aerogeneradores	Desarme líneas eléctricas	Circulación automóviles	Maquinaria pesada y camiones	Movimiento de tierras	Emisiones de polvo	Reposición forestal			Recogida y reciclaje residuos	
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS	Tierra	Suelos				-3/3	-5/3	-3/2	-3/1			-14/9	-21/16
		Forma del terreno				-1/1	-2/2	-3/3	-1/1			-7/7	
	Atmósfera	Calidad				-3/3	-6/3					-9/6	-9/6
	Procesos	Erosión				-1/1	-4/2					-5/3	-5/3
	Confort sonoro	Sonido	-2/2			-1/1	-3/2					-6/5	-6/5
	Agua	Filtraciones											-
Condiciones biológicas	Flora	Bosques								3/3		3/3	17/13
		Matorrales								6/5		6/5	
		Pastizales								8/5		8/5	
	Fauna	Anfibios	-1/1					-1/1	-1/1	2/2		-1/5	-15/13
		Reptiles	-3/4					-2/1	-1/1	3/2		-3/8	
		Aves	-5/2					-1/1	-1/1	1/1		-6/5	
		Mamíferos	-3/2					-2/3	-3/2	6/2		-2/9	
		Insectos	-1/1					-2/1	-1/1	1/1		-3/4	31/24
Factores culturales	Explotación de tierras	Agricultura		-2/1	-2/1				1/1		-3/3	-3/3	
		Salidas al campo	-3/2	-4/1	-4/1				2/1			-9/5	-17/12
	Interés estético y humano	Calidad vida rural	-3/3	-2/1	-3/2	-2/2	-3/2	-2/1	-1/1	4/3		-12/15	
		Paisajes		3/3	1/1							4/4	24/12
	Economía	Empleo		7/4	6/4					7/4		20/12	20/12
	Servicios e infra-estructuras	Red de transportes				-4/2	-5/3					-9/5	-14/9
Vertedero										-5/4	-5/4		
Relaciones ecológicas	Cadena trófica										-	-	
EVALUACIONES			-21/17	2/10	-2/9	-15/13	-28/17	-16/13	-12/9	44/30	-5/4	-53/122	

Tabla 31 - Fase desmantelamiento

La tabla 31 muestra la última matriz que se realiza corresponde a la fase de desmantelamiento del parque. En esta fase los elementos ambientales beneficiados son nuevamente el empleo, que aumenta en la comarca gracias a los numerosos trabajos a realizar para desmontar el parque eólico, y la flora. Gracias al control de la vegetación se va a realizar una reposición de la flora autóctona que se hallaba antes de iniciar el proyecto. Al igual que en las fases anteriores, la maquinaria pesada es la acción que afecta de forma más agresiva, ya que generan el movimiento de tierras con la consecuente emisión de polvo, así como mucho ruido y vibración en la zona.

## 8.6 MEDIDAS PREVENTIVAS Y CORRECTORAS

En este apartado se exponen distintas soluciones, para prevenir como primera opción o para corregir en caso de que no sean evitables, los distintos impactos que el medio ambiente del entorno puede sufrir a causa de la instalación del parque eólico proyectado.

### 8.6.1 RUIDOS Y VIBRACIONES

Es difícil evitar el problema de los ruidos y vibraciones, especialmente en la fase de construcción y en la fase de desmantelamiento. La solución es utilizar modelos de máquinas que generen el menor ruido posible, usando maquinaria moderna de calidad.

En la fase de explotación tenemos el ruido que generan los vehículos que realizan operaciones de mantenimiento y el ruido que generan los aerogeneradores. Debido a la tecnología avanzada de los aerogeneradores el impacto sonoro es mínimo, ya que se puede usar un sistema para reducir el nivel de ruido que hacen las palas. Por otro lado, para evitar el ruido de los vehículos se pueden utilizar coches eléctricos.

### 8.6.2 CALIDAD DEL AIRE

La calidad del aire se puede ver afectada por el paso de numerosos vehículos que se encuentran en las tres fases del proyecto. Por ello, una de las posibles soluciones es emplear vehículos eléctricos para disminuir las emisiones que se producen por el uso. En línea con el objetivo de reducción de emisiones que hay a nivel europeo, la decisión de emplear maquinaria y turismos híbridos o eléctricos puede prevenir mayores problemas de contaminación.

### 8.6.3 SUELO Y EROSIÓN

El paso de camiones y maquinaria degradan el suelo, por lo que se tienen que tomar medidas con la finalidad de dañar lo mínimo el terreno. Para ello, una solución es limitar la velocidad de la maquinaria utilizada. Además, posteriormente a las distintas labores tanto de construcción como de desarme, hay que tratar de hacer una recuperación de las propiedades y la forma del terreno, para mantener el paraje lo más intacto posible.

#### 8.6.4 IMPACTO VISUAL

La forma de reducir el impacto visual de un parque eólico es mimetizar, en la medida de lo posible, la forma y disposición de los aerogeneradores con el entorno. A pesar de esto, el impacto visual es un precio a pagar gracias a poder generar energía de forma limpia y sostenible.

#### 8.6.5 FLORA

La implantación del parque eólico genera un impacto grande en la vegetación del lugar, para solventar este problema durante la fase de explotación se lleva a cabo la gestión necesaria con el objetivo de que se dañe la flora del entorno lo menos posible. Así, en la fase de desarme se realiza una reposición y reconstrucción de la forestación autóctona de la zona.

#### 8.6.6 FAUNA

La fauna se ve afectada, especialmente las aves del entorno. Los diversos estudios anuncian que numerosas aves mueren debido al choque con las palas de los aerogeneradores, por ello es necesario realizar un estudio de las aves de la zona y de la cantidad de ejemplares, para poder actuar en caso de que sea necesario.

El CSIC [19] ha desarrollado un sistema que permite detener las palas de los aerogeneradores cuando detectan un ave acercándose, por ello para minimizar el impacto en este sector de la fauna, se dotará a los aerogeneradores de este dispositivo.

## CAPÍTULO 9. ESTUDIO DE VIABILIDAD ECONÓMICA

Se realiza en este capítulo un estudio de viabilidad económica para determinar la rentabilidad del presente proyecto. Se divide este capítulo en dos partes: por un lado, se realiza la estimación aproximada del presupuesto utilizando los costes proporcionados por el Plan de Energías Renovables (PER) 2011-2020 [20]. Posteriormente, se utiliza el programa RETScreen [21] para simular las distintas hipótesis a estudiar para conocer el resultado económico de esta instalación.

### 9.1 COSTES INICIALES

Se obtiene en este apartado una aproximación de costes que se basan en los datos del PER 2011-2020. Estos cálculos se resumen en la tabla

	Inversión estimada (%)	Inversión (€)
Aerogeneradores	75%	30.000.000€
Obra civil e ingeniería	8%	3.200.000€
Instalación eléctrica	5%	2.000.000€
Subestación y conexión eléctrica	10%	4.000.000€
Promoción	2%	800.000€
Adicional	5%	2.000.000€
<b>Total</b>		<b>42.000.000€</b>

**Tabla 32 – Resumen cálculos inversión**

Atendiendo a los datos que da el PER 2011-2020, los gastos estipulados en la tabla anterior incluyen el transporte de los aerogeneradores, así como los costes de ingeniería y del estudio de factibilidad, que es un instrumento para orientar la toma de decisiones en la evaluación del proyecto.

### 9.2 COSTES DE EXPLOTACIÓN

Los costes de explotación recogen los gastos por mantenimiento de los aerogeneradores, los costes de los sueldos de los trabajadores necesarios, el costo del transporte de materiales y los componentes de repuesto que sean necesarios. Este coste está estimado (datos del PER 2011-2020) EN 45.000 €/MW/año.

Para el parque de 30 MW que está proyectado, los gastos de explotación anuales se calculan con la siguiente ecuación:

$$\text{Costes de explotación} = 45000\text{€} * 30 \text{ MW} = 1.350.000 \text{ € /año} \quad (13)$$

Por tanto, los costes de explotación ascienden a un millón trescientos cincuenta mil euros anualmente.

### 9.3 INGRESOS

Se estiman los ingresos debidos a la producción energética utilizando la siguiente fórmula, obtenida mediante el RD 413/2014, que corresponde a la tarifa de exportación de la electricidad.

$$\text{Tarifa de exportación} = \frac{\text{Retribución Específica} + \text{Ingresos Producción Anual}}{\text{Energía Producida Anualmente}} \quad (14)$$

De esta ecuación los distintos parámetros se especifican a continuación:

$$\text{Retribución Específica} = R_{inv} \cdot \text{Potencia}_{instalada} + R_0 \cdot \text{Energía}_{producida} \quad (15)$$

$$\text{Ingresos Producción Anual} = \text{Energía}_{producida} \cdot \text{Precio}_{mercado}(\text{€}) \quad (16)$$

El Real Decreto 413/2014 establece el valor de la retribución a la inversión ( $R_{inv}$ ) de 101.240 €/MW y el valor a la retribución a la operación ( $R_0$ ) de 0 €/MW.

Se procede a estimar ingresos totales, para ello se tiene en cuenta que la estación de aerogeneradores de este proyecto es de 30 MW, y que la producción anual del diseño escogido se ha calculado y es de 115.894,61 MWh. Además, el precio estimado de mercado en 2021 es de 79.05 €/MWh, obtenidos los datos de EnergyNews [23]. Finalmente, la tarifa de exportación es de **105,2566 €/MWh**.

Relativo al precio estimado de mercado, se van a utilizar datos de precio medio de 2021. Esta decisión se realiza en base a que los valores de 2020 no son representativos a causa de la pandemia que devaluó el precio de la energía por la escasa utilización de ella. Tampoco se va a utilizar el precio de 2019, ya que la situación actual de la tendencia de aumento del precio de la energía deja los valores de 2019 muy por debajo de la situación real actual. Por ello, aunque el año 2021 todavía no ha acabado, se va a utilizar el dato proporcionado por una estimación de la fluctuación del mercado, que deja el precio medio del mercado eléctrico español en 79,05 €/MWh. Comparando este valor con Alemania y Francia, el mercado español es un 9,8% más caro que el alemán y un 4,1% más que el mercado francés.

### 9.4 ANÁLISIS DE EMISIONES

En este apartado se va a comparar la energía eólica con la energía producida a partir del gas natural, para así hacer una estimación de las emisiones que no se están emitiendo a la atmósfera gracias a que la energía eólica es una energía renovable y limpia medioambientalmente en comparación con el gas natural.

Una vez realizado el cálculo, la cantidad de emisiones total que se evitaría gracias a este parque eólico asciende a 41.100 toneladas de CO<sub>2</sub> anuales. Como se observa en la figura 33, recorte del análisis de emisiones realizado con el programa RETScreen, esto equivale a 7527 coches no utilizados en un año.

	Caso base emisiones de GEI tCO2	Caso propuesto emisiones GEI tCO2	Reducción anual bruta de emisiones GEI tCO2	Derechos de transacción por créditos GEI %	Reducción de emisiones GEI anual neta tCO2
Proyecto de generación eléctrica	41.939,2	838,8	41.100,4		41.100,4
Reducción de emisiones GEI anual neta	41.100	tCO2	es equivalente a	7.527	Autos y camiones livianos no utilizados

**Figura 33- Resumen de reducción de emisiones. Fuente: RetScreen**

## 9.5 ANÁLISIS FINANCIERO

En este apartado se realiza el análisis financiero con el programa RETScreen. Antes de entrar de lleno a realizar el estudio, en relación con las emisiones hay que tener en cuenta que como el parque eólico no emite gases de efecto invernadero, se pueden vender derechos de emisión de estos gases a empresas que sí producen. Gracias a esto se aumentan los beneficios de la planta.

Se establece la vida útil del parque en base a la tabla 33, obtenida de la Orden IET/1045/2014 [24].

Categoría	Grupo	Subgrupo	Vida útil (años)
a)	a.1	a.1.1, a.1.2 y a.1.3	25
	a.2		25
b)	b.1	b.1.1	30
		b.1.2	25
	b.2	b.2.1	20
	b.3		20
	b.4, b.5, b.6, b.7, b.8		25
	c.1, c.2, c.3		25

**Tabla 33 - Vida útil según el tipo de instalación. Fuente: Orden IET/1045/2014**

Para realizar el análisis financiero usando la herramienta RETScreen hay que asignar distintos parámetros que se van a detallar a continuación. Se va a tomar una tasa de inflación del 2% y una tasa de descuento del 5%. Relativo a la financiación del proyecto, se toma la relación de deuda del 75%, siendo 7.875.000 € el capital a aportar. Fijando el interés de la deuda en 3.5% con una duración de 8 años queda que se paga 3.436.886 € euros de la deuda anualmente.

En cuanto a los ingresos, los anuales debidos a la producción de energía ascienden a 6.366.075€, que finalmente queda un ingreso anual de 6.777.079 € gracias a los beneficios que se obtienen por la venta de derechos de emisión, que son un total de 411.004 €. En la figura 34 se muestra el gráfico de flujo de caja acumulado.

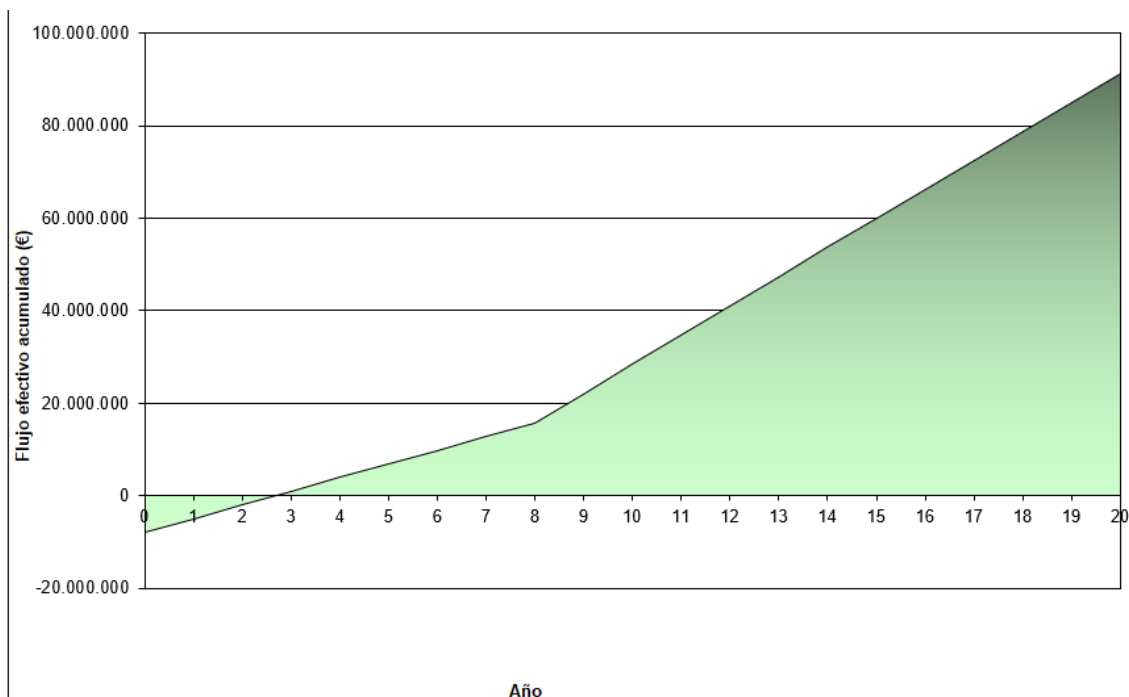


Figura 34: Gráfico de flujo de caja acumulado. Fuente: RETScreen

Se evalúa la rentabilidad mediante el VAN (Valor Actual Neto) 48.983.923 euros y el TIR (Tasa Interna de Retorno) 11,6%. El VAN representa los ingresos que se han generado en el presente proyecto después de la inversión y costes iniciales, se necesita que este valor sea mayor de cero para que el proyecto sea rentable. Por otro lado, el TIR indica la tasa de descuento con la que el VAN se hace cero, en otras palabras, cuanto mayor valor tenga el TIR mayor va a ser la rentabilidad de este proyecto. Mediante el programa RETScreen se han obtenido los valores de la siguiente tabla.

<b>Valor Actual Neto (VAN)</b>	48.983.923 €
<b>Tasa Interna de Retorno (TIR)</b>	11,6 %

Tabla 34. Valores del VAN y el TIR del proyecto. Fuente: RETScreen

El proyecto resulta rentable, ya que se considera inversión rentable cuando el TIR supere a la tasa de descuento. En este caso la tasa de descuento es del 5%, por lo que el TIR es mayor y el VAN es mucho mayor a cero. En el gráfico de flujo de caja acumulado se observa que la inversión inicial se recupera en 3 años, por lo que durante el resto de la explotación el parque eólico va a generar beneficios.

## 9.6 ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD

El análisis de sensibilidad es el último apartado del estudio de viabilidad económica del parque eólico proyectado. La finalidad de este análisis es observar cómo podría afectar a la rentabilidad de la inversión distintas variaciones de los parámetros de cálculo. Se va a estimar esta fluctuación en un 15%, por lo que la tarifa de exportación de electricidad se toma entre -15% y 15%.

Efectúe análisis sobre		TIR luego de impuestos - capital				
Rango de sensibilidad		15%				
Umbral		%				

Tarifa de exportación de electricidad		Costos iniciales				€
€/MWh		26.775.000	29.137.500	31.500.000	33.862.500	36.225.000
		-15%	-8%	0%	8%	15%
89,46	-15%	28,2%	25,8%	23,8%	22,0%	20,5%
97,36	-8%	30,8%	28,2%	26,0%	24,1%	22,4%
105,25	0%	33,3%	30,6%	<b>28,2%</b>	26,2%	24,4%
113,14	8%	35,9%	32,9%	30,4%	28,2%	26,3%
121,04	15%	38,4%	35,3%	32,6%	30,2%	28,2%

Figura 35. Análisis de sensibilidad sobre el TIR. Fuente: RETScreen

Efectúe análisis sobre		Valor Presente Neto (VPN)				
Rango de sensibilidad		15%				
Umbral		€				

Tarifa de exportación de electricidad		Costos iniciales				€
€/MWh		26.775.000	29.137.500	31.500.000	33.862.500	36.225.000
		-15%	-8%	0%	8%	15%
89,46	-15%	67.595.750	65.233.250	62.870.750	60.508.250	58.145.750
97,36	-8%	75.945.797	73.583.297	71.220.797	68.858.297	66.495.797
105,25	0%	84.295.844	81.933.344	<b>79.570.844</b>	77.208.344	74.845.844
113,14	8%	92.645.891	90.283.391	87.920.891	85.558.391	83.195.891
121,04	15%	100.995.938	98.633.438	96.270.938	93.908.438	91.545.938

Figura 36. Análisis de sensibilidad sobre el VAN. Fuente: RETScreen

El resumen de las tablas anteriores es que cuanto menor sea el coste inicial y mayor la tarifa de exportación de electricidad, mejor rentabilidad tendrá el proyecto. Al contrario, se observa que la rentabilidad del proyecto baja, aunque con esta sensibilidad no se encuentra ningún punto crítico donde la implantación del parque eólico deje de ser rentable. Hay que tener en cuenta que se ha tomado una tarifa de exportación optimista, debido a la situación actual de la electricidad. A pesar de ello se observa que incluso con una tarifa un 15% más baja, el presente proyecto continúa siendo rentable.

En base a estos cálculos se estima que es viable económicamente realizar el proyecto de instalación de un parque eólico de 30 MW en el Valle de Cofrentes-Ayora.



## CAPÍTULO 10. CONCLUSIONES

El presente proyecto ha tenido como objetivo el diseño de una instalación de aerogeneradores viable tanto económica como medioambientalmente. En primer lugar, se ha estudiado la ubicación óptima del parque eólico, dando como resultado una extensión montañosa perteneciente al Valle de Cofrentes en Ayora. Para comprobar la viabilidad de la zona se estudian las características del viento a la altura a la que se sitúa la instalación de aerogeneradores. Atendiendo a parámetros como la velocidad del viento y la rugosidad del terreno se obtiene que el recurso eólico disponible es susceptible de generar niveles aceptables de energía eólica.

A partir de tener clara la situación del parque eólico, se estudia el modelo de aerogenerador óptimo a utilizar en el diseño. En este apartado, tras analizar distintos modelos de la misma potencia, se han escogido tres aerogeneradores que proporcionan cada uno de ellos una potencia distinta. De esta forma, se diseñan tres posibilidades de parque eólico, correspondiente cada una de ellas a un tipo de aerogenerador. Se observa que cuantos más aerogeneradores son necesarios para obtener los 30 MW diseñados para el parque, más complicada resulta la disposición de ellos, siendo beneficioso priorizar el uso de aerogeneradores de mayor potencia para minimizar tanto el impacto ambiental como los costes de desplazamiento.

Tras analizar la potencia a obtener en el conjunto de aerogeneradores, se concluye que el modelo correspondiente a 3 MW es el óptimo, ya que es el que maximiza la energía obtenida por el parque eólico, por lo que se decide hacer el estudio de impacto ambiental y el estudio de viabilidad económica con este modelo.

Relativo al medio ambiente, el mayor perjuicio que tiene la instalación de un parque eólico en el entorno natural es el impacto paisajístico debido por un lado al desbroce que se realiza de la vegetación y por otro a la presencia de los propios aerogeneradores que tienen una altura total de más de 100 metros en el conjunto de torres más palas. Sin embargo, en su conjunto este proyecto es beneficioso para el medio ambiente, ya que es una forma de generar energía de forma limpia con un recurso inagotable que es el viento.

Para terminar, el estudio de viabilidad económica afirma que el proyecto es rentable. Los ingresos iniciales que hay que realizar en el parque se recuperan en un periodo de tres años. Además, el análisis de emisiones confirma el ahorro de combustible fósil que se va a conseguir gracias a esta instalación eólica. Finalmente, el análisis de sensibilidad muestra un valor de VAN de 48.983.923 euros y un valor de TIR del 11,6 %. Además, se observa cómo va a ser la fluctuación de los beneficios económicos del proyecto dependiendo del precio de mercado al que se pueda vender la electricidad, que se ha tomado un valor mayor respecto al precio de 2019 debido a la tendencia que está tomando recientemente el precio de la electricidad.

## CAPÍTULO 11. REFERENCIAS

- [1] NACIONES UNIDAS. Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible. Objetivo 7  
<<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/energy/>> [Consulta: 7 de abril de 2021]>
- [2] GENERALITAT VALENCIANA. Plan Eólico de la Comunidad Valenciana.  
<[https://cindi.gva.es/documents/161328209/167645412/PECV\\_1\\_memoria.pdf/3f2d280e-fde2-4a15-9c8d-ded2e4c3ee0c](https://cindi.gva.es/documents/161328209/167645412/PECV_1_memoria.pdf/3f2d280e-fde2-4a15-9c8d-ded2e4c3ee0c)> [Consulta: 15 de abril de 2021]
- [3] DECRETO LEY 14/2020, de 7 de agosto, del Consell.  
De medidas para acelerar la implantación de instalaciones para el aprovechamiento de las energías renovables por la emergencia climática y la necesidad de la urgente reactivación económica. Num. 8893 / 28.08.2020
- [4] INSTITUTO PARA LA DIVERSIFICACIÓN Y AHORRO DE LA ENERGÍA.  
< <https://www.idae.es>> [Consulta: 20 de abril de 2021]
- [5] GLOBAL WIND ATLAS.  
< <https://globalwindatlas.info/> > [Consulta: 03 de junio de 2021]
- [6] IRENA. Transformación energética 2020-2050  
<[https://www.irena.org//media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Apr/IRENA\\_GR\\_O\\_2020\\_findings\\_ES.pdf?la=en&hash=C383FC272E58FC08AF6D9F43CBC282C6C62E7930](https://www.irena.org//media/Files/IRENA/Agency/Publication/2020/Apr/IRENA_GR_O_2020_findings_ES.pdf?la=en&hash=C383FC272E58FC08AF6D9F43CBC282C6C62E7930)> [Consulta: 07 de abril de 2021]
- [7] GWEC MARKET INTELLIGENCE.  
< <https://gwec.net/tag/market-intelligence/>> [Consulta: 06 de julio de 2021]
- [8] AGENCIA INTERNACIONAL DE ENERGÍA. AIE.  
< <https://www.iea.org/>> [Consulta: 12 de julio de 2021]
- [9] ASOCIACIÓN EMPRESARIAL EÓLICA. AEE.  
< <https://www.aeeolica.org/comunicacion/la-actualidad-eolica/4652-la-asociacion-empresarial-eolica-lanza-el-anuario-eolico-2021-un-analisis-de-la-situacion-actual-de-la-eolica-en-espana-y-en-el-mundo-2> > [Consulta: 13 de julio de 2021]
- [10] WIND EUROPE.  
< <https://windeurope.org/> > [Consulta: 22 de julio de 2021]
- [11] RED ELÉCTRICA DE ESPAÑA. REE.  
< <https://www.ree.es/es> > [Consulta: 24 de julio de 2021]
- [12] CUADERNO DE APLICACIONES TÉCNICAS NÚMERO 12. PLANTAS EÓLICAS.  
<[LIBRO-EOLICA-ABB.pdf](#) >
- [13] Norma IEC 61400-1 (IEC, 2005).  
< [061400NENN108\\_ES.pdf](#) > [Consulta: 02 de julio de 2021]
- [14] WIND TURBINE MODELS  
< <https://es.wind-turbine-models.com/> > [Consulta: 05 de mayo de 2021]
- [15] Ley 21/2013 (BOE, 2013) Anexo VI
- [16] CLIMATE-DATA.  
< [Clima Ayora: Temperatura, Climograma y Tabla climática para Ayora - Climate-Data.org](#) > [Consulta: 12 de agosto de 2021]
- [17] INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL. IGN.

< <http://www.ign.es/web/ign/portal/cbg-area-cartografia> > [Consulta: 14 de agosto de 2021]

[18] INE

< [Población por sexo, municipios y país de nacimiento\(33947\) \(ine.es\)](http://ine.es) > [Consulta: 18 de agosto de 2021]

[19] CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS. CSIC.

< <https://www.csic.es/> > [Consulta: 22 de agosto de 2021]

[20] IDAE. PLAN DE ENERGÍAS RENOVABLES 2011-2020

< <https://www.idae.es/tecnologias/energias-renovables/plan-de-energias-renovables-2011-2020> > [Consulta: 08 de agosto de 2021]

[21] RETScreen. GOBIERNO DE CANADÁ.

< <https://www.nrcan.gc.ca/maps-tools-and-publications/tools/modelling-tools/retscreen/7465> >

[23] ENERGY NEWS

< <https://www.energynews.es/> > [Consulta: 17 de julio de 2021]

[24] Orden IET/1045/2014 [25].

# PRESUPUESTO

## **SECCIÓN 1**

### **CAPÍTULO 1. AEROGENERADORES**

Código	Medición	Ud.	Descripción	Precio unitario	Precio total
C1.01	10	Ud.	Aerogenerador de potencia nominal de 3.0 MW de marca Enercon. Diámetro de rotor y altura de torre 94 metros.	3.000.000€	30.000.000€
					<b>30.000.000€</b>

TOTAL CAPÍTULO 1. AEROGENERADORES 30.000.000 €

### **CAPÍTULO 2. OBRA CIVIL E INGENIERÍA**

TOTAL CAPÍTULO 2. OBRA CIVIL E INGENIERÍA 3.200.000 €

### **CAPÍTULO 3. INSTALACIÓN ELÉCTRICA**

TOTAL CAPÍTULO 3. INSTALACIÓN ELÉCTRICA 2.000.000 €

### **CAPÍTULO 4. SUBESTACIÓN Y CONEXIÓN ELÉCTRICA**

TOTAL CAPÍTULO 4. SUBESTACIÓN Y CONEXIÓN ELÉCTRICA 4.000.000 €

### **CAPÍTULO 5. PROMOCIÓN**

TOTAL CAPÍTULO 5. PROMOCIÓN 800.000 €

### **CAPÍTULO 6. CONTINGENCIAS**

TOTAL CAPÍTULO 6. CONTINGENCIAS 2.000.000 €

### **RESUMEN PRESUPUESTO CONSTRUCCIÓN**

TOTAL CAPÍTULO 1. AEROGENERADORES	30.000.000 €
TOTAL CAPÍTULO 2. OBRA CIVIL E INGENIERÍA	3.200.000 €
TOTAL CAPÍTULO 3. INSTALACIÓN ELÉCTRICA	2.000.000 €
TOTAL CAPÍTULO 4. SUBESTACIÓN Y CONEXIÓN ELÉCTRICA	4.000.000€
TOTAL CAPÍTULO 5. PROMOCIÓN	800.000€
TOTAL CAPÍTULO 6. CONTINGENCIAS	2.000.000€
<b>TOTAL PRESUPUESTO CONSTRUCCIÓN</b>	<b>42.000.000€</b>

## **SECCIÓN 2**

### **CAPÍTULO 1. PRECIOS DESCOMPUESTOS**

Número	Magnitud	Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Subtotal	Importe
<b>Apartado 1</b>		<b>Contexto del estudio</b>				<b>850,5</b>
Apartado 1.1		Búsqueda de información				247,2
1.1.01	h	Estudiante Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales	20	12	240	
1.1.02		Costes Directos Complementarios	0,03	240	7,2	
Apartado 1.2		Redacción técnica				296,64
1.2.01	h	Estudiante Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales	24	12	288	
1.2.02		Costes Directos Complementarios	0,03	288	8,64	
Apartado 1.3		Recursos empleados				67,70
1.3.01	Ud	Microsoft Office	1	65	65	
1.3.02	kWh	Electricidad	6	0,12	0,72	
1.3.03		Costes Directos Complementarios	0,03	65,72	1,98	
Apartado 1.4		Seguimiento				238,96
1.4.01	h	Estudiante Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales	6	12	72	
1.4.02	h	Profesor tutor	10	16	160	
1.4.03		Costes Directos Complementarios	0,03	232	6,96	

Número	Magnitud	Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Subtotal	Importe
<b>Apartado 2</b>		<b>Estudio de alternativas y cálculo de energía</b>				<b>1.918,28</b>
Apartado 2.1		Búsqueda de información				716,88
2.1.01	h	Estudiante Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales	58	12	696	
2.1.02		Costes Directos Complementarios	0,03	696	20,88	
Apartado 2.2		Cálculos				370,8
2.2.01	h	Estudiante Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales	30	12	360	
2.2.02		Costes Directos Complementarios	0,03	360	10,8	
Apartado 2.3		Redacción técnica				565,68
2.3.01	h	Estudiante Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales	46	12	552	
2.3.02		Costes Directos Complementarios	0,03	552	16,56	
Apartado 2.4		Recursos empleados				1,24
2.4.01	kWh	Electricidad	10	0,12	1,20	
2.4.02		Costes Directos Complementarios	0,03	1,20	0,036	
Apartado 2.5		Seguimiento				263,686
2.5.01	h	Estudiante Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales	8	12	96	
2.5.02	h	Profesor tutor	10	16	160	
2.5.03		Costes Directos Complementarios	0,03	256	7,68	

Número	Magnitud	Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Subtotal	Importe
<b>Apartado 3</b>		<b>Estudios de impacto ambiental y viabilidad económica</b>				<b>1.633,75</b>
Apartado 3.1		Búsqueda de información				494,4
3.1.01	h	Estudiante Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales	40	12	480	
3.1.02		Costes Directos Complementarios	0,03	480	14,4	
Apartado 3.2		Cálculos				247,2
3.2.01	h	Estudiante Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales	20	12	240	
3.2.02		Costes Directos Complementarios	0,03	240	7,20	
Apartado 3.3		Redacción técnica				469,68
3.3.01	h	Estudiante Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales	38	12	456	
3.3.02		Costes Directos Complementarios	0,03	456	13,68	
Apartado 3.4		Recursos empleados				2,23
3.4.01	kWh	Electricidad	18	0,12	2,16	
3.4.02		Costes Directos Complementarios	0,03	2,16	0,065	
Apartado 3.5		Seguimiento				420,24
3.5.01	h	Estudiante Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales	14	12	168	
3.5.02	h	Profesor tutor	15	16	240	
3.5.03		Costes Directos Complementarios	0,03	408	12,24	



Número	Magnitud	Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Subtotal	Importe
<b>Apartado 4</b>		<b>Presupuesto</b>				<b>355,56</b>
Apartado 4.1		Elaboración				123,60
4.1.01	h	Estudiante Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales	10	12	120	
4.1.02		Costes Directos Complementarios	0,03	120	3,60	
Apartado 4.2		Recursos empleados				1,24
4.2.01	kWh	Electricidad	10	0,12	1,20	
4.2.02		Costes Directos Complementarios	0,03	1,20	0,04	
Apartado 4.3		Seguimiento				230,72
4.3.01	h	Estudiante Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales	8	12	96	
4.3.02	h	Profesor tutor	8	16	128	
4.3.03		Costes Directos Complementarios	0,03	224	6,72	

## CAPÍTULO 2. RESUMEN

Número	Descripción	Importe	%
<b>1</b>	<b>Contexto del estudio</b>	<b>850,50</b>	<b>17,87</b>
1.1	Búsqueda de información	247,20	5,20
1.2	Redacción técnica	296,64	6,23
1.3	Recursos empleados	67,70	1,42
1.4	Seguimiento	238,96	5,02
<b>2</b>	<b>Estudio de alternativas y cálculo de energía</b>	<b>1.918,28</b>	<b>40,32</b>
2.1	Búsqueda de información	716,88	15,07
2.2	Cálculos efectuados	370,80	7,79
2.3	Redacción técnica	565,68	11,89
2.4	Recursos empleados	1,24	0,03
2.5	Seguimiento	263,69	5,54
<b>3</b>	<b>Estudios de impacto ambiental y viabilidad económica</b>	<b>1.633,75</b>	<b>34,34</b>
3.1	Búsqueda de información	494,40	10,39
3.2	Cálculos	247,20	5,20
3.3	Redacción técnica	469,68	9,87
3.4	Recursos empleados	2,23	0,05
3.5	Seguimiento	420,24	8,83
<b>4</b>	<b>Presupuesto</b>	<b>355,56</b>	<b>7,47</b>
4.1	Elaboración	123,60	2,60
4.2	Recursos empleados	1,24	0,03
4.3	Seguimiento	230,72	4,85
<b>TOTAL</b>		<b>4.758,09</b>	

El coste final del presupuesto es de CUATRO MIL SETECIENTOS CINCUENTA Y OCHO EUROS CON NUEVE CÉNTIMOS.