



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

Análisis de viabilidad de un parque eólico de 17,4 MW en la
comarca de Los Puertos de Morella, Castellón.

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales

AUTOR/A: Vea Domínguez, Pablo Luis

Tutor/a: Villanueva López, José Felipe

CURSO ACADÉMICO: 2022/2023

Análisis de viabilidad de un parque eólico de 17,4 MW en la comarca de Los Puertos de Morella, Castellón.

AUTOR: PABLO LUIS VEA DOMÍNGUEZ

TUTOR: JOSE FELIPE VILLANUEVA LÓPEZ

Curso Académico: 2022-2023

AGRADECIMIENTOS:

Quiero aprovechar esta ocasión para agradecer en primer lugar a mi tutor, José Felipe Villanueva López, el cual accedió a ejercer como tutor de este trabajo pese a tener muchos otros trabajos y obligaciones. Sin su ayuda y sus consejos no habría sido posible la consecución de este proyecto.

También agradezco a mi familia por su paciencia y cariño incondicional. Así como a mis amigos, por todos los momentos tanto buenos como malos de los que he ido aprendiendo hasta ser la persona que soy hoy.

RESUMEN

Este Trabajo Final de Grado hace referencia al diseño de un parque eólico. Cuenta con todos los datos y estudios realizados con la intención de que sea un proyecto veraz y que se pueda algún día llevar a cabo.

En primer lugar, se realiza un estudio del potencial eólico en la zona elegida. Posteriormente se selecciona entre todas las clases y modelos de aerogeneradores para seleccionar el más adecuado para nuestro proyecto teniendo muy en cuenta su producción potencial de energía. Por último, se consideran varias alternativas en cuanto a la disposición de los aerogeneradores sobre la zona elegida y se destaca una por atisbarse como la más conveniente desde el punto de vista de la producción energética.

Además, se ha realizado un estudio sobre el impacto ambiental que tendría la ejecución del proyecto y otro sobre la viabilidad económica del mismo.

RESUM

Aquest treball final de grau fa referència al disseny d'un parc eòlic. Compte amb totes les dades i estudis realitzats amb la intenció que sigui un projecte veraç i que es pugui algun dia dur a terme.

En primer lloc, es realitza un estudi del potencial eòlic a la zona escollida. Posteriorment se selecciona entre totes les classes i models d'aerogeneradors per seleccionar el més adequat per al nostre projecte tenint molt en compte la producció potencial d'energia. Finalment, es consideren diverses alternatives quant a la disposició dels aerogeneradors sobre la zona escollida i se'n destaca una per entreveure's com la més convenient des del punt de vista de la producció energètica.

A més, s'ha realitzat un estudi sobre l'impacte ambiental que tindria l'execució del projecte i un altre sobre la viabilitat econòmica del projecte.

ABSTRACT

This Degree's Thesis refers to the design of a wind farm. It has all the data and studies carried out with the intention of making it a true project and that it can be carried out one day.

First, a study of the wind potential in the chosen area is carried out. Subsequently, it is selected among all the classes and models of wind turbines to select the most suitable for our project, taking into account its potential energy production. Finally, several alternatives are considered in terms of the layout of the wind turbines in the chosen area, and one stands out as the most convenient from the point of view of energy production.

In addition, a study has been carried out on the environmental impact that the execution of the project would have and another on its economic viability.

ÍNDICE

Documentos contenidos en el TFG

- Documento nº1: MEMORIA
- Documento nº2: PRESUPUESTO

ÍNDICE DE LA MEMORIA

1. INTRODUCCIÓN.....	11
1.1 OBJETO DEL PROYECTO.....	11
1.2. ALCANCE DEL TRABAJO FINAL DE GRADO.....	12
1.3. JUSTIFICACIÓN.....	12
2. NORMATIVA.....	14
2.1. LEGISLACIÓN EUROPEA.....	14
2.2. LEGISLACIÓN ESTATAL.....	14
2.3. LEGISLACIÓN AUTONÓMICA.....	15
3. PANORAMA ACTUAL.....	16
3.1. PANORAMA MUNDIAL.....	16
3.2. PANORAMA EUROPEO.....	18
3.3. PANORAMA NACIONAL.....	20
4. CARACTERIZACIÓN DEL RECURSO EÓLICO.....	22
4.1. CARACTERIZACIÓN DEL TERRITORIO.....	22
4.2. EVALUACIÓN DEL POTENCIAL EÓLICO.....	23
4.2.1. Velocidad media anual.....	23
4.2.2. Rugosidad Superficial.....	24
4.3. ELECCIÓN DE LA ZONA.....	25
4.4. ROSA DE LOS VIENTOS.....	29
4.5. DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL.....	31
4.6. PERFIL DE VELOCIDADES.....	32
5. CARACTERIZACIÓN DE LOS AEROGENERADORES.....	33
5.1. CLASES DE AEROGENERADORES.....	33
5.2. ELECCIÓN DEL MODELO.....	33
6. DISEÑO DEL PARQUE EÓLICO.....	38
6.1. EFECTOS MODIFICADORES DEL VIENTO.....	38
6.1.1. Efecto parque.....	38
6.1.2. Efecto colina.....	38
6.2. ALTERNATIVAS DE DISEÑO.....	39
6.2.1. Alternativa A.....	39
6.2.2. Alternativa B.....	40
6.3. COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS.....	41
7. ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL.....	42
7.1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	42
7.2. INVENTARIO AMBIENTAL.....	42
7.2.1. Clima.....	42
7.2.2 Sismología.....	43
7.2.3. Composición del suelo y relieve.....	44

7.2.4. Usos del suelo.....	44
7.2.5. Hidrología.....	44
7.2.6. Patrimonio Histórico-Artístico.....	44
7.2.7. Espacios naturales.....	45
7.2.8. Socioeconomía.....	45
7.2.9. Fauna.....	45
7.2.10. Flora.....	48
7.3. IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS.....	49
7.4. FACTORES AMBIENTALES AFECTADOS.....	49
7.5. EVALUACIÓN DE IMPACTOS. MATRIZ DE LEOPOLD.....	51
7.6. MEDIDAS PREVENTIVAS Y CORRECTORAS.....	57
7.6.1. Ruido.....	57
7.6.2. Contaminación del aire.....	57
7.6.3. Erosión del terreno.....	58
7.6.4. Impacto visual.....	58
7.6.5. Fauna.....	58
7.6.6. Flora.....	58
8. ESTUDIO DE VIABILIDAD ECONÓMICA.....	59
8.1. COSTES INICIALES.....	59
8.2. COSTES DE EXPLOTACIÓN.....	59
8.3. INGRESOS.....	59
8.4. FLUJOS DE CAJAS.....	60
9. CONCLUSIONES.....	64
10. REFERENCIAS.....	65

ÍNDICE DEL PRESUPUESTO

1. PRESUPUESTO DESCOMPUESTO.....	71
2. RESUMEN.....	74

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Producción de energía eléctrica a partir de fuentes renovables en España en 2022, por comunidad autónoma. Fuente: Statista.....	21
Tabla 2. Clasificación de aerogeneradores.....	33
Tabla 3. Clases de aerogeneradores.....	34
Tabla 4. Especificaciones técnicas aerogenerador SG 2.1-114.....	34
Tabla 5. Especificaciones técnicas aerogenerador SG 2.2-122.....	34
Tabla 6. Especificaciones técnicas aerogenerador SG 2.6-114.....	35
Tabla 7. Especificaciones técnicas aerogenerador SG 2.9-129.....	35
Tabla 8. Cálculos de aerogenerador para la zona 3.....	37
Tabla 9. Cálculos de aerogenerador para la zona 2.....	37
Tabla 10. Resumen alternativa A.....	40
Tabla 11. Resumen alternativa B.....	41
Tabla 12. Comparativa de alternativas.....	42
Tabla 13. Fauna de la zona 1.....	47
Tabla 14. Fauna de la zona 2.....	48
Tabla 15. Fauna de la zona 3.....	49
Tabla 16. Atributos para la matriz de Leopold.....	53
Tabla 17. Calificación final de impacto ambiental.....	54
Tabla 18. Calificación en colores del impacto ambiental.....	54
Tabla 19. Matriz de Leopold fase de construcción.....	55
Tabla 20. Matriz de Leopold fase de explotación.....	56
Tabla 21. Matriz de Leopold fase de desmantelamiento.....	57
Tabla 22. Costes iniciales.....	60
Tabla 23. Vida útil según tipo de instalación. Fuente: Real Decreto 413/2014.....	62
Tabla 24. Comparación posibles escenarios. Tasa de interés de la deuda 4%.....	63
Tabla 25. Comparación posibles escenarios. Tasa de interés de la deuda 5%.....	64
Tabla 26. Comparación posibles escenarios. Tasa de interés de la deuda 6%.....	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Disminución del coste de las renovable en 2021. Fuente: IRENA.....	16
Figura 2. Potencia adquirida en energías renovables en 2022. Fuente IRENA.....	17
Figura 3. Participación de energías renovables en la expansión anual de la capacidad de energía. Fuente: IRENA.....	18
Figura 4. Evolución de la producción de la energía eólica en Europa. Fuente IRENA.....	19
Figura 5. Comparación entre el precio de la luz en 2021 y 2022. Fuente: OMIE.....	20
Figura 6. Localización de los Puertos de Morella.....	22
Figura 7. Orografía de la comarca. Fuente: Google.....	23
Figura 8. Cálculo del viento en la zona. Fuente: Global Wind Atlas.....	24
Figura 9. Rugosidad superficial de la zona. Fuente: Global Wind Atlas.....	24
Figura 10. Áreas potenciales de aprovechamiento eólico. Fuente PECV.....	25
Figura 11. Especificación de las zonas de aprovechamiento eólico. Fuente PECV.....	26
Figura 12. Orografía de la zona elegida. Fuente: Visor cartográfico.....	27
Figura 13. Acote de las zonas de estudio. Fuente: Visor cartográfico.....	28
Figura 14. Rosa de los vientos. Frecuencia. Fuente: Global Wind Atlas.....	29
Figura 15. Rosa de los vientos. Velocidad media. Fuente: Global Wind Atlas.....	30
Figura 16. Rosa de los vientos. Energía. Fuente: Global Wind Atlas.....	30
Figura 17. Distribución de Weibull.....	31
Figura 18. Perfil de velocidades.....	32
Figura 19. Curva de potencia de aerogenerador. Fuente: Gamesa.....	35
Figura 20. Efecto parque.....	38
Figura 21. Efecto colina.....	39
Figura 22. Distribución de aerogeneradores. Alternativa A.....	40
Figura 23. Distribución de aerogeneradores. Alternativa B.....	41
Figura 24. Climograma de Morella. Fuente: Climate-Data.org.....	44
Figura 25. Sismicidad de la península ibérica. Fuente: IGN.....	44

MEMORIA

1. INTRODUCCIÓN

1.1 OBJETO DEL PROYECTO

El objeto de este Trabajo Final de Grado es el diseño de un parque eólico de 6 aerogeneradores de entre 2 y 3 MW de potencia nominal, para alcanzar así un total de 12 a 18 MW de potencia instalada en el término municipal de Puertos de Morella, Castellón. Con este parque tratamos de proporcionar a la red eléctrica nacional una mayor potencia eléctrica pero, eso sí, proveniente de una fuente de energía limpia y renovable.

Para llevar a cabo este proyecto, debemos cumplir una serie de objetivos que se enumeran a continuación:

- Caracterizar el potencial eólico de la zona de estudio (velocidades medias, rosa de vientos, rugosidades, distribución de Weibull, etc) haciendo uso de las herramientas y bases de datos proporcionadas por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) y el Global Wind Atlas (*Global Wind Atlas*, 2023).
- Realizar un estudio entre las diferentes clases y modelos de aerogeneradores del mercado para seleccionar el más eficiente para nuestra zona y energía requerida.
- Diseñar el parque eólico teniendo en cuenta las características de los aerogeneradores elegidos. Analizando especialmente la disposición de los mismos en la superficie disponible, así como la orientación de sus palas. Todo ello para maximizar la energía producida por cada aerogenerador.
- Realizar un Estudio de Impacto Ambiental para analizar los impactos y las repercusiones que podrían tener la ejecución de este proyecto. Indicando también una serie de medidas preventivas y correctoras para nuestro diseño.
- Estudio de la viabilidad económica del parque con el fin de comprobar su rentabilidad y poder así, algún día, llevarlo a ejecución.

1.2. ALCANCE DEL TRABAJO FINAL DE GRADO

El alcance de nuestro Trabajo Final de Grado es el de un proyecto de viabilidad para diseñar un parque eólico. Para ello debemos realizar una serie de estudios con el fin de garantizar esa viabilidad de la hablamos. Un estudio del potencial eólico de la zona, otro comparativo entre diferentes aerogeneradores y otro sobre la mejor distribución de estos en el terreno escogido. Todo esto con el fin de extraer de nuestro parque la máxima potencia eléctrica posible manteniendo la sostenibilidad de la zona.

De igual manera, también es alcance de nuestro proyecto el estudio del impacto ambiental, es decir, el estudio de las repercusiones que podría tener la instalación de nuestro parque eólico en ese aspecto. Así como un estudio de viabilidad económica para verificar la viabilidad económica del proyecto.

Es importante recalcar que se trata de un estudio de viabilidad, esto quiere decir que no se entra en un diseño detallado del parque, simplemente se comprueba la posibilidad de su implantación. Por ello, tratamos de simplificar algunos aspectos y tampoco entramos en otros más profundos por ser innecesarios para nuestro estudio.

1.3. JUSTIFICACIÓN

Nuestro Trabajo Final de Grado se realiza en el contexto del Paquete Europeo de Energía y Cambio Climático, el cual establece unos objetivos de, al menos un 55% de reducción en emisiones de gases de efecto invernadero, y, al menos, un 32% de energías renovables en el consumo de energía para el año 2030.

Así mismo, este proyecto también considera el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) de 10 años para el período 2021-2030. El PNIEC persigue la reducción de un 23% de emisiones de gases de efecto invernadero respecto de 1990. Este objetivo implica eliminar una de cada tres toneladas de gases de efecto invernadero que se emiten actualmente y da cumplimiento al Reglamento (UE) 2018/1999 del Parlamento Europeo y del Consejo de 11 de diciembre de 2018 sobre la gobernanza de la Unión de la Energía y de la Acción por el Clima. (Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico, 2021)

Además de tener en cuenta el Plan Sectorial Eólico de la Comunidad Valenciana (PECV), encargado de regular todas las características que tiene que tener en cuenta a la hora de su diseño y construcción un parque eólico en esta comunidad autónoma.

Nuestro estudio se basa en todos estos planes de trabajo mencionados anteriormente y, siguiendo las pautas y puntos que estos proponen, estudiamos la viabilidad de impulsar el proyecto de un parque eólico en la zona escogida.

Todo nuestro estudio proviene de los ODS marcados por las Naciones Unidas (Gamez, 2022). Concretamente, el séptimo de estos objetivos habla sobre el paso a una energía asequible y no contaminante. Ahí es donde entraría nuestro parque eólico, como elemento favorecedor para lograr este objetivo.

2. NORMATIVA

2.1. LEGISLACIÓN EUROPEA

La Unión Europea (UE) regula su normativa con Directivas, instrumentos jurídicos utilizados para aplicar las políticas de la UE. Las Directivas marcan unos objetivos a cumplir, pero dejan libertad en cuanto a la manera de alcanzar esos objetivos.

- Energía eléctrica:

Los objetivos en materia de Energías Renovables para la Unión Europea los marcaba la Directiva sobre fuentes de energía renovables adoptada el 23 de abril de 2009 (*Fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables*, 2017). Esta establecía que, para 2020, un 20% del consumo de energía en la Unión debía proceder de fuentes renovables.

En julio de 2021 la Comisión Europea propuso una modificación de dicha Directiva para adaptar sus objetivos en función del avance de los Estados miembros en esta materia. La comisión propone aumentar al 40% el objetivo vinculante para 2030 relativo a la cuota de las fuentes renovables en la combinación energética de la Unión.

- Conservación del medioambiente:

En este aspecto, la legislación europea se rige por el Reglamento (UE) 2021/1119 (*Reglamento (UE) 2021/1119 del Parlamento Europeo*, 2021) por el que se establece el marco para lograr la neutralidad climática. El objetivo sobre la neutralidad se establece para 2050 y significa un equilibrio entre las emisiones de gases de efecto invernadero y su absorción dentro de la Unión Europea.

2.2. LEGISLACIÓN ESTATAL

- Energía eléctrica:

- Orden TEC/1314/2018, de 7 de diciembre (*Orden TEC/1314/2018, de 7 de diciembre*, 2018) por la que se establecen las disposiciones necesarias para instrumentar un sistema de ayudas a la inversión en instalaciones de producción de energía eléctrica a partir de fuentes renovables y se determina la transferencia de 60 millones de euros procedentes del superávit eléctrico al presupuesto del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía con efectos en el ejercicio presupuestario de 2018.

- Real Decreto-ley 23/2020, de 23 de junio (*Real Decreto-ley 23/2020, de 23 de junio*, 2020) por el que se aprueban medidas en materia de energía y en otros ámbitos para la reactivación económica.

- Real Decreto-ley 12/2021, de 24 de junio (*Real Decreto-ley 12/2021, de 24 de junio, 2021*) por el que se regula la actividad de producción de energía eléctrica a partir de fuentes de energía renovables, cogeneración y residuos.

- Conservación del medio ambiente:

- Ley 1/2005, de 9 de marzo (*Ley 1/2005, de 9 de marzo, 2005*), por la que se regula el régimen del comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero.

- Real Decreto 1315/2005, de 4 de noviembre (*Real Decreto 1315/2005, de 4 de noviembre, 2005*), por el que se establecen las bases de los sistemas de seguimiento y verificación de emisiones de gases de efecto invernadero.

- Ley 26/2007, de 23 de octubre (*Ley 26/2007, de 23 de octubre, 2007*), de Responsabilidad Medioambiental.

2.3. LEGISLACIÓN AUTONÓMICA

- Energía eléctrica:

- Decreto-ley 14/2020, de 7 de agosto (*Decreto-ley 14/2020, de 7 de agosto, 2020*), 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.

- Decreto-ley 1/2022, de 22 de abril, del Consell, (*Decreto-ley 1/2022, de 22 de abril, 2022*), de medidas urgentes en respuesta a la emergencia energética y económica originada en la Comunidad Valenciana por la guerra en Ucrania.

- Conservación del medio ambiente:

- Ley 6/2022, de 5 de diciembre (*Ley 6/2022, de 5 de diciembre, 2022*), del Cambio Climático y la Transición Ecológica de la Comunitat Valenciana. Proyecto de ley de la Generalitat del cambio climático y transición ecológica de la Comunidad Valenciana, aprobado el 1 de abril de 2022.

3. PANORAMA ACTUAL

3.1. PANORAMA MUNDIAL

El mundo está tan globalizado a día de hoy que cualquier cosa que suceda, incluso en nuestras antípodas, puede afectarnos directa o indirectamente.

Actualmente, la situación que más está influyendo a nivel mundial es la guerra entre Rusia y Ucrania. Pues no es solo una simple guerra. Rusia es uno de los mayores exportadores de gas del mundo y, junto a Argelia, el gran importador de esta materia a toda Europa y, por ende, a nuestro país. Es por esto que la guerra ha encarecido el precio de materias primas, combustibles, etc. Porque la energía para producir todos estos productos es cada vez más cara debido a la escasez de gas.

Por otro lado, están los conflictos actuales con el gobierno de Marruecos, que no afectarían directamente al abastecimiento energético de nuestro país de no ser porque el transporte de gas desde Argelia se hace a través de Marruecos por una serie de conductos destinados a tal fin. La tensa situación que existe ahora mismo entre los dos países es debida a los recientes asaltos continuos a la valla de Melilla y las discusiones sobre el territorio del Sahara Occidental. Estos conflictos han hecho que Marruecos se cuestione cortar ese suministro de gas a España.

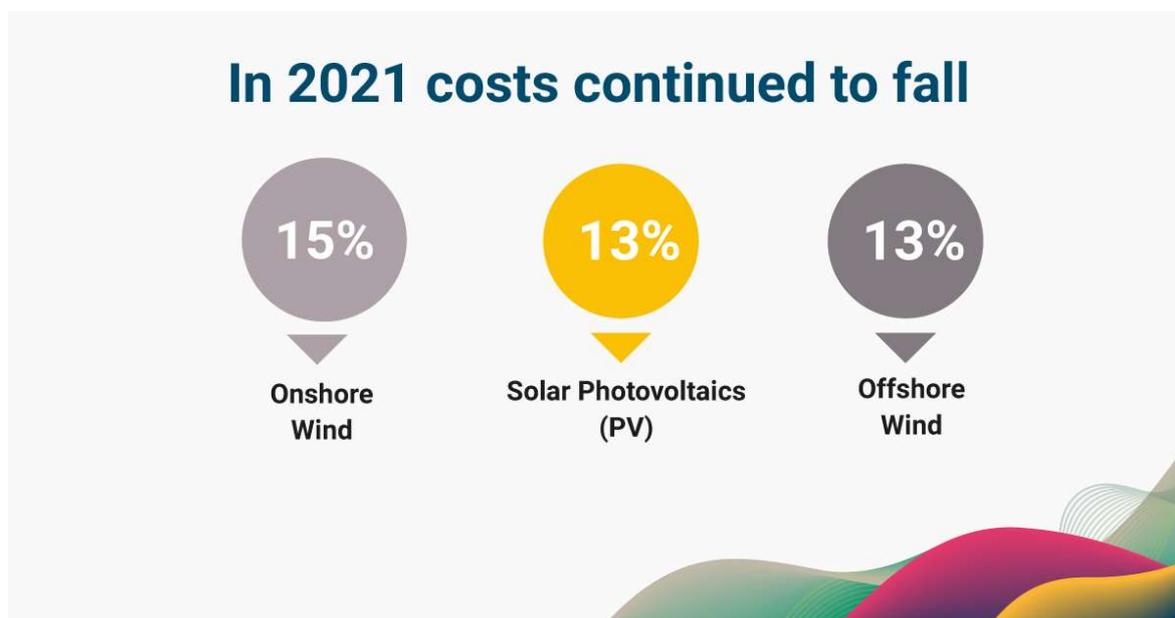


Figura 1: Disminución del coste de las renovables en 2021. Fuente: IRENA

Ante este panorama ha disminuido el coste de producción de las renovables, como podemos apreciar en la figura 1 con datos de IRENA (*Costos de generación de energía renovable en 2021, 2022*), haciendo estas energías cada vez más competitivas ante la crisis de los combustibles fósiles. Y es que el año pasado, el crecimiento de la energía otorgada desde fuentes renovables experimentó un aumento del 9,1% con respecto al año anterior. Como podemos apreciar en la figura 2, la capacidad de generación renovable global ascendió a 3.064 gigavatios (GW).

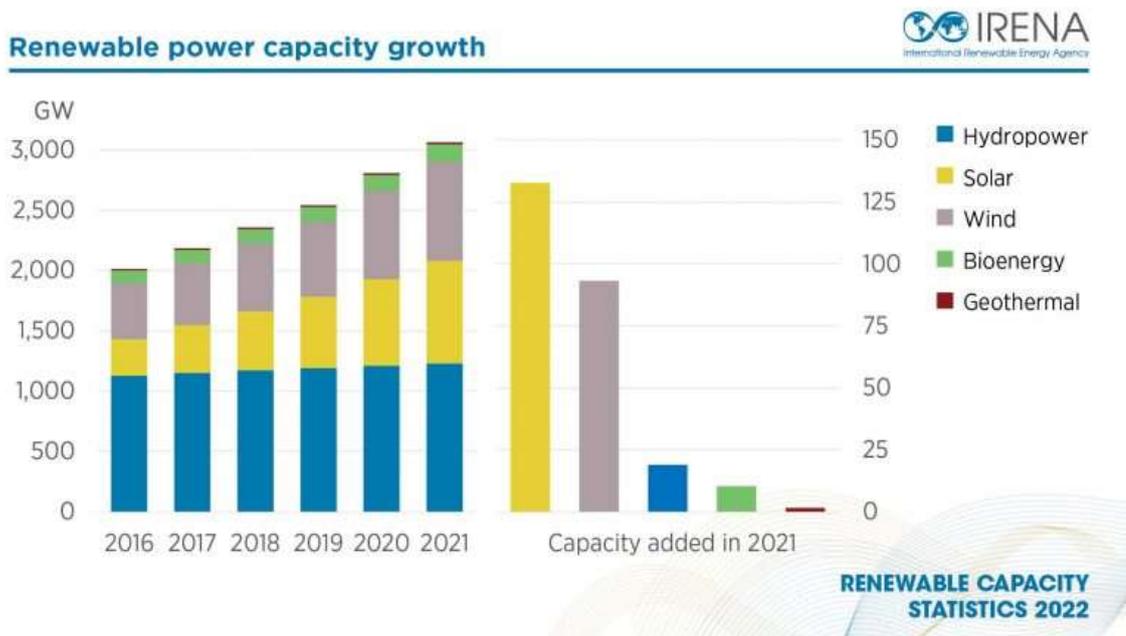


Figura 2: Potencia adquirida en energías renovables en 2022. Fuente: IRENA

Aunque la energía hidroeléctrica representa actualmente la mayor parte de la capacidad de generación renovable, las estadísticas de IRENA (*Estadísticas de Capacidad Renovable 2022, 2022*) de la figura 2 muestran que la energía solar y eólica son las que más se están desarrollando y por tanto las que más aumentan su potencia entregada.

Este dato es muy significativo si tenemos en cuenta que la energía hidráulica no es una energía limpia en si misma. Esta funciona más desde el punto de vista de ahorro energético, puesto que aprovecha las horas en que la demanda de electricidad es baja para elevar una fuente de agua y hacerla caer sobre una turbina para generar electricidad en las horas en las que existe un pico de demanda.

Por este motivo es tan importante el aumento de las energías 100% renovables como la solar o la eólica. Este aumento lo podemos apreciar en el gráfico de IRENA (*Estadísticas de Capacidad Renovable 2022, 2022b*) que se ve más abajo, en la figura 3. Un dato muy positivo de cara a alcanzar los objetivos de sostenibilidad mundial.

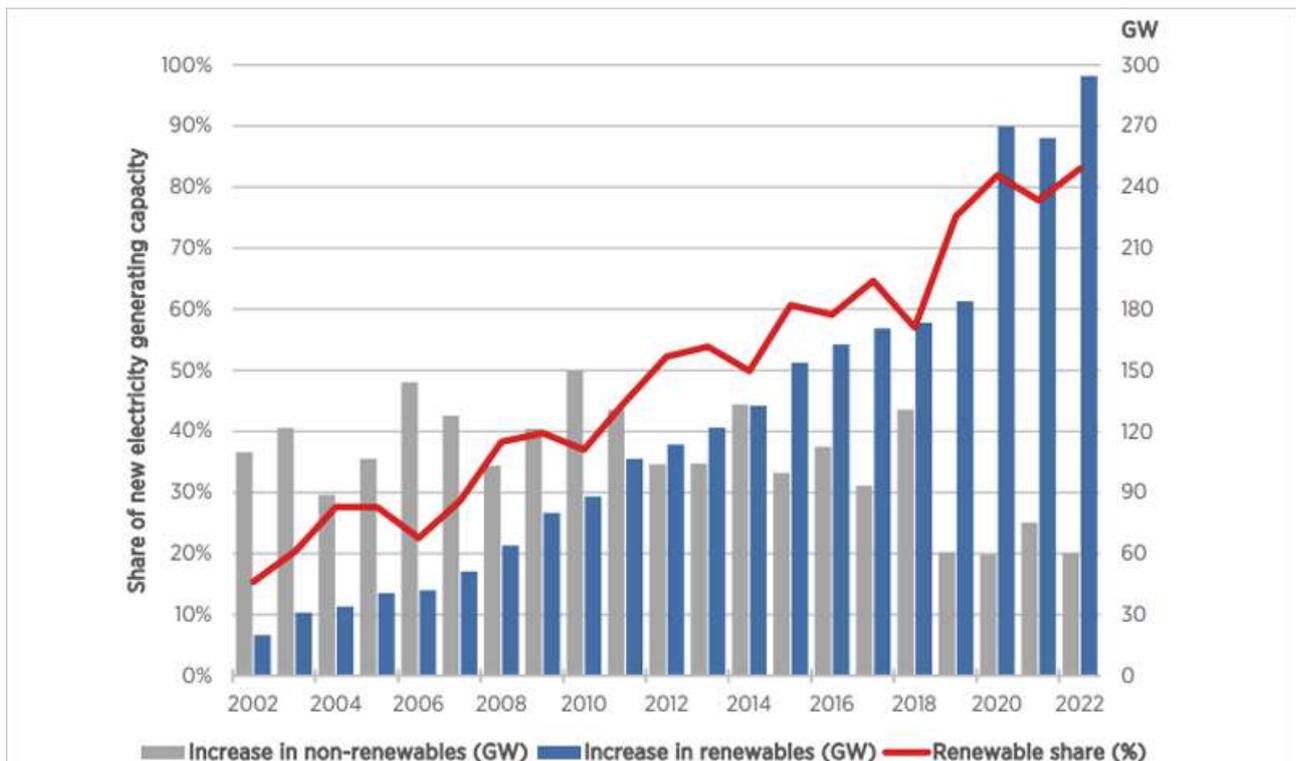


Figura 3: Participación de energías renovables en la expansión anual de la capacidad de energía. Fuente: IRENA.

3.2. PANORAMA EUROPEO

Con la situación mundial expuesta anteriormente, toda Europa se ve afectada. Especialmente por la guerra de Ucrania, pero también por el gas africano, pues de este no solo se beneficia España sino toda la Unión.

Ante la amenaza de escasez de la energía producida por el gas, Europa plantea varias medidas para paliar los efectos negativos que supondrían este suceso para la economía y el suministro de energía.

Por un lado, la Comisión Europea ha decidido elevar al 45% el objetivo de energías renovables para 2030. Con esta medida y el incentivo a las renovables, se pretende poner fin a la dependencia europea de los combustibles fósiles rusos.

Por otro lado, la UE plantea a sus estados miembros la importancia del ahorro energético. Se ha propuesto un Plan de Reducción de la Demanda de Gas, el cual propone reducir el consumo de gas en Europa en un 15% hasta la próxima primavera con el fin de asegurar el abastecimiento a los hogares y los usuarios esenciales como colegios y hospitales. Este plan hace hincapié en las medidas para la eficiencia energética a largo plazo. Pues si mejoramos la eficiencia energética de nuestras infraestructuras, por ejemplo, también reduciremos el consumo.

Europa es el segundo continente en generación de energías renovables, solo por detrás de Estados Unidos. Dentro del sector de las renovables, tanto la solar como la eólica son las que más crecimiento están mostrando en los últimos años. Esto lo podemos observar mejor en la figura 4.

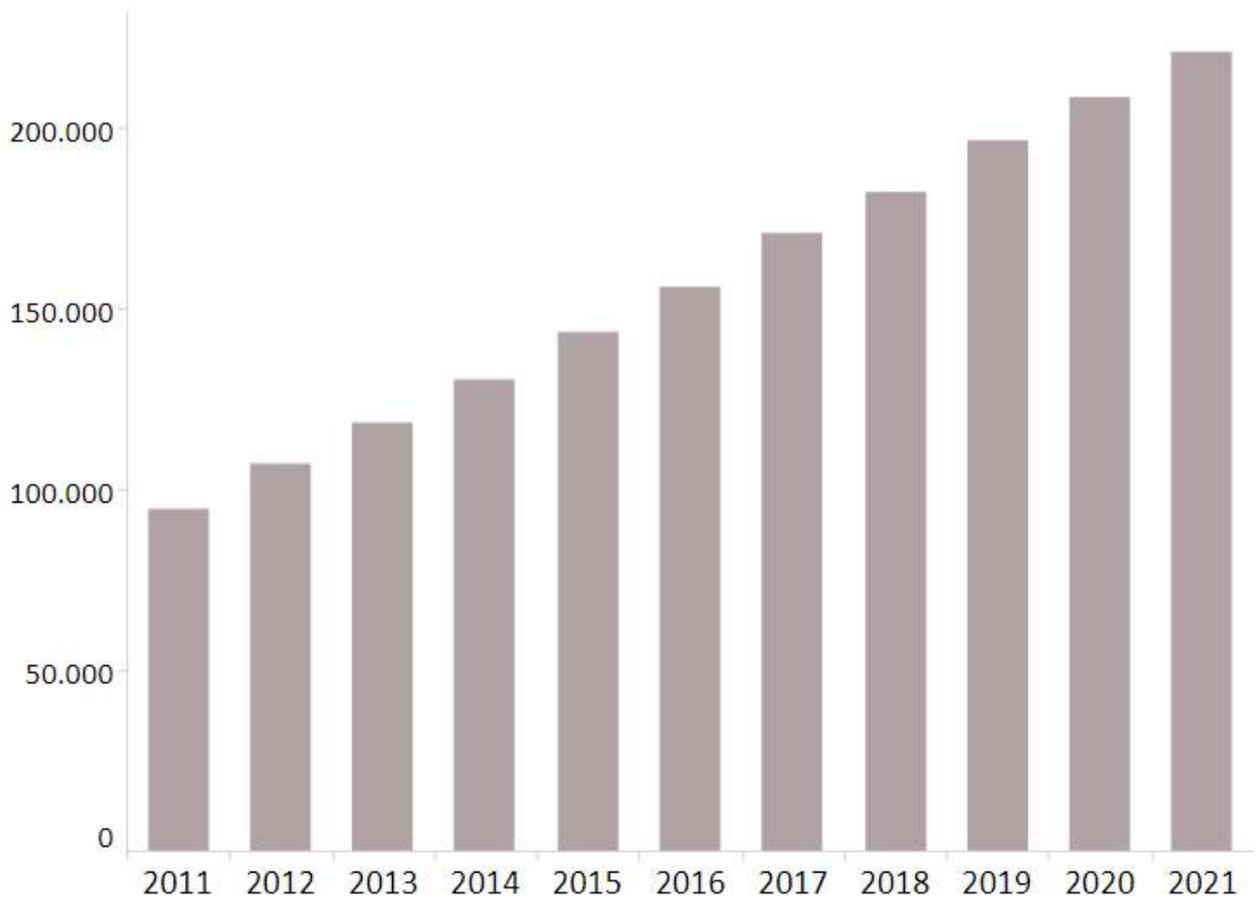


Figura 4: Evolución de la producción de la energía eólica en Europa. Fuente IRENA

3.3. PANORAMA NACIONAL

España es una extensión de Europa y, por ende, sufre las mismas repercusiones que el resto de los estados miembros en cuanto a la ausencia de gas y el incremento en los precios de la electricidad. Además, en España el precio de la luz se fija por subasta. Esto significa que pese a disponer de energías más baratas como la eólica, la fotovoltaica, la nuclear o la hidroeléctrica, el precio lo fija la energía más cara que entre en este mercado. Si España no precisase de estas energías para abastecer a la población, es decir, si bastase por ejemplo con las energías renovables, el precio de la luz en nuestro mercado sería mucho menor. Este es el objetivo al que debemos aspirar y es lo que se conoce como independencia energética.

La energía más cara actualmente es el gas por todo lo descrito en el apartado 3.1. incluyendo además el precio que hay que pagar por las emisiones de CO₂ que produce, las cuales repercuten también en nuestra factura de la luz. Esa factura de la luz está alcanzando récords históricos doblando, y triplicando incluso, los valores de hace tan solo un año, como se puede apreciar en la figura 5. Estos datos los obtenemos en la web del Mercado energético español (OMIE) (OMIE, s. f.) que va actualizando estos datos a diario.

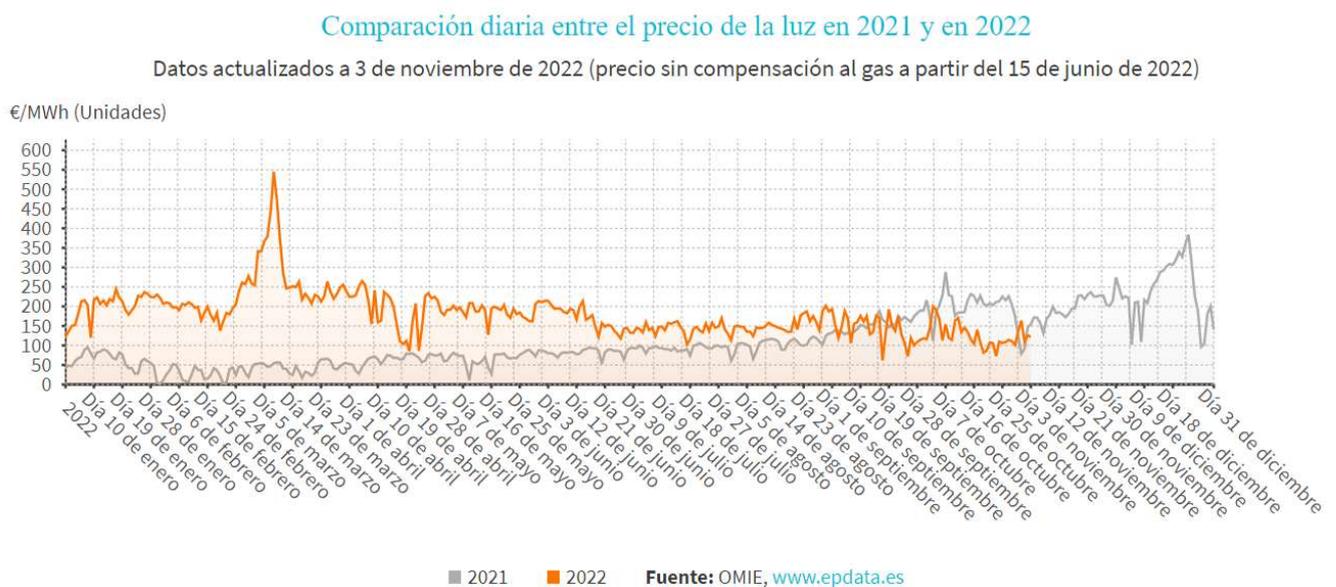


Figura 5: Comparación entre el precio de la luz en 2021 y 2022. Fuente: OMIE

Por ello y con el objetivo de reducir considerablemente los precios de la energía para el consumidor, un buen procedimiento sería la independencia energética. Es decir, no depender de la importación de gas ni tener que comprar electricidad a otros países como Francia que la extrae principalmente de centrales nucleares. Para llegar a este punto debemos incrementar nuestra capacidad de generación mediante energías renovables.

Actualmente, la generación eléctrica mediante energías renovables en nuestro país es bastante dispar entre las diferentes comunidades autónomas. Véase la Tabla 1. Esto se debe a que no todas las comunidades poseen las mismas características y condiciones en sus territorios. Así, unas son más propensas que otras para el desarrollo de según que tipo de proyectos de energía renovables. Por eso es tan importante el estudio de viabilidad que tratamos de realizar en este Trabajo Final de Grado.

Castilla y León	20.744
Andalucía	16.680
Castilla-La Mancha	15.776
Aragón	15.298
Galicia	14.525
Extremadura	10.159
Cataluña	5.913
Navarra	4.117
C. Valenciana	3.031
Región de Murcia	2.671
Asturias	2.570
Canarias	1.718
La Rioja	1.107
País Vasco	1.051
Islas Baleares	404
C. de Madrid	397
Cantabria	358
Melilla	6

Tabla 1: Producción de energía eléctrica a partir de fuentes renovables en España en 2022, por comunidad autónoma. Fuente: Statista.

Las energías renovables han mejorado sus marcas en España en 2021, año en el que estas tecnologías continuaron su crecimiento en el parque generador del país: a cierre de año, representaban el 56,6% de la capacidad de producción nacional (116.525 MW). Además, las renovables alcanzaron una cuota de generación cercana al 47% y produjeron un 10% más que en 2020. Así se desprende del Avance del informe del sistema eléctrico español 2021 (*El sistema eléctrico español, 2022*), documento que Red Eléctrica de España publica anualmente con las principales magnitudes del sector.

4. CARACTERIZACIÓN DEL RECURSO EÓLICO

4.1. CARACTERIZACIÓN DEL TERRITORIO

Para el desarrollo del estudio de nuestro parque eólico se ha elegido el entorno del municipio de Morella, situado en la provincia de Castellón y en la comarca de los Puertos de Morella.



Figura 6: Localización de los Puertos de Morella

Se trata de un terreno montañoso, del interior de la provincia de Castellón. La altitud de su término varía desde los 700 hasta los 1300m, presentando un relieve abrupto caracterizado por un paisaje de muelas como se aprecia en la figura 7.

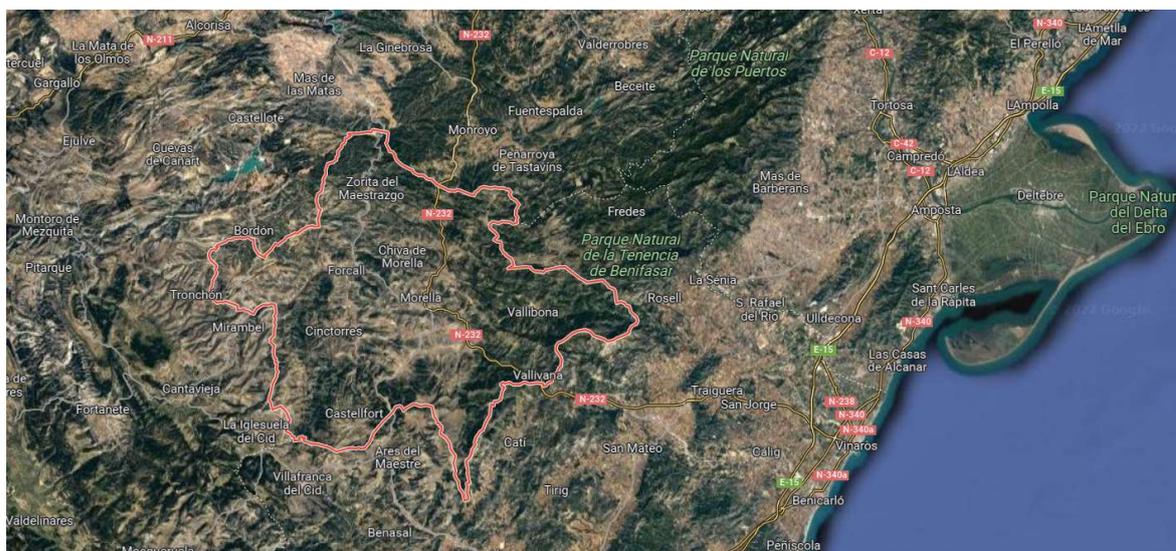


Figura 7: Orografía de la comarca. Fuente: Google

Al ser una comarca del interior de Castellón, el acceso se realiza por carreteras comarcales como la CV-105 o la CV-111 además de la nacional N-232.

Como se aprecia en la imagen anterior, todos los municipios de la comarca cuentan con características orográficas muy similares.

Morella es un municipio de 2406 habitantes censados, lo que supone una densidad de población de 5,9 hab/km² teniendo en cuenta que dispone de una superficie de 413,5 km². Estas características hacen de la zona un lugar propicio para el desarrollo de nuestro parque.

A todo esto, tenemos que añadir las fuertes rachas de viento que podemos obtener en las lomas de las montañas al noroeste de dicha ubicación. Las cuales, según el Atlas de los vientos (*Global Wind Atlas*, 2023) tienen una velocidad media de hasta 10,5 m/s.

4.2. EVALUACIÓN DEL POTENCIAL EÓLICO

La potencia que podemos obtener en nuestros aerogeneradores depende de muchos factores. Para simplificar los cálculos al respecto, nos centraremos en analizar la velocidad media y la rugosidad del terreno.

4.2.1. Velocidad media anual

Para el análisis de la velocidad media anual del viento en la zona seleccionada, utilizamos el *Global Wind Atlas* (*Global Wind Atlas*, 2023). Este nos indica, como se puede ver en la siguiente figura, la velocidad media del viento durante todo un año a una altura de 100m sobre el suelo en un área de 9 km², que es aproximadamente la altura a la que situaremos nuestros aerogeneradores.

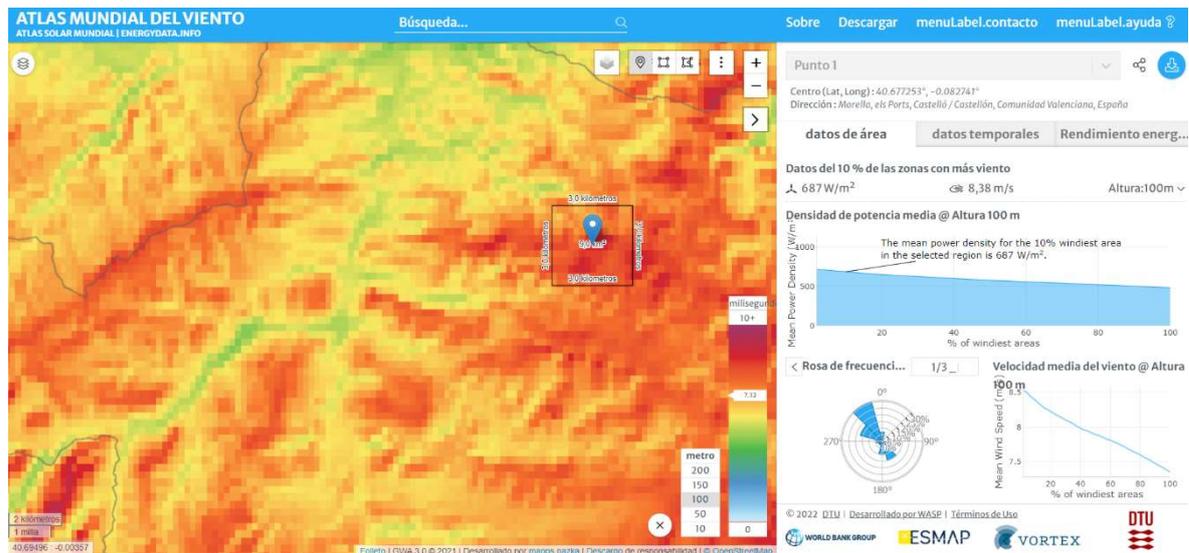


Figura 8: Cálculo del viento en la zona. Fuente: Global Wind Atlas

Como se puede observar en la figura 8, prácticamente toda la comarca del Alto Maestrazgo presenta rachas de viento superiores a los 6 m/s con vientos de componente noroeste. Pero es en las cimas o lomas de las montañas, como ya hemos comentado anteriormente, donde este viento alcanza mayor fuerza. En estas ubicaciones las rachas de viento son de entre 7 y 8 m/s con alta frecuencia.

4.2.2. Rugosidad Superficial

La rugosidad del terreno es determinante para la elección del emplazamiento de un parque eólico puesto que influye directamente en el perfil de velocidades del viento. A mayor rugosidad superficial, mayor desaceleración del viento y por tanto, peor será el perfil de velocidades que se aplicará a las hélices de nuestros aerogeneradores, entregando estos menor potencia.

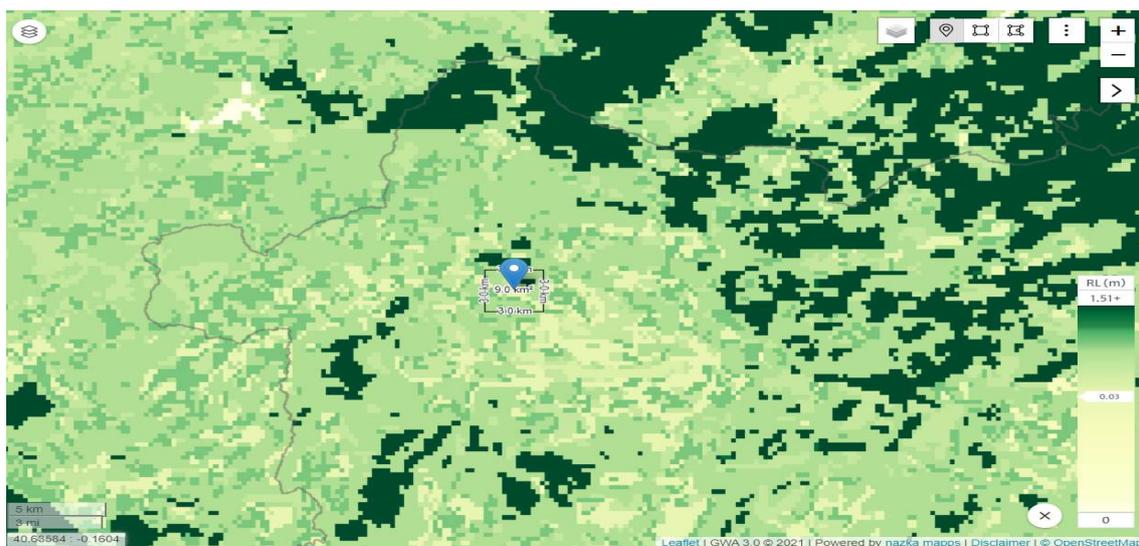


Figura 9: Rugosidad superficial de la zona. Fuente: Global Wind Atlas

Como se observa en la figura 8, la zona elegida para nuestro estudio cumple con las expectativas de rugosidad deseada pues esta está comprendida entre 0,03 y 1,5m. De cualquier forma, estos valores son medios. Como nuestros aerogeneradores estarán situados en las cimas de las montañas, que es el lugar de menor rugosidad superficial, aproximaremos esta rugosidad a cero para propiciar así unos cálculos más sencillos.

4.3. ELECCIÓN DE LA ZONA

En primer lugar acudimos al Plan Eólico de la Comunidad Valenciana (PECV) (*Plan Eólico de la Comunitat Valenciana - Energía y Minas - Generalitat Valenciana*, s. f.) para conocer las zonas de la provincia de Castellón con mayor potencial para la construcción de nuestro parque eólico. Se puede observar en la figura 10 que la zona a la que hacemos referencia corresponde con el interior de la provincia, coincidiendo con la zona más montañosa y por tanto elevada.

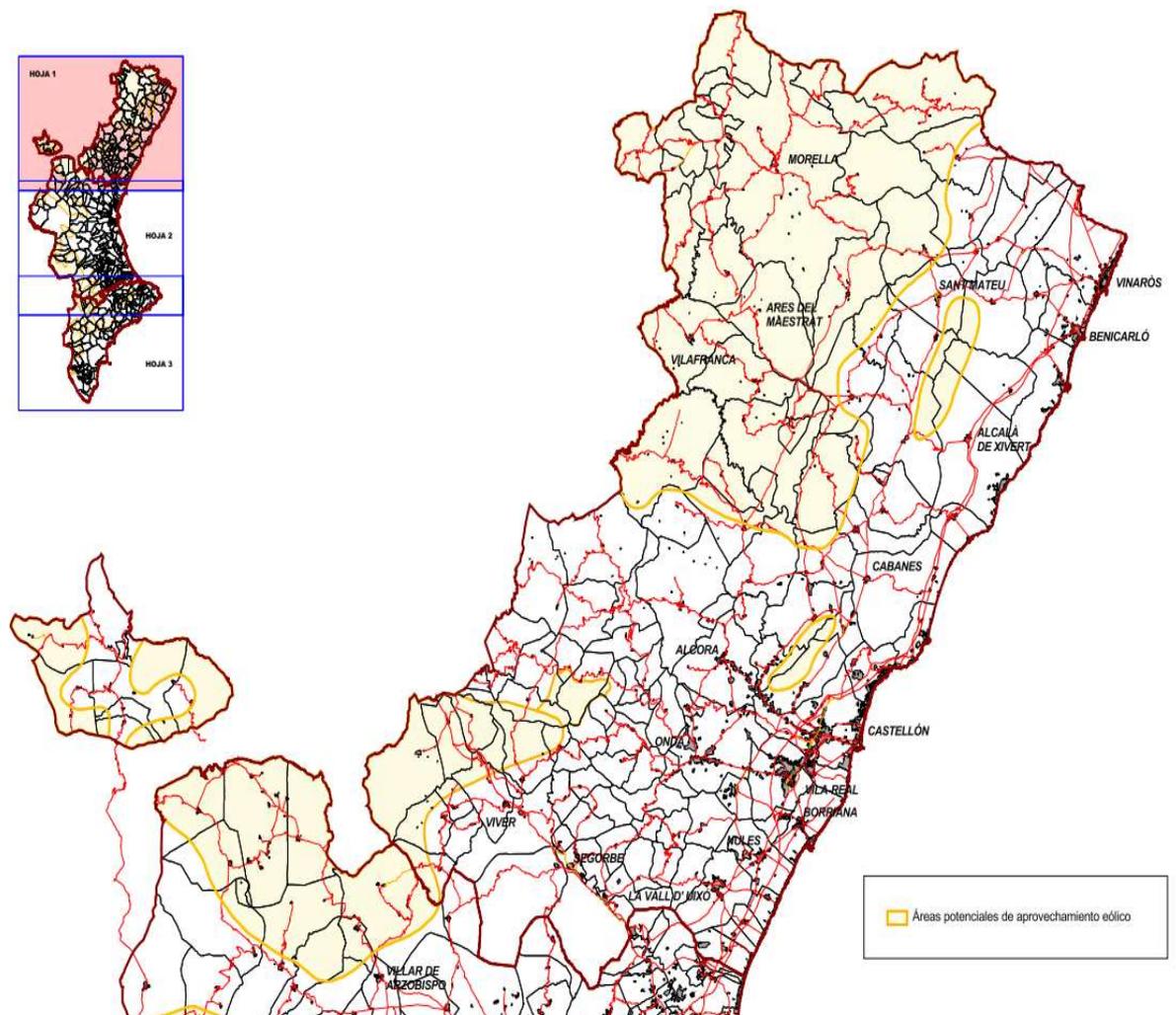


Figura 10: Áreas potenciales de aprovechamiento eólico. Fuente: PECV

En este mismo documento, también se nos facilita una mayor especificación de las áreas en las que sería más o menos propicia la construcción de dicho parque en función de diferentes datos como la orografía. De esta forma podemos acotar aún más las zonas plausibles para nuestro proyecto.

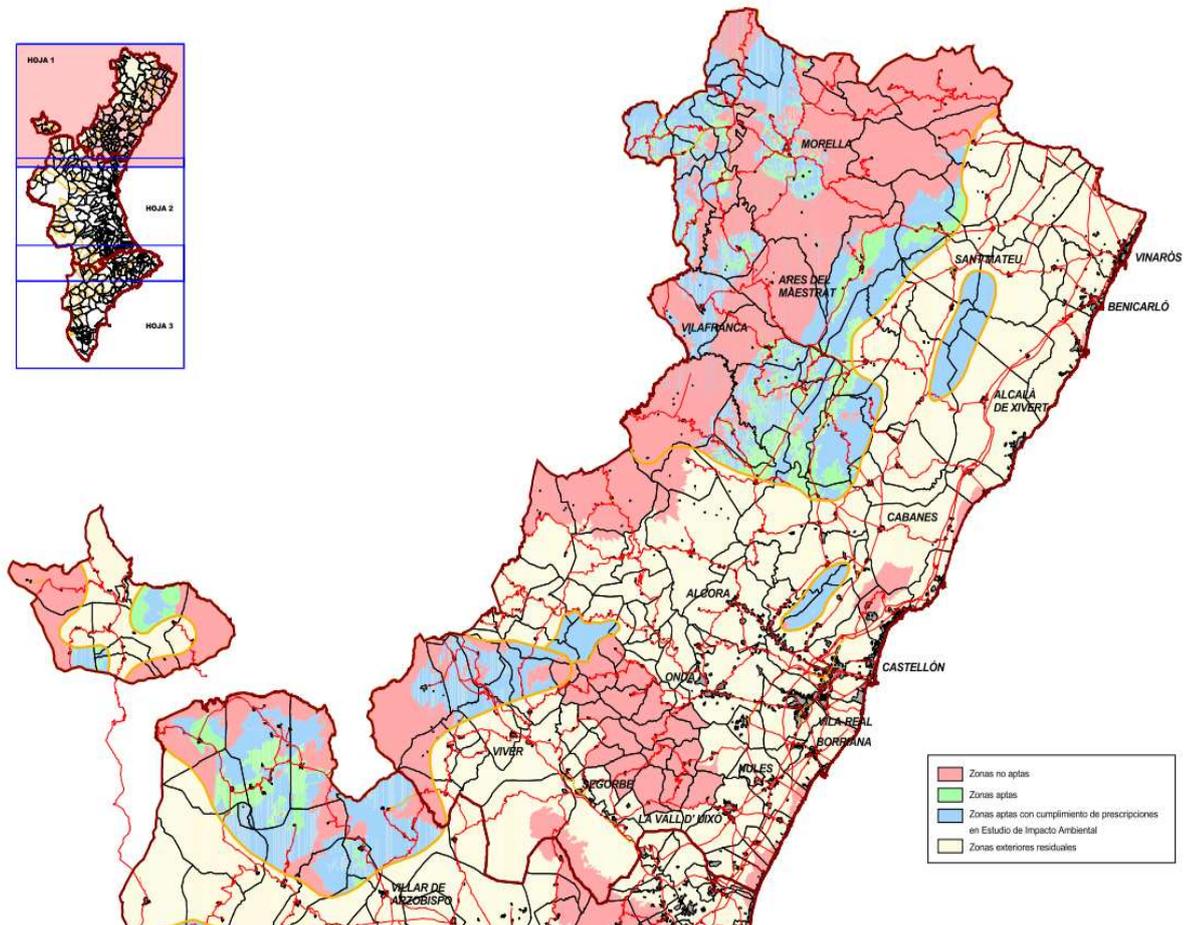


Figura 11: Especificación de las zonas de aprovechamiento. Fuente: PECV

Con todos los datos recabados podemos empezar a delimitar la zona del noroeste de Castellón. Pero para hacer un estudio aún más exhaustivo comprobaremos además otras fuentes de datos que serán de gran utilidad para la elección final de la zona elegida.

Por un lado, en el Global Wind Atlas (*Global Wind Atlas*, 2023) podemos encontrar información sobre la velocidad media del viento en cada zona a una altura de 100m (la que queremos conocer para la situación de nuestros aerogeneradores).

Por otro lado, también es un factor importante a tener en cuenta las zonas de espacio protegido o parques naturales, pues nuestras infraestructuras no deben ni modificar la estética del paisaje ni alterar la flora o fauna de la zona. Mediante el visor cartográfico de la Comunidad Valenciana (*Visor cartogràfic de la Generalitat*, s. f.) podemos conocer estos últimos aspectos a tener en cuenta.



Figura 13: Acote de las zonas de estudio. Fuente: Visor cartográfico

La primera zona escogida es la denominada Muela d'en Camarás. Aunque ambas están prácticamente a la misma altura, esta primera zona tiene una mayor extensión de terreno a esta altura. Esta zona posee unas rachas medias de viento de 6,71 m/s.

La segunda zona marcada en la figura anterior es la Muela de la Garumba. Pese a disponer de menor extensión de terreno útil para nuestros aerogeneradores, el viento sopla con mayor fuerza en esta zona. Las rachas medias de viento son de 7,07 m/s

Con lo descrito hasta ahora no podemos tomar una decisión sobre la zona definitiva sobre la que planteamos el estudio de viabilidad. Aún hay otros factores determinantes a tener en cuenta y uno de ellos es la Rosa de los Vientos.

4.4. ROSA DE LOS VIENTOS

La rosa de los vientos es un mecanismo para identificar las direcciones en las que el viento sopla con mayor intensidad y frecuencia. Por ello, se trata de una herramienta fundamental para nuestro estudio pues nos indica la orientación que deberían tomar nuestros aerogeneradores en su instalación para maximizar su potencial.

La rosa se divide en doce sectores de 30 grados para analizar cada dirección de la brújula desde el norte y en sentido antihorario. Además, el radio de cada círculo proporciona, en aumento, la intensidad de la información analizada.

La rosa de los vientos consta de tres gráficas diferentes y cada una de ellas representa una característica importante del viento. Estas gráficas las obtenemos del Global Wind Atlas (*Global Wind Atlas*, 2023) para cada una de las dos zonas de estudio definidas anteriormente.

En primer lugar, en la figura 14 se estudia la frecuencia relativa del mismo, es decir, que tanto por ciento del tiempo el viento sopla desde cada dirección. Podemos observar como el viento sopla la mayor parte del tiempo desde la dirección Noroeste para cualquiera de las dos zonas de estudio, aunque en la primera hay mayor frecuencia no solo en la dirección principal sino también en las contiguas.



Figura 14: Rosa de los vientos. Frecuencia

La segunda gráfica, la figura 15, estudia este sistema hace referencia a la velocidad media en cada uno de los sectores que interpreta la rosa de los vientos. Como es de esperar, estas direcciones coinciden con el caso anterior, siendo nuevamente la dirección Noroeste la que más aporta en la velocidad media del viento.



Figura 15: Rosa de los vientos. Velocidad media

La tercera y última gráfica, la figura 16, muestra los datos de la energía que aporta el viento en cada dirección, multiplicando la frecuencia por la velocidad media al cubo. En nuestro caso esa es la dirección ya mencionada, superando incluso el 40% de energía del viento en su orientación más ventajosa. En este caso sí destaca la diferencia entre la primera zona, con mucha más energía en la dirección no principal.



Figura 16: Rosa de los vientos. Energía

En definitiva, las zonas de estudio presentan características muy similares debido a la cercanía entre ambas, separadas una distancia de aproximadamente 3 kilómetros.

Con este análisis nos cercioramos de que nuestros aerogeneradores deben orientarse en la dirección Noroeste, teniendo en cuenta la zona que estamos estudiando, para aprovechar al máximo la energía que nos ofrece el viento. Pero esto tampoco es suficiente para decidir sobre la zona óptima. Necesitamos más datos del viento en cada una de ellas y como se distribuye con el tiempo. Por ello recurrimos a la Distribución de Weibull.

4.5. DISTRIBUCIÓN DE WEIBULL

Si cogemos las zonas que presuponemos óptimas para nuestro parque eólico y medimos la velocidad del viento en las mismas durante un año completo, observaríamos que los fuertes vendavales son poco comunes mientras que las rachas de viento moderado son más habituales. Para caracterizar la variación del viento empleamos la distribución de Weibull. Esta distribución indica la probabilidad real de que sople el viento con una determinada velocidad.

Para nuestro análisis, hemos calculado esa probabilidad para cada uno de los doce sectores en que se divide la rosa de los vientos (uno cada 30 grados) en cada zona. Puesto que cada sector corresponde con una dirección del viento, esta presenta diferentes valores tanto de velocidad del viento como de frecuencia del mismo. Así pues, tenemos que calcular una distribución para cada sector obteniendo doce líneas de distribución en una misma gráfica. Esta gráfica se muestra a continuación en la figura 17.

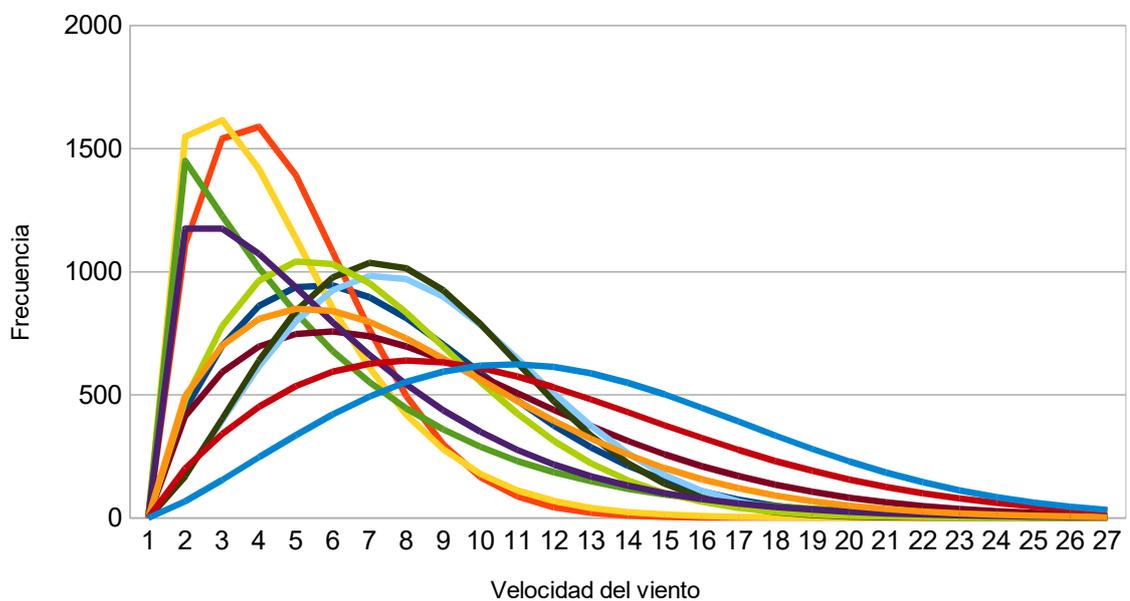


Figura 17: Distribución de Weibull

Con la figura 17 observamos, complementariamente con la rosa de los vientos, las direcciones más favorables para colocar nuestros aerogeneradores. Estas deben tener unas rachas de viento con elevada velocidad y frecuencia. A través de estos datos debemos aproximar la energía obtenida por nuestros aerogeneradores.

4.6. PERFIL DE VELOCIDADES

En la superficie de la tierra, la velocidad del viento varía de forma más abrupta en función de la altura. Esto se debe principalmente a la fricción del mismo con la superficie terrestre. En otras palabras, el perfil de velocidades depende de la orografía del terreno (su rugosidad superficial).

Es posible conocer la velocidad a una altura determinada con las fórmulas siguientes:

$$V_2 = V_1 * (Z_2 / Z_1)^n \quad (1)$$

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

Donde V_1 es la velocidad media del viento a una altura conocida Z_1 . V_2 es la velocidad media a una altura Z_2 . Y n es un parámetro que depende de la rugosidad del terreno Z_0 .

Con estos datos se obtiene el perfil de velocidades de la figura 18.

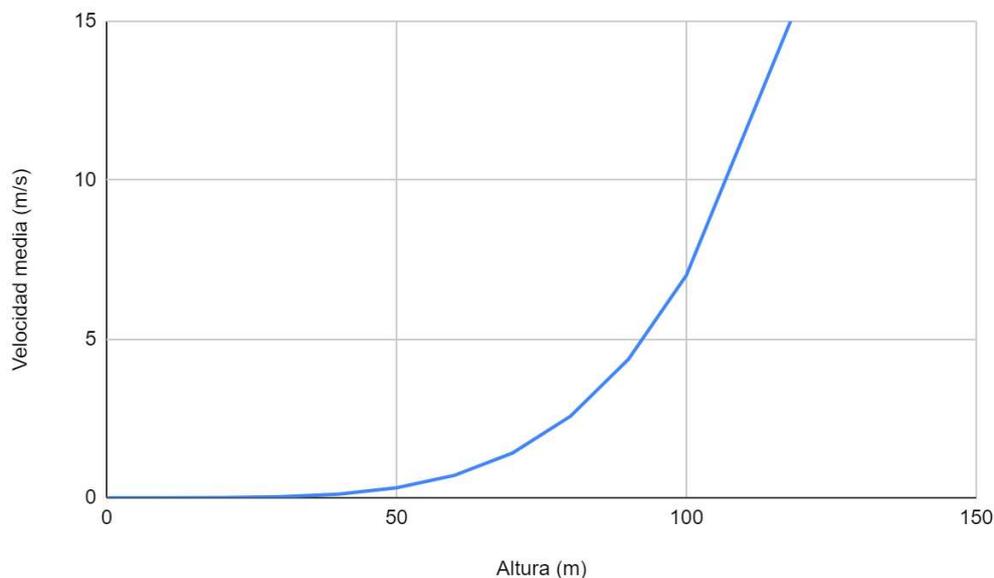


Figura 18: Perfil de velocidades

Con esta gráfica podemos suponer la velocidad media del viento para la altura del buje deseada (normalmente situado entre los 80 y los 100 metros de altura).

5. Caracterización de los aerogeneradores

5.1. CLASES DE AEROGENERADORES

Los aerogeneradores se pueden clasificar según la agresividad del viento que pueden soportar. Así, en los parques eólicos marinos o offshore, se requieren aerogeneradores con unas características estructurales más robustas y resistentes ante la mayor intensidad del viento en estas zonas.

La norma IEC 61400 (*UNE-EN IEC 61400-1. Sistemas de generación de energía eólica, 2020*) clasifica estos instrumentos en función de la intensidad de las turbulencias y la velocidad máxima del viento. Cada clase de aerogeneradores soporta hasta una cierta velocidad de referencia. Dicha velocidad de referencia se calcula como la velocidad media anual dividido por un coeficiente.

$$V_{\text{ref}} = \frac{V_{\text{media anual}}}{0,2} \quad (3)$$

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

Tabla 2: Clasificación de aerogeneradores

Aplicando la norma de la tabla 2 para nuestras zonas de estudio, observamos que en la Zona 1 bastará con aerogeneradores de clase III. Pues la velocidad de referencia es inferior a los 37,5 m/s. Mientras que en la zona 2, por tener una velocidad de referencia superior a los 37,5 m/s, no serán suficientemente robustos estos aerogeneradores de clase III y deberíamos instalar otros un poco más resistentes. En esta zona la velocidad de referencia no llega a los 50 m/s por lo que nos bastaría con los de clase II.

5.2. ELECCIÓN DEL MODELO

A continuación, acudimos a la empresa española proveedora de productos eólicos Gamesa (*Aerogeneradores onshore I Siemens Gamesa, s. f.*). De su catálogo evaluaremos cual puede ser el mejor aerogenerador para nuestro parque. Elegimos esta marca porque además de ser española y contribuir al desarrollo dentro de nuestro propio país, como empresa suministradora queremos que sea cercana para el tema de labores de mantenimiento, sustitución, etc.

Para elegir entre los diferentes modelos debemos tener en cuenta del apartado anterior que según la zona que escojamos, este debe ser de Clase I o II. El modelo seleccionado ha sido el tripala de eje horizontal, pues presenta mejores rendimientos para las velocidades que queremos manejar.

Modelo	Altura (m)	Potencia	Marca	Clase
SG 2.1-114	68	2,1 MW	Gamesa	II y III
	153			
SG 2.2-122	108	2,2 MW	Gamesa	III
	127			
SG 2.6-114	63	2,6 MW	Gamesa	I y II
	125			
SG 2.9-129	87	2,9 MW	Gamesa	II y III
	Según emplazamiento			

Tabla 3: Clases de aerogeneradores

A continuación, detallamos las especificaciones técnicas de los aerogeneradores que podrían cumplir las características de nuestra zona. Estas características como el diámetro que producen las hélices al girar serán fundamentales más adelante para el diseño de la disposición de los aerogeneradores en la zona definida.

Rotor	Diámetro (m)	114	
	Área de barrido (m ²)	10.207	
Palas	Longitud (m)	56	
Torre	Altura (m)	68	153

Tabla 4: Especificaciones técnicas aerogenerador SG 2.1-114

Rotor	Diámetro (m)	122	
	Área de barrido (m ²)	11.690	
Palas	Longitud (m)	60	
Torre	Altura (m)	108	127

Tabla 5: Especificaciones técnicas aerogenerador SG 2.2-122

Rotor	Diámetro (m)	114	
	Área de barrido (m ²)	10.207	
Palas	Longitud (m)	56	
Torre	Altura (m)	63	125

Tabla 6: Especificaciones técnicas aerogenerador SG 2.6-114

Rotor	Diámetro (m)	129	
	Área de barrido (m ²)	13.070	
Palas	Longitud (m)	63,5	
Torre	Altura (m)	87	Según emplazamiento

Tabla 7: Especificaciones técnicas aerogenerador SG 2.9-129

Una vez definidos los aerogeneradores que podemos emplear en nuestra zona de estudio, debemos calcular la cantidad de energía que produciría cada uno de los modelos nombrados. Para ello calcularemos la potencia que es capaz de extraer cada aerogenerador de la energía que produce la velocidad del viento en esa zona.

A continuación, desde el catálogo de aerogeneradores de Gamesa (*Aerogeneradores onshore I Siemens Gamesa, s. f.*), observamos la curva de potencia de cada uno de estos. Observamos que la curva es la misma para todos, lo único que cambia es el valor de la potencia nominal. Pero la pendiente que sigue la curva es la misma. Así lo vemos poniendo como ejemplo dos de los cuatro aerogeneradores nombrados anteriormente. Donde vemos que la potencia nominal se alcanza a partir de los 9 m/s de velocidad del viento. Por eso, con una simple regla de tres podremos obtener la potencia de cada aerogenerador para cada zona de estudio en función de la velocidad del viento en dicha zona.

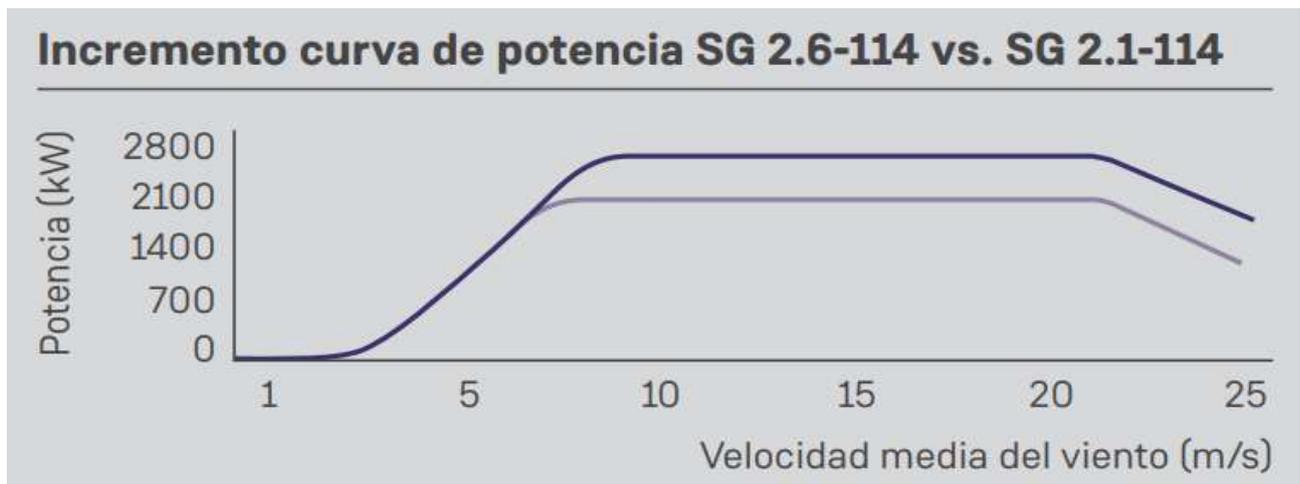


Figura 19: Curva de potencia de aerogenerador. Fuente: Gamesa

Conocida la curva de potencia en cada aerogenerador para una velocidad del viento determinada, procedemos a calcular los kW producidos por cada aerogenerador. Para ello realizamos el sumatorio de los productos de la Distribución de Weibull que nos proporciona la frecuencia y la curva de potencia para cada velocidad del viento, como muestra la siguiente fórmula:

$$P(v) = \sum_{V_{arranque}}^{V_{parada}} \text{Frecuencia} * \text{Potencia extraíble} \quad (4)$$

Los kWh producidos se multiplicarán por las 8760 horas de un año, obteniéndose de esta manera la cantidad de energía (kW) producida anualmente por cada modelo.

$$EEP = n^{\circ} \text{ horas} * P(v) \quad (5)$$

A continuación, se calculan las horas equivalentes. Dicho parámetro indica el número de horas que un aerogenerador tardaría en producir la energía estimada en un año (EEP), si estuviese trabajando a su potencia nominal durante todo el tiempo.

$$H_{eq} = \frac{EEP(kWh)}{P_n(kW)} \quad (6)$$

Para saber si la instalación de un aerogenerador es o no viable, se procede a obtener el factor de carga. Dicho factor, es un parámetro adimensional que expresa la relación existente entre la energía generada por un aerogenerador en un año y la que se hubiera producido si durante ese mismo período de tiempo hubiese estado funcionando a su potencia nominal. De esta manera, cuanto más elevado sea el factor de carga, mejor rendimiento presentará el aerogenerador.

$$F_c = \frac{H_{eq}}{8760} \quad (7)$$

Seguidamente calculamos todos estos parámetros y los introducimos en dos tablas, una para cada zona estudiada. De esta forma será más visual y sencillo tomar una decisión sobre la mejor zona y aerogenerador para maximizar el rendimiento de nuestro parque eólico.

ZONA 3				
AEROGENERADOR	ALTURA TORRE (m)	EEP (kWh/año)	H _{eq} (h)	F _C
SG 2.1-114	68	5.927.209	2964	0,34
	153	6.137.802	3069	0,35
SG 2.2-122	108	6.108.175	3054	0,35
	127	6.331.124	3166	0,36
SG 2.9-129	87	7.211.710	3606	0,41
	Según emplazamiento	7.520.822	3760	0,43

Tabla 8: Cálculos de aerogeneradores para la zona 3

ZONA 2				
AEROGENERADOR	ALTURA TORRE (m)	EEP (kWh/año)	H _{eq} (h)	F _C
SG 2.1-114	68	6.187.011	3094	0,35
	153	6.501.456	3251	0,37
SG 2.6-114	63	7.155.202	3578	0,41
	125	7.567.361	3784	0,43
SG 2.9-129	87	7.431.812	3716	0,42
	Según emplazamiento	7.894.692	3947	0,45

Tabla 9: Cálculos de aerogeneradores para la zona 2

Antes de continuar debemos destacar que los cálculos que hemos realizado en las tablas 8 y 9 son una aproximación. En realidad, la potencia neta diferirá de la bruta a causa de pérdidas como el efecto parque y otros factores de los que hablaremos más adelante.

De estas tablas podemos concluir que el modelo de aerogenerador más rentable es el SG 2.9-129 ya que es el que más energía producirá con respecto a los otros candidatos. En cuanto al emplazamiento, se observa que la zona 2 es la que obtendrá mayor potencia para el mismo aerogenerador. Por ello elegimos esta zona y, una vez elegido el emplazamiento, podemos desde el catálogo de Gamesa (*Aerogeneradores onshore I Siemens Gamesa, s. f.*) anticipar que la altura de la torre que hemos calculado es de 140m de altura.

Cabe destacar el elevado factor de carga de nuestro equipo, lo cual significa una buena rentabilidad de la instalación. Este valor ha ido aumentando con los años haciendo esta forma de obtener energía cada vez más competitiva.

6. DISEÑO DEL PARQUE EÓLICO

6.1. EFECTOS MODIFICADORES DEL VIENTO

6.1.1. Efecto parque

El funcionamiento de un aerogenerador consiste en apropiarse de la energía cinética que mueve el viento. Por el principio de conservación de la energía, esta provoca un cambio en el viento a la salida del aerogenerador. Tras el paso por las hélices, el viento adquiere una mayor turbulencia al mismo tiempo que reduce considerablemente su velocidad. Este suceso es el conocido como el efecto parque y es importante su conocimiento pues es algo que hay que tratar de evitar. Por un lado, si reducimos la velocidad del viento a la salida de un aerogenerador, el siguiente obtendrá mucha menos energía del mismo. Por otro lado, al aumentar la turbulencia, se ejerce mayor fuerza en diferentes direcciones sobre las hélices de los aerogeneradores y por lo tanto se reduce considerablemente su vida útil.

Para evitar el efecto parque, tendremos en cuenta una serie de distancias mínimas para la distribución de los aerogeneradores en nuestro parque eólico que explican muy bien en la asociación danesa de la industria eólica (*El efecto del parque*, 2003).

Por un lado, deberemos respetar una separación entre aerogeneradores del orden de 5 a 9 diámetros de rotor en la dirección de mayor potencia del viento. Particularizando para el aerogenerador seleccionado en nuestro estudio ($\text{Ø}129\text{m}$), deberemos respetar una separación en este caso de aproximadamente 400m.

Por otro lado, en la dirección del viento perpendicular a la primera, bastará con una separación de 3 a 5 diámetros de rotor. Particularizando para nuestro caso, como hemos explicado anteriormente, bastará con una separación en la dirección mencionada de 650m.

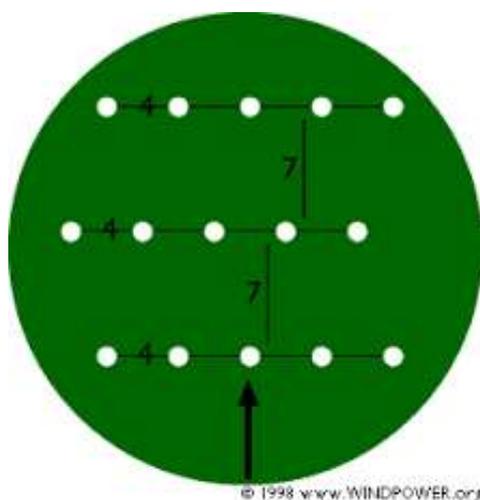


Figura 20: Efecto parque

6.1.2. Efecto colina

La asociación danesa de la industria eólica (*El efecto de la colina*, 2003) explica que en zonas montañosas o escarpadas como las que estamos estudiando, la fuerza del viento hace que este se comprima contra las colinas de las montañas aumentando considerablemente su velocidad. Así, cuando alcanza la cima, este vuelve a expandirse y disminuye su velocidad. Esto se conoce como el efecto colina y es la razón por la que los aerogeneradores se colocan en las lomas o cimas de montaña. Pues es en estos puntos donde, por lo que acabamos de explicar, más velocidad lleva el viento y mayor potencia puede extraer nuestro emplazamiento.

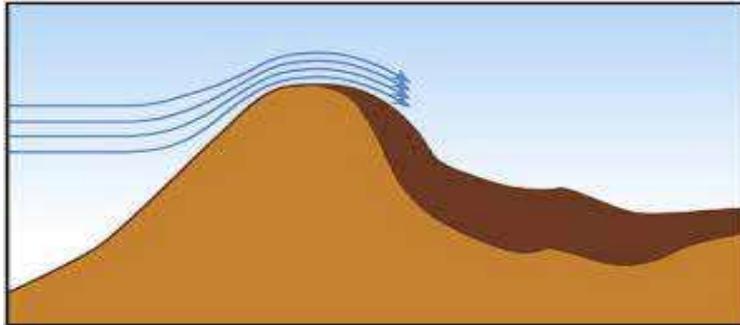


Figura 21: Efecto colina

6.2. ALTERNATIVAS DE DISEÑO

Teniendo ya elegidos tanto el área de estudio como el modelo de los aerogeneradores, debemos ahora diseñar la disposición de estos en nuestro parque eólico con la intención de evitar el efecto parque mencionado anteriormente y obtener así la máxima potencia efectiva.

6.2.1. Alternativa A

Los aerogeneradores de esta alternativa se han situado a una distancia de 550 m en la dirección del viento de mayor potencia extraíble y a 300 m en la perpendicular a esta, como se puede observar en la figura 21.

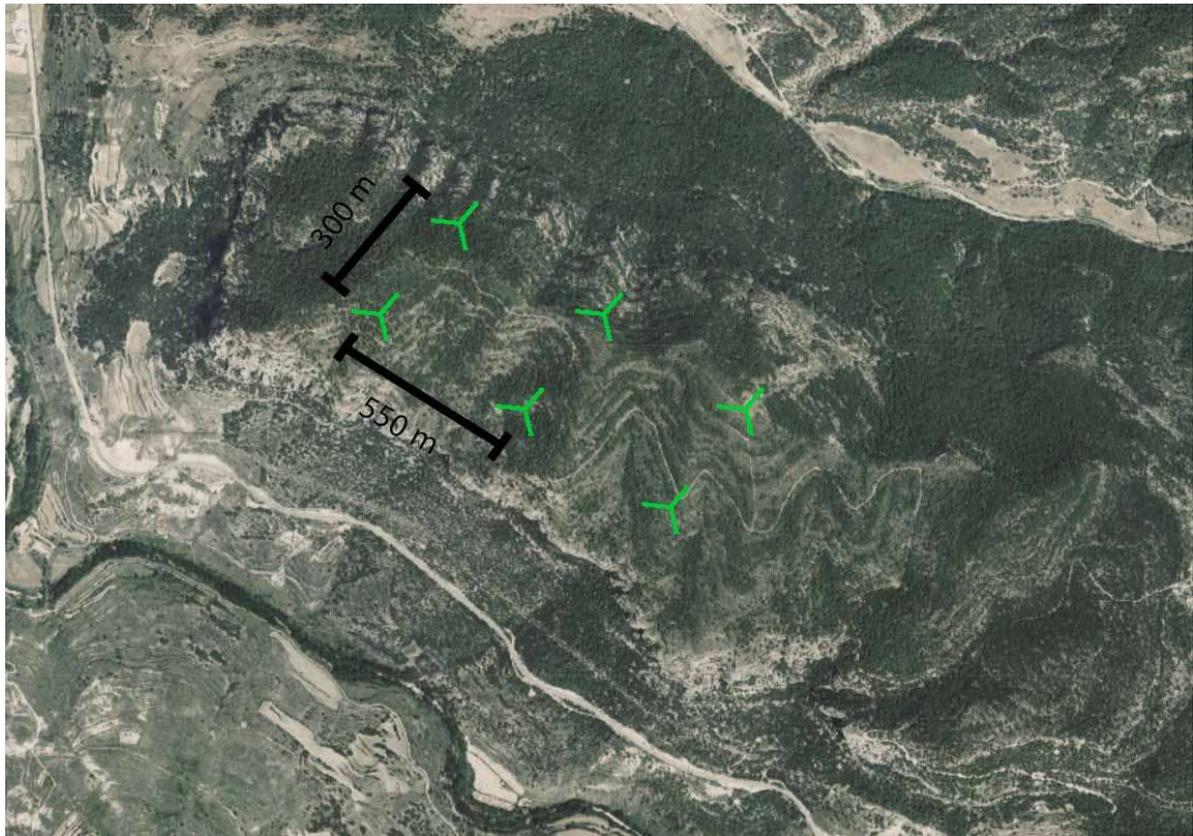


Figura 22: Distribución de aerogeneradores. Alternativa A

A continuación, en la tabla 10 desglosamos las características de nuestro parque eólico en conjunto. Debemos tener en cuenta que la potencia suministrada a la red eléctrica no será la potencia nominal del parque puesto que nuestro equipo no funcionará todo el tiempo en estas condiciones. Además, hay que contar con un 15% de pérdidas aproximadas de energía.

Potencia unitaria	2,9
N.º de aerogeneradores	6
Potencia del parque (MW)	17,4
Energía bruta producida anualmente (kWh/año)	45.124.932
Pérdidas varias = 15% Energía bruta (kWh/año)	6.768.740
Energía neta producida anualmente (kWh/año)	38.356.192
Horas equivalentes	3196
Factor de carga	0,36

Tabla 10: Resumen alternativa A

6.2.2. Alternativa B

Los aerogeneradores de esta alternativa se han situado, como se aprecia en la figura 22, en la misma distribución, pero en otro emplazamiento muy cercano al primero y con otra orientación frente al viento que puede favorecer la reducción de pérdidas de estos.

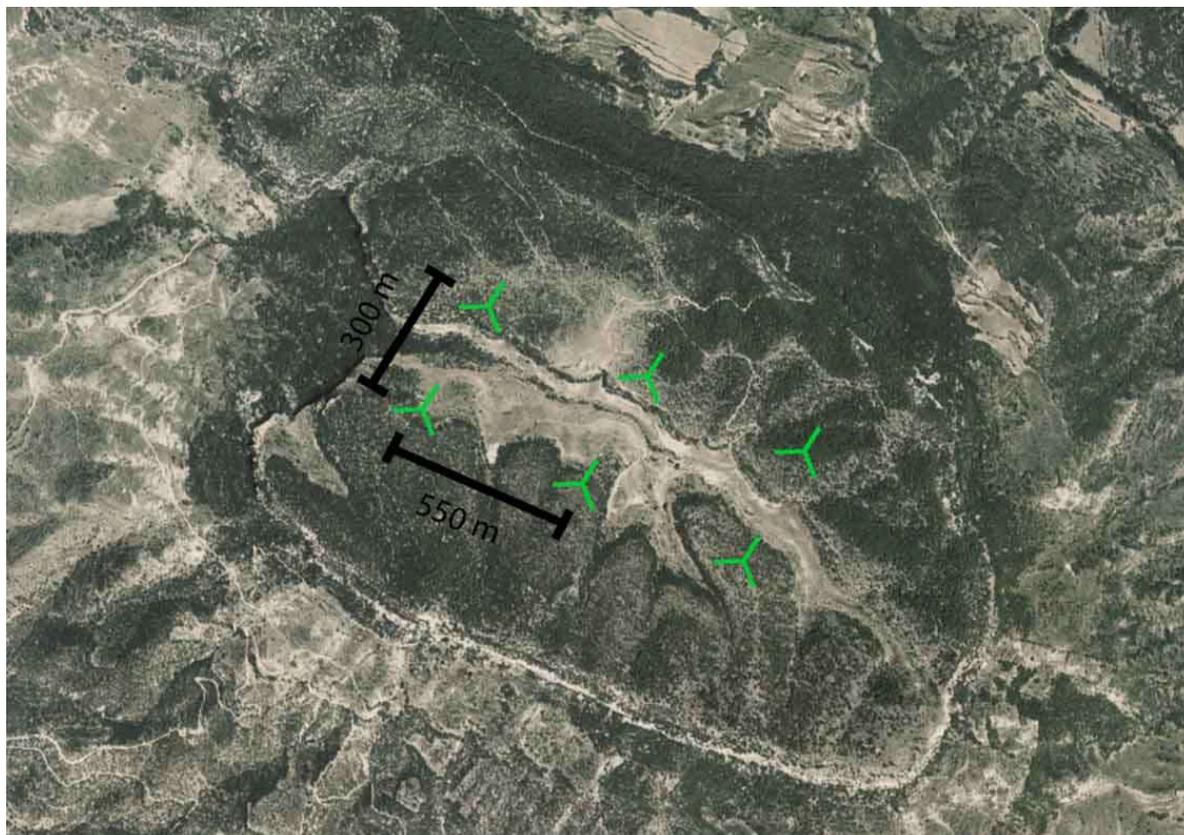


Figura 23: Distribución de aerogeneradores. Alternativa B

A continuación, en la tabla 11 volvemos a desglosar las características de nuestro parque, pero esta vez para la segunda alternativa que planteamos.

Potencia unitaria	2,9
N.º de aerogeneradores	6
Potencia del parque (MW)	17,4
Energía bruta producida anualmente (kWh/año)	47.368.152
Pérdidas varias = 15% Energía bruta (kWh/año)	7.105.223
Energía neta producida anualmente (kWh/año)	40.262.929
Horas equivalentes	3355
Factor de carga	0,38

Tabla 11: Resumen alternativa B

6.3. COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS

A continuación, se hace una comparativa de las dos alternativas de diseño del parque eólico con el fin de determinar cuál será la más rentable. Hay que tener en cuenta que las dos alternativas son bastante similares dado que se encuentran bastante cercanas la una a la otra además de que comparten la misma distribución para los aerogeneradores. De cualquier forma, vemos que también así la influencia de la orientación de las palas para nuestro aerogenerador. Pues en la segunda alternativa, la orientación de los aerogeneradores hacia la dirección principal del viento es un poco mejor debido a que en la primera muela, las características del terreno nos impiden colocar nuestras máquinas en esta posición.

En la tabla 12 que se muestra a continuación observamos que tanto el factor de carga como las horas equivalentes de ambas opciones son elevadas, esto muestra una buena rentabilidad de nuestro parque eólico, en cualquier caso. Sin embargo, comparando la energía producida, se observa que la alternativa B produce 1.906.737 kWh/año más que la primera. De esta manera, la configuración elegida para la distribución de los aerogeneradores dentro del parque eólico es la alternativa B.

Alternativa	Energía neta producida (kWh/año)	Horas equivalentes	Factor de carga
A	38.356.192	3196	0,36
B	40.262.929	3355	0,38

Tabla 12: Comparativa de alternativas

7. ESTUDIO DE IMPACTO AMBIENTAL

7.1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Nuestro proyecto se basa en la construcción de un parque eólico de 6 aerogeneradores produciendo estos un total de 17,4 MW de potencia instalada. La localización del parque es la comarca de los Puertos de Morella, en la provincia de Castellón. Los aerogeneradores instalados corresponden al modelo SG.2,9-114 con una altura de 140 m fabricados por la empresa Gamesa (*Aerogeneradores onshore I Siemens Gamesa*, s. f.). La producción de potencia de la instalación se estima en 40.262.930 kWh/año.

7.2. INVENTARIO AMBIENTAL

De acuerdo con lo que dice el Plan Eólico de la Comunidad Valenciana (*Plan Eólico de la Comunitat Valenciana - Energía y Minas - Generalitat Valenciana*, s. f.), realizado por la Conselleria de economía sostenible, sectores productivos, comercio y trabajo; realizamos un inventario ambiental detallando las características de la zona que estamos estudiando para nuestro parque eólico.

7.2.1. Clima

El clima de la Comunidad Valenciana se caracteriza por su estabilidad al ser un territorio costero, ya que el mar actúa como regulador de las temperaturas. Sin embargo, Morella es un municipio del interior y cuenta con unas diferencias de temperatura algo mayores de lo que cabría esperar para nuestra comunidad autónoma.

A través de la web de Weather Spark (*El clima en Morella, el tiempo por mes, temperatura promedio (España) - Weather Spark*, s. f.) descubrimos que, en nuestra área de interés, la temperatura media anual es de 13,5 °C. Generalmente varía entre los 0 °C y los 27 °C y rara vez baja a menos de -5 °C o supera los 30 °C. Estos últimos datos si pueden producirse en las temporadas más frías o cálidas respectivamente.

En cuanto a las precipitaciones, en el municipio de Morella son 10 los meses considerados como húmedos (con más del 12% de probabilidad de lluvia). Solo los meses de julio y agosto se consideran secos. El mes con más lluvia es octubre, con un promedio de 43 milímetros de lluvia. En resumen, aunque la probabilidad de lluvia es alta durante todo el año, lo cierto es que las precipitaciones son escasas. Esto explica la poca abundancia de ríos de la región.

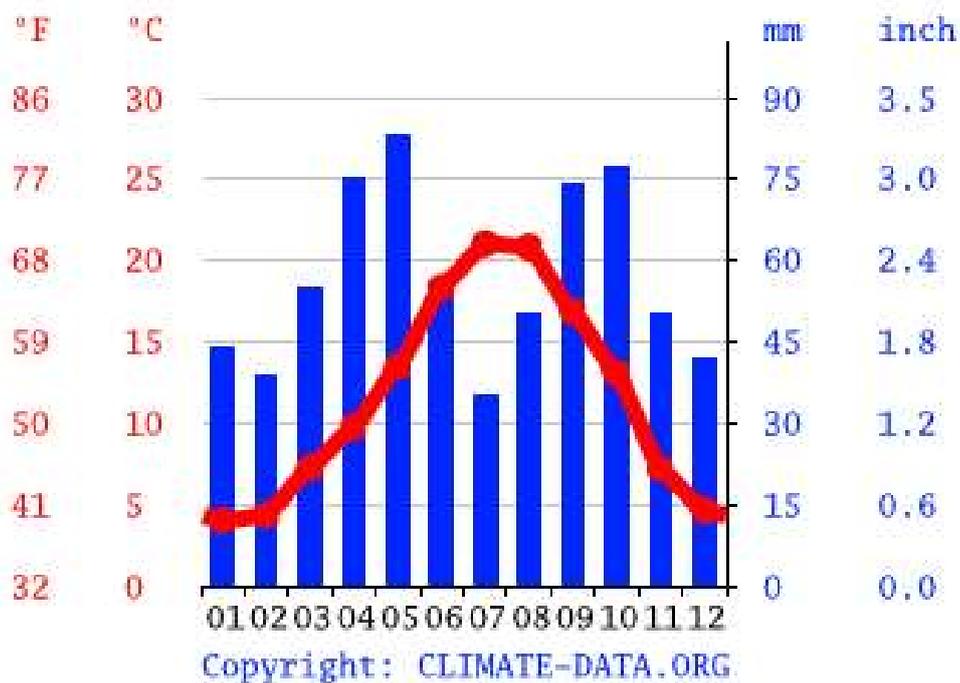


Figura 24: Climograma de Morella. Fuente: Climate-Data.org

7.2.2 Sismología

Como se puede observar en la figura 24, en toda la provincia de Castellón el nivel de riesgo de que se produzca un terremoto es bajo. A través del Instituto Geográfico Nacional (IGN) (Nacional, s. f.-b) se comprueba que no existen datos de ningún seísmo de una magnitud tal como para considerarlo relevante.

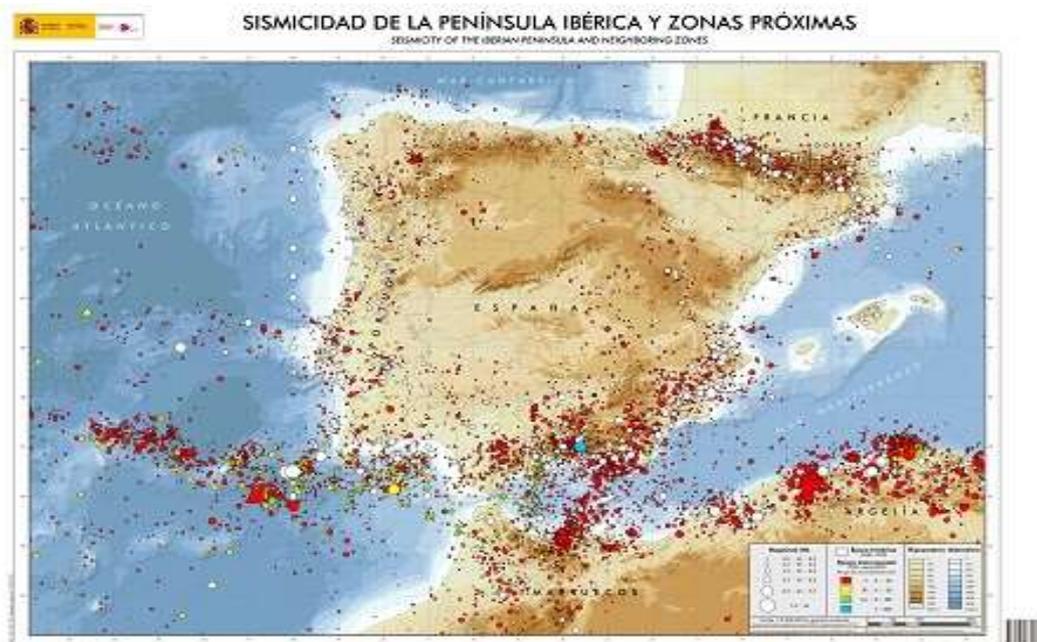


Figura 25: Sismicidad de la península ibérica. Fuente: IGN

7.2.3. Composición del suelo y relieve

El área de estudio es la denominada desde el PECV (*Plan Eólico de la Comunitat Valenciana - Energía y Minas - Generalitat Valenciana*, s. f.) como Zona tabular del Maestrat, caracterizada por relieves de mesas y cuestras, surcado por una red fluvial muy encajada que origina muelas de gran belleza paisajística. El gradiente de alturas va desde los 180 hasta los 1800 metros sobre el nivel del mar.

En cuanto al suelo, la comarca de los Puertos es de carácter netamente continental y presenta litología de arcillas y margas abigarradas.

7.2.4. Usos del suelo

La comarca en la que realizamos el estudio se caracteriza principalmente por los cultivos de secano. Pues como hemos explicado en el apartado 7.2.1. la poca abundancia de agua favorece este tipo de cultivos como el de la oliva, que prácticamente no requiere regadío para su producción. El resto son parajes de muelas con diferente fauna y flora que explicaremos posteriormente.

7.2.5. Hidrología

Anteriormente hemos explicado las precipitaciones de la zona y las características del suelo derivadas de estas y que pueden afectar a nuestro estudio. Dicho esto, la hidrología de la zona no juega un papel relevante en nuestro parque eólico puesto que son pocos los ríos que atraviesan la comarca. Además de que, al ser un paisaje de muelas, la diferencia de altura entre un posible río y nuestros aerogeneradores es notable y no influye por tanto en el desarrollo de los mismos.

7.2.6. Patrimonio Histórico-Artístico

En la comarca de los Puertos de Morella existe un municipio de gran interés cultural como es la propia Morella. Esto es así por la estética que tiene el propio pueblo, que está encajado en una rocosa muela, amurallado y con un gran castillo en la cima. Un pueblo muy turístico y que trabaja para su reconocimiento por la UNESCO como Patrimonio de la Humanidad. Este castillo ha visto a muchas civilizaciones que le han ido dando forma desde hace siglos. Tal es así que, a sólo 6 kilómetros del centro histórico, podemos encontrar las pinturas rupestres de Morella la Vella. Estas sí, ya declaradas Patrimonio de la Humanidad por la UNESCO.

7.2.7. Espacios naturales

La mayor parte de los espacios naturales de la Comunidad Valenciana se encuentran en la provincia de Alicante. Los únicos que se muestran cercanos a nuestra zona de estudio son la Sierra de Espadán, el Prado de Cabanes-Torreblanca y el Desierto de las Palmas. De cualquier forma, todos ellos se encuentran a una distancia suficiente como para que nuestro parque pueda alterar o afectar en forma alguna los citados espacios.

7.2.8. Socioeconomía

Según los datos del 2021 del Instituto Nacional de Estadística (INE) (INE - Instituto Nacional de Estadística, s. f.), el municipio de Morella cuenta con 2406 habitantes, de los cuales 1176 son hombres y 1230 mujeres. Allí la media de edad de la población se encuentra en torno a los 47 años.

La economía de la zona está caracterizada por la industria textil principalmente, la cual ha sido siempre la principal fuente de ingresos. Predomina por tanto en su economía el sector servicios, impulsado también por el turismo a su patrimonio como hemos explicado en el punto 7.2.6. La agricultura, con un papel más secundario, completa la actividad económica de la zona.

7.2.9. Fauna

A continuación, se muestra un listado de las diferentes especies que existen en el área que encuadra nuestro parque eólico. Dicho listado lo extraemos del PECV (*Plan Eólico de la Comunitat Valenciana - Energía y Minas - Generalitat Valenciana*, s. f.). Estas especies están clasificadas en función del hábitat preferente por cada una de ellas, quedando agrupado en las siguientes unidades:

- A) Pueblos, parques y jardines.
- B) Cultivos.
- C) Matorrales y zonas naturales degradadas.
- D) Sotos.
- E) Bosques.
- F) Monte con roquedo.
- G) Zonas húmedas.
- H) Ríos y embalses.

En nuestro caso, nos centramos en las especies cuyo hábitat sea el mismo que prevalece en la zona que estamos estudiando. Así nos centraremos en la fauna presente en las zonas E y F.

Nombre Científico	Nombre Vulgar	A	B	C	D	E	F	G	H
<i>Neophron percnopterus</i>	Alimoche						X		
<i>Gyps fulvus</i>	Buitre leonado						X		
<i>Circaetus gallicus</i>	Aguila culebrera			X		X			
<i>Accipiter gentilis</i>	Azor				X	X			
<i>Accipiter nisus</i>	Gavilán				X	X			
<i>Buteo buteo</i>	Ratonero común		X	X	X	X			
<i>Aquila chrysaetos</i>	Águila real			X			X		
<i>Hieraetus pennatus</i>	Águila calzada				X	X			
<i>Hieraetus fasciatus</i>	Águila perdicera			X			X		
<i>Falco subbuteo</i>	Alcotán				X	X			
<i>Falco peregrinus</i>	Halcón peregrino						X		
<i>Columba livia</i>	Paloma bravía		X	X			X		
<i>Columba oenas</i>	Paloma zurita		X	X	X	X	X		
<i>Columba palumbus</i>	Paloma torcaz		X	X	X	X	X		
<i>Clamator glandarius</i>	Críalo			X	X	X			
<i>Cuculus canorus</i>	Cuco		X	X	X	X			
<i>Tyto alba</i>	Lechuza común	X	X				X		
<i>Otus scops</i>	Autillo		X	X	X	X	X		
<i>Bubo bubo</i>	Búho real		X	X	X	X	X		
<i>Athene noctua</i>	Mochuelo	X	X	X	X	X	X		
<i>Strix aluco</i>	Cárabo común				X	X			
<i>Asio otus</i>	Búho chico			X	X	X			
<i>Caprimulgus europaeus</i>	Chotocabras gris			X	X	X			
<i>Caprimulgus ruficollis</i>	Chotocabras pardo			X	X	X			
<i>Apus apus</i>	Vencejo común	X	X				X		
<i>Apus melba</i>	Vencejo real						X		
<i>Coracias garrulus</i>	Carraca				X	X			
<i>Upupa epops</i>	Abubilla		X	X	X		X		
<i>Jynx torquilla</i>	Torcecuello				X	X			
<i>Picus viridis</i>	Pito real		X		X	X			
<i>Picoides major</i>	Pico picapinos				X	X			
<i>Lullula arborea</i>	Totovía		X	X		X			
<i>Ptyonoprogne rupestris</i>	Avión roquero						X		
<i>Hirundo daurica</i>	Golondrina daúrica		X				X		

Tabla 13: Fauna de la zona 1

Nombre Científico	Nombre Vulgar	A	B	C	D	E	F	G	H
<i>Anthus</i>	Bisbita ribereño alpina						X		
<i>Erithacus rubecula</i>	Petirrojo		X	X	X	X	X		
<i>Luscinia megarhynchos</i>	Ruiseñor común			X	X	X			X
<i>Luscinia svecica</i>	Pechiazul						X		
<i>Phoenicurus ochurus</i>	Colirrojo tizón						X		
<i>Phoenicurus</i>	Colirrojo real				X	X	X		
<i>Oenanthe oenanthe</i>	Collalba gris			X			X		
<i>Oenanthe hispanica</i>	Collalba rubia			X			X		
<i>Oenanthe leucura</i>	Collalba negra			X			X		
<i>Monticola saxatilis</i>	Roquero rojo						X		
<i>Monticola solitarius</i>	Roquero solitario						X		
<i>Turdus torquatus</i>	Mirlo capiblanco						X		
<i>Turdus merula</i>	Mirlo común	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Turdus philomelos</i>	Zorzal común		X		X	X			
<i>Turdus viscivorus</i>	Zorzal charlo		X		X	X			
<i>Turdus pilaris</i>	Zorzal real		X		X	X			
<i>Sylvia undata</i>	Curruca rabilarga			X			X		
<i>Sylvia conspicillata</i>	Curruca tomillera			X			X		
<i>Sylvia cantillans</i>	Curruca carrasqueña			X		X	X		
<i>Sylvia hortensis</i>	Curruca mirlona			X	X	X			
<i>Sylvia borin</i>	Curruca mosquitera			X	X	X			
<i>Sylvia atricapilla</i>	Curruca capirotada			X	X	X			
<i>Phylloscopus collybita</i>	Mosquitero común					X			
<i>Phylloscopus</i>	Mosquitero papialbo			X	X	X			
<i>Regulus ignicapillus</i>	Reyezuelo listado			X	X	X			
<i>Ficedula hypoleuca</i>	Papamoscas cerrojillo				X	X			
<i>Aegithalos caudatus</i>	Mito				X	X			
<i>Parus cristatus</i>	Herrerillo capuchino					X			
<i>Parus ater</i>	Carbonero garrapinos					X			
<i>Parus caeruleus</i>	Hererillo común	X			X	X			
<i>Parus major</i>	Carbonero común	X			X	X			
<i>Sitta europaea</i>	Trepador azul				X	X			
<i>Certhia brachydactyla</i>	Agateador común				X	X			
<i>Oriolus oriolus</i>	Oropéndola				X	X			

Tabla 14: Fauna de la zona 2

Nombre Científico	Nombre Vulgar	A	B	C	D	E	F	G	H
<i>Lanius senator</i>	Alcaudón común			X	X	X			
<i>Garrulus glandarius</i>	Arrendajo				X	X			
<i>Pyrhacorax pyrrhacorax</i>	Chova piquirroja						X		
<i>Corvus monedula</i>	Grajilla	X	X	X	X		X		
<i>Corvus corone</i>	Corneja negra		X	X	X	X	X		
<i>Corvus corax</i>	Cuervo						X		
<i>Sturnus unicolor</i>	Estornino negro	X	X	X			X		
<i>Passer domesticus</i>	Gorrión común	X	X	X	X	X	X	X	X
<i>Petronia petronia</i>	Gorrión chillón	X	X				X		
<i>Fringilla coelebs</i>	Pinzón vulgar		X	X	X	X			
<i>Serinus serinus</i>	Verdecillo	X	X	X	X	X			
<i>Serinus citrinella</i>	Verderón serrano					X			
<i>Carduelis chloris</i>	Verderón común	X	X	X	X	X			
<i>Carduelis spinus</i>	Lúgano				X	X			
<i>Loxia curvirostra</i>	Piquituerto					X			
<i>Coccothrauster coccothrauster</i>	Picogordo					X			
<i>Emberiza cia</i>	Escribano montesino			X	X		X		

Tabla 15: Fauna de la zona 3

7.2.10. Flora

A continuación, se muestra un listado de las diferentes especies que existen en el área que encuadra nuestro parque eólico.

- Pino laricio (*Pinus nigra*)
- Pino carrasco (*Pinus halepensis*)
- Pino rodeno o negral (*Pinus pinaster*)
- Pino silvestre (*Pinus sylvestris*)
- Quejigo (*Quercus faginea*)
- Carrasca (*Quercus ilex*)
- Alcornoque (*Quercus suber*)
- Algarrobo (*Ceratonia siliqua*)
- Matorrales
- Cultivos

7.3. IDENTIFICACIÓN DE IMPACTOS

En este apartado identificamos las acciones que, siendo necesarias para llevar a cabo nuestro proyecto, son susceptibles de provocar un impacto del tipo que sea en el medio. Estas acciones las podemos clasificar según la fase de proyecto en la que nos encontremos.

Fase de construcción:

- Creación de viales
- Desbroce y tala de vegetación
- Movimientos de tierras y emisión de polvo
- Cimentaciones
- Transporte de los aerogeneradores y uso de maquinaria pesada
- Montaje de los aerogeneradores y la caseta de transformación
- Acondicionamiento de líneas de transporte eléctrico

Fase de explotación:

- Funcionamiento del parque eólico
- Presencia de los aerogeneradores
- Transporte asociado a labores de mantenimiento

Fase de desmantelamiento:

- Desarme del parque eólico
- Movimientos de tierras y emisión de polvo
- Transporte del material obsoleto y uso de maquinaria pesada
- Reacondicionamiento de la zona y reforestación

7.4. FACTORES AMBIENTALES AFECTADOS

Factores físicos:

- Tierra: con la apertura de los viales y, en general, el trabajo de las tierras de la zona, se puede producir un riesgo de erosionabilidad del terreno.
- Agua: existe el riesgo de vertidos accidentales de restos de hormigón u otros residuos de la fase de construcción, como la gasolina de las maquinarias, hacia las aguas superficiales o las subterráneas.
- Aire: los aerogeneradores en sí no contaminan el aire, pero sí hay emisiones de CO₂ por parte de la maquinaria de construcción, además del polvo que se produce en la creación de los viales y caminos del parque eólico.

Factores biológicos:

- Flora: en la fase de construcción de nuestro proyecto es donde se produce la pérdida de vegetación. Esto provoca que en toda la zona en la que instalamos nuestro parque desaparecerá la vegetación superficial del terreno.
- Fauna: con la pérdida de vegetación que hemos comentado anteriormente, muchos animales podrían perder su hábitat. Además, el aumento del ruido provocado por las obras y posteriormente por los aerogeneradores puede provocar la migración de algunas especies a otras zonas. También debemos tener en cuenta que gran cantidad de aves podrían morir a causa del movimiento de las palas del aerogenerador.

Factor perceptual:

- Calidad paisajística: se verá afectada por la instalación de nuestro parque eólico, pues se trata de aerogeneradores de gran tamaño que no concuerda con las vistas de montaña y naturaleza de la zona.

Factor socioeconómico:

- Empleo: al llevar a cabo un proyecto de estas características se crean muchos puestos de trabajo, temporales eso sí, tanto en las fases de construcción y desmantelamiento como para el mantenimiento del parque eólico.
- Economía: el propietario del suelo sobre el que se edifica nuestro parque eólico recibe unos ingresos importantes. Ya sea el propio ayuntamiento del municipio correspondiente o un particular.

7.5. EVALUACIÓN DE IMPACTOS. MATRIZ DE LEOPOLD

Para medir la magnitud de los impactos generados por nuestro proyecto, se construirá una matriz de tipo causa-efecto denominada matriz de Leopold. Esta matriz consta de entradas dobles, en cuyas columnas aparecen las acciones productoras de impactos y en las filas, los factores ambientales susceptibles de ser afectados. En la intersección entre filas y columnas se colocará el índice de incidencia estandarizado, valor asociado a la intensidad del impacto generado por una actividad concreta sobre un factor ambiental determinado. Dicho índice de incidencia estandarizado tiene un valor entre 0 y 1.

Cada impacto se evalúa atendiendo a los atributos que este presenta. A continuación, se hace una breve explicación de cada uno de ellos:

- **Signo:** refleja si el efecto por el impacto generado es beneficioso o perjudicial.
- **Inmediatez:** si es directo, el efecto tendrá repercusión inmediata; mientras que, si es indirecto, será derivado.
- **Acumulación:** si es simple, presentará un único componente ambiental sin efectos secundarios. Por el contrario, si es acumulativo, el efecto verá incrementada su gravedad conforme lo haga la duración de la actividad generadora.
- **Sinergia:** se refiere al fenómeno ocurrido cuando la coexistencia de varios efectos simples tiene un impacto mayor que el de la suma que tendrían todos ellos por separado.
- **Momento:** si el efecto se produce a corto plazo, sus consecuencias serán visibles en menos de un año. En el caso de impactos a medio plazo, el efecto se pondrá de manifiesto antes de cinco años, y en efectos a largo plazo, en un período mayor a cinco años.
- **Persistencia:** se refiere a si el efecto es temporal o permanente.
- **Reversibilidad:** los procesos reversibles podrán ser asimilados por los procesos naturales, mientras que los irreversibles no.
- **Continuidad:** detalla si el efecto producido es continuo o intermitente en el tiempo.
- **Periodicidad:** refleja si el efecto se produce de forma cíclica o si es de aparición irregular.

Así mismo, a dichos atributos les corresponderá un determinado valor según su carácter, como se puede apreciar en la siguiente tabla:

ATRIBUTO	CARÁCTER DEL ATRIBUTO	CÓDIGO VALOR
Signo del efecto	Benéfico	+
	Perjudicial	-
	Indeterminado	x
Inmediatez	Directo	3
	Indirecto	1
Acumulación	Simple	1
	Acumulativo	3
Sinergia	Leve	1
	Media	2
	Fuerte	3
Momento	A corto plazo	3
	A medio plazo	2
	A largo plazo	1
Persistencia	Temporal	1
	Permanente	3
Reversibilidad	A corto plazo	1
	A medio plazo	2
	A largo plazo o irreversible	3
Recuperabilidad	Fácil	1
	Media	2
	Difícil	3
Continuidad	Continuo	3
	Discontinuo	1
Periodicidad	Periódico	3
	Irregular	1

Tabla 16: Atributos para la matriz de Leopold

Una vez se ha puntuado cada atributo, se procede a sumar el valor de todos para obtener así el índice de incidencia del impacto:

$$I = \sum \text{atributos} \quad (8)$$

El siguiente paso consistirá en estandarizar el índice de incidencia obtenido para introducir dicho factor en la matriz de Leopold. Para ello se hará uso de la siguiente fórmula, obteniendo así un valor comprendido entre 0 y 1.

$$I_{\text{estandarizada}} = \frac{I - I_{\min}}{I_{\max} - I_{\min}} \quad (9)$$

Donde I_{\min} es el valor obtenido utilizando el menor valor asociado a cada atributo e I_{\max} el mayor. Así, $I_{\min} = 9$ e $I_{\max} = 27$.

Según el valor calculado de $I_{\text{estandarizada}}$ a cada impacto le corresponderá una calificación, como se puede apreciar en la siguiente tabla:

CALIFICACIÓN FINAL DE IMPACTO			
COMPATIBLE $0 < I < 0,15$	MODERADO $0,16 < I < 0,36$	SEVERO $0,37 < I < 0,65$	CRÍTICO $0,66 < I < 1$
Impacto de poca entidad, recuperándose el medio por sí mismo sin medidas correctoras e inmediatamente tras el cese de la acción.	La recuperación, sin medidas correctoras intensivas lleva cierto tiempo.	La recuperación exige un tiempo dilatado, incluso con la adopción de medidas correctoras.	Se produce una pérdida permanente de las condiciones ambientales sin posible recuperación, incluso con la adopción de prácticas o medidas correctoras.

Tabla 17: Calificación final de impacto ambiental

A continuación, se muestra la matriz de Leopold resultante para cada una de las tres fases del proyecto. En ellas, cada celda se ha coloreado acorde a la calificación obtenida. En la siguiente tabla explicamos cuáles han sido los colores asignados a cada calificación:

Calificación	Color
Sin interacción	
Compatible	
Moderado	
Severo	
Crítico	
Efecto beneficioso	
Sumatorio	

Tabla 18: Calificación en colores del impacto ambiental

			ACTIVIDADES FASE DE CONSTRUCCIÓN								
			Creación de viales	Desbroce y tala de vegetación	Movimientos de tierras y emisión de polvo	Cimentaciones	Transporte de los aerogeneradores y uso de maquinaria pesada	Montaje de los aerogeneradores	Acondicionamiento de líneas de transporte	Σ	
FACTORES AMBIENTALES AFECTADOS	MEDIO INERTE	Aire	Calidad	-0.33	-0.11	-0.39	-0.33	-0.39	-0.33	-0.33	-2.22
			Confort sonoro	-0.39	-0.33	-0.11	-0.33	-0.44	-0.44	-0.33	-2.39
		Agua	Calidad	-0.17		-0.11	-0.11				-0.3
		Tierra y suelo	Calidad	-0.22	-0.22	-0.39	-0.56			-0.39	-1.78
			Erosión	-0.39	-0.33	-0.50		-0.22		-0.56	-2.00
	MEDIO BIÓTICO	Vegetación	Formaciones vegetales	-0.33	-0.44	-0.28				-0.28	-1.33
			Especies protegidas	-0.39	-0.50	-0.28				-0.33	-1.50
		Fauna	Hábitats	-0.33	-0.33	-0.17	-0.17	-0.17		-0.28	-1.45
			Especies protegidas	-0.50	-0.50	-0.17	-0.17	-0.17		-0.33	-1.84
	MEDIO PERCEPTUAL	Calidad paisajística	-0.44	-0.39	-0.39	-0.56	-0.33	-0.33	-0.56	-3.00	
MEDIO SOCIECONÓMICO	Empleo	0.44	0.44	0.22	0.33	0.44	0.44	0.33	2.67		
	Economía	0.39	0.39	0.28	0.28	0.39	0.39	0.28	2.39		
		Σ	-2.67	-2.33	-2.28	-1.61	-0.89	-0.28	-2.78		

Tabla 19: Matriz de Leopold fase de construcción

				ACTIVIDADES FASE DE EXPLOTACIÓN			Σ
				Funcionamiento del parque eólico	Presencia de los aerogeneradores	Transporte asociado a labores de mantenimiento	
FACTORES AMBIENTALES AFECTADOS	MEDIO INERTE	Aire	Calidad			-0.39	-0.39
			Confort sonoro	-0.56	-0.33	-0.44	-1.33
		Agua	Calidad				
		Tierra y suelo	Calidad		-0.28		-0.28
			Erosión			-0.22	-0.22
	MEDIO BIÓTICO	Vegetación	Formaciones vegetales				
			Especies protegidas				
		Fauna	Hábitats	-0.44	-0.44	-0.17	-1.06
			Especies protegidas	-0.61	-0.61	-0.17	-1.39
	MEDIO PERCEPTUAL	Calidad paisajística	-0.50	-0.56	-0.33	-1.39	
MEDIO SOCIECONÓMICO	Empleo			0.44	0.44		
	Economía			0.39	0.39		
		Σ	-2.21	-2.22	-0.89		

Tabla 20: Matriz de Leopold fase de explotación

				ACTIVIDADES FASE DE DESMANTELAMIENTO				Σ
				Desarme del parque eólico	Movimientos de tierras y emisión de polvo	Transporte del material obsoleto y uso de maquinaria pesada	Reacondicionamiento de la zona y reforestación	
FACTORES AMBIENTALES AFECTADOS	MEDIO INERTE	Aire	Calidad	-0.33	-0.39	-0.39		-1.11
			Confort sonoro	-0.44	-0.11	-0.44		-0.99
		Agua	Calidad		-0.11			-0.11
		Tierra y suelo	Calidad		-0.39			-0.39
			Erosión		-0.50	-0.22		-0.72
	MEDIO BIÓTICO	Vegetación	Formaciones vegetales		-0.28		0.44	-0.16
			Especies protegidas		-0.28		0.50	-0.22
		Fauna	Hábitats	-0.17	-0.17	-0.17	0.44	-0.07
			Especies protegidas	-0.17	-0.17	-0.17	0.50	-0.01
	MEDIO PERCEPTUAL		Calidad paisajística	-0.33	-0.39	-0.33		-1.05
MEDIO SOCIOECONÓMICO		Empleo	0.44	0.22	0.44		-1.10	
		Economía	0.39	0.28	0.39		-1.06	
		Σ	-0.61	-2.29	-0.89	1.89		

Tabla 21: Matriz de Leopold fase de desmantelamiento

En las tablas 19, 20 y 21 se puede apreciar que la última fila y columna de cada una de ellas en un sumatorio de las anteriores. Esto nos ayudará a observar con mayor facilidad las actividades de nuestro proyecto con mayor impacto, así como los factores ambientales más afectados. Cabe destacar también que se trata de valores aproximados, pues no hemos tenido en cuenta la duración de cada actividad.

Como conclusión de este ejercicio estadístico de impacto ambiental podemos observar en las diferentes matrices de Leopold que la fase más perjudicial es la de construcción. Dentro de esta fase de nuestro proyecto, las acciones más perjudiciales son la creación de accesos viales y el acondicionamiento de las líneas de transporte eléctrico. Así mismo, los factores ambientales más afectados son la calidad del paisaje, el confort sonoro, la calidad del aire y la erosión del terreno. También debemos hacer mención al funcionamiento y presencia de los aerogeneradores en la fase de explotación, por tener también un impacto relevante sobre la calidad paisajística y la fauna. Por último, destacar los efectos beneficiosos de nuestro proyecto sobre la economía y el empleo del municipio.

Habiendo estudiado todos estos factores, consideramos que el parque eólico es medioambientalmente viable. Pues carece de impactos severos, según la matriz de Leopold, no pasando estos en ningún caso de un carácter crítico. De cualquier forma, en el próximo apartado se proponen medidas preventivas y correctoras para paliar esos posibles efectos perjudiciales provocados por nuestro parque.

7.6. MEDIDAS PREVENTIVAS Y CORRECTORAS

7.6.1. Ruido

El ruido en nuestro proyecto es inevitable, pero si podemos reducir sus efectos. En las fases de construcción y desmantelamiento del parque, utilizando maquinaria que genere el menor ruido posible. Por otra parte, en la fase de explotación se puede realizar el transporte para las labores de mantenimiento con vehículos eléctricos, pues estos emiten muchos menos decibelios que los motores de combustión habituales.

Así mismo, podemos reducir el ruido de los propios aerogeneradores al girar sus palas si escogemos para ello un modelo adecuado a estas características.

7.6.2. Contaminación del aire

Las emisiones de polvo de la fase de construcción son inevitables, pero tampoco es determinante como contaminante del aire. Lo que nos afecta son las emisiones de CO₂, las cuales podemos reducir con vehículos eléctricos para las labores de mantenimiento como ya hemos sugerido anteriormente.

7.6.3. Erosión del terreno

Con el movimiento de tierras y las cimentaciones para los caminos y los viales del parque el terreno sufre por erosión del mismo. Una medida preventiva para evitar que esto suceda en exceso sería reducir la velocidad de los vehículos que pasen por esa zona. Además, tras el desmantelamiento del parque, se procederá a restaurar el terreno por ejemplo mediante la reforestación.

7.6.4. Impacto visual

El impacto visual de un parque eólico es inevitable puesto que se suelen situar en las cimas o lomas de las montañas. Si debemos tener en cuenta no dañar visualmente ningún enclave característico de la zona o de mucha relevancia cultural o estética.

7.6.5. Fauna

Dentro del impacto que produce en la fauna y que hemos descrito ya en el apartado 7.4, las aves son los animales que más se ven afectados por este tipo de proyectos. Muchas especies de aves mueren cada año por culpa de las palas de aerogeneradores. Por ello, debemos tener en cuenta las épocas de migración de las especies de aves de la zona, así como las rutas que suelen tomar. De esta forma, podremos detener las palas de nuestros aerogeneradores en estas situaciones para evitar percances de este tipo.

7.6.6. Flora

Una vez amortizado y desmantelado por completo nuestro parque eólico, nos encargamos de reforestar la zona afectada para recuperar la flora que existía antes de nuestra actuación.

8. ESTUDIO DE VIABILIDAD ECONÓMICA

8.1. COSTES INICIALES

Atendiendo al Plan de Energías Renovables (PER) (IDAE, 2011), podemos realizar un desglose aproximado de los costes que supondría nuestro proyecto teniendo en cuenta las características del parque eólico en estudio.

En primer lugar, los aerogeneradores son el desembolso más importante de este proyecto pues, aunque han bajado considerablemente su precio con los años, actualmente se encuentran en el mercado con un valor aproximado de 1 millón de euros el MW.

En segundo lugar, hay que tener en cuenta la obra civil para la construcción del parque eólico. Esta obra engloba las siguientes actividades: movimientos de tierra, drenajes regeneración ambiental, cimentaciones, así como las horas invertidas por los ingenieros responsables en este proyecto.

Por otro lado, hay que contabilizar también las labores con el tendido de la red eléctrica. Desde los aerogeneradores hasta la subestación y desde ahí hasta la interconexión con la línea de alta tensión de la red nacional.

También introducimos en este desglose el coste de la subestación y su conexión eléctrica. Esto incluye tanto un recinto para los operarios como las instalaciones de control y operaciones, así como sala de comunicaciones, taller, etc.

Además, hay que tener presente los costes por pagos de tasas y cuestiones administrativas, aunque estos suelen implicar no más del 2% del proyecto.

Aerogeneradores (75%)	12.000.000 €
Obra civil e ingeniería (8%)	1.280.000 €
Instalación eléctrica (5%)	800.000 €
Subestación y conexión eléctrica (10%)	1.600.000 €
Promoción (2%)	320.000 €
TOTAL	16.000.000 €

Tabla 22: Costes iniciales

8.2. COSTES DE EXPLOTACIÓN

Los costes de explotación, como su propio nombre indica son los derivados del uso o explotación del parque eólico. Es decir, los gastos que provoca el mantenimiento de la instalación. Estos costes, aunque se consideran asequibles por comparación con el total a desembolsar para este proyecto, comprenden un gran número de actividades o situaciones. Estas van desde el salario de los trabajadores, el transporte o las piezas de repuesto hasta el control remoto de la situación eléctrica del parque desde la nave de operaciones y control.

Para simplificar su cálculo recurrimos a la estimación que nos ofrece el PER 2011-2020, documento en el cual se establece un coste anual aproximado de 45.000 €/MW. Teniendo en cuenta que nuestro parque eólico tiene una potencia instalada de 17,4 MW, podemos determinar que los costes de explotación del mismo serán de 783.000 €.

8.3. INGRESOS

Los ingresos en este proyecto provienen de la venta de la energía eléctrica generada por nuestros aerogeneradores. Estos se calculan con la fórmula de la tarifa de explotación, la cual se desglosa a continuación:

$$\text{Tarifa de exportación} = \frac{\text{Retribución específica} + \text{Ingresos producción anual}}{\text{Energía producida anualmente}} \quad (10)$$

Donde:

$$\text{Retribución específica} = R_{\text{inv}} * \text{Potencia instalada} + R_0 * \text{Producción anual} \quad (11)$$

$$\text{Ingresos producción anual} = \text{Producción anual} * \text{Precio de mercado} \quad (12)$$

Los valores para la retribución a la inversión (R_{inv}) y la retribución a la operación (R_0) se establecen en el Real Decreto 413/2014. En el cual, para este tipo de instalación, clasificada como IT-00665, se establecen unos valores de $R_{\text{inv}} = 101.240$ €/MW y $R_0 = 0$ €/MW. La potencia instalada del parque eólico es de 17,4 MW, y la producción anual, como vimos en el apartado 6, es 40.262,930 MWh. Además, el precio de mercado establecido por la Orden ETU/555/2017 es actualmente de 48,04 €/MWh. Con todos estos parámetros y haciendo uso de las fórmulas 10, 11 y 12 anteriormente desarrolladas, se obtiene una tarifa de exportación de 91,79 €/MWh.

Cabe destacar que el factor más relevante para nuestros ingresos (el precio de la luz) es un valor que ha ido creciendo especialmente estos últimos años, como ya hicimos en el punto 3 de este estudio con el contexto mundial y más concretamente en el 3.3. Panorama Nacional.

Es por eso que, pese al elevado coste de este proyecto, se trata de una inversión fiable con una gran rentabilidad dadas las características del parque y el precio de la luz que ya hemos comentado.

A continuación profundizamos más en estos temas de rentabilidad para confirmar que la gran inversión necesaria es fiable y fructífera.

8.4. FLUJOS DE CAJAS

A continuación, analizamos como variarán las salidas y entradas netas de dinero del proyecto según los posibles escenarios. Así mismo, calculamos también el Valor Actual Neto (VAN) y la Tasa de Retorno (TIR) del proyecto en base a los flujos de caja de cada situación, parámetros muy comunes en los estudios de viabilidad económica.

Por una parte, el VAN refleja los ingresos que generará el parque eólico, una vez descontada la inversión inicial. De esta manera, un VAN superior a cero implicará que el proyecto es rentable.

Por otra parte, la TIR es el tipo de interés con el cual se obtiene un VAN nulo. Una TIR elevada será sinónimo de una buena rentabilidad del proyecto, suponiendo un retorno de la inversión comparable a unos tipos de interés más elevados que los que se pueden encontrar en el mercado financiero.

Otro parámetro necesario para realizar el estudio de viabilidad económico es la vida útil del proyecto. Dicha información viene detallada en el Real Decreto 413/2014, documento en el cual se clasifican los parques eólicos terrestres dentro de la categoría b.2.1. Como se puede apreciar en la Tabla 23, a dicha clasificación le corresponde una vida útil de 20 años.

Categoría	Grupo	Subgrupo	Vida útil regulatoria (años)
a)	a.1	a.1.1, a.1.2 y 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 y b.8		25
c)	c.1, c.2 y c.3		25

Tabla 23: Vida útil según tipo de instalación. Fuente: Real Decreto 413/2014

A continuación, procedemos con el programa informático RETScreen (Canada, 2023), software que calcula automáticamente el VAN y la TIR del proyecto en base a los costes iniciales, costes de explotación, ingresos y vida útil. Así mismo, debemos introducir en el programa los parámetros que definirán el escenario financiero en el que se lleva a cabo el proyecto: tasa inflación, interés y duración del préstamo, tasa de descuento y relación de deuda.

Seguidamente, procederemos modificando la tasa de inflación y la relación de deuda así como la tasa de interés, con el fin de estudiar varios posibles escenarios e identificar cuál de ellos es el más indicado desde el punto de vista económico. Para la obtención de los resultados establecemos una tasa de descuento del 10%. Este porcentaje es elegido desde un punto de vista conservador. Puesto que se prevee que la inflación se estabilice en los próximos años, pero no tenemos la seguridad de que vaya a suceder. La duración de la deuda es de 10 años, valor que refleja la mitad de la vida útil del proyecto. Por lo que respecta a la tasa de inflación, esta ha ido variando entre el 1,1% y el 2%; intervalo en el cual se sitúan las predicciones hechas por el Banco de España para las tasas de inflación de los próximos años. En cuanto a la tasa de interés de la deuda, hemos hecho los cálculos para un 4, 5 y 6% debido a que la tasa de interés para proyectos millonarios suele girar en torno a dichos valores.

		RELACIÓN DE DEUDA (%)				
		60	70	80	90	100
TASA DE INFLACIÓN (%)	1,1	VAN: 13.293.558 € TIR: 12,7%	VAN: 13.681.447 € TIR: 11,8%	VAN: 14.069.336 € TIR: 10,9%	VAN: 14.457.225€ TIR: 10%	VAN: 14.845.114 € TIR: 9,2%
	1,3	VAN: 13.715.084 € TIR: 13%	VAN: 14.102.973 € TIR: 12,1%	VAN: 14.490.862 € TIR: 11,2%	VAN: 14.878.750 € TIR: 10,3%	VAN: 15.266.639 € TIR: 9,5%
	1,6	VAN: 14.364.123 € TIR: 13,4%	VAN: 14.752.012 € TIR: 12,5%	VAN: 15.139.900 € TIR: 11,6%	VAN: 15.527.789 € TIR: 10,8%	VAN: 15.915.678 € TIR: 9,9%
	2	VAN: 15.261.921 € TIR: 13,9%	VAN: 15.649.810 € TIR: 13%	VAN: 16.037.699€ TIR: 12,2%	VAN: 16.425.587 € TIR: 11,3%	VAN: 16.813.476 € TIR: 10,5%

Tabla 24: Comparación posibles escenarios. Tasa de interés de la deuda 4%

		RELACIÓN DE DEUDA (%)				
		60	70	80	90	100
TASA DE INFLACIÓN (%)	1,1	VAN: 12.927.030 € TIR: 12,4%	VAN: 13.253.830 € TIR: 11,5%	VAN: 13.253.830 € TIR: 10,6%	VAN: 13.907.432€ TIR: 9,7%	VAN: 14.234.233 € TIR: 8,8%
	1,3	VAN: 13.348.555 € TIR: 12,7%	VAN: 13.675.356 € TIR: 11,7%	VAN: 14.002.157 € TIR: 10,8%	VAN: 14.328.957 € TIR: 10%	VAN: 14.328.957 € TIR: 9,6%
	1,6	VAN: 13.997.594 € TIR: 13,1%	VAN: 14.324.395 € TIR: 12,2%	VAN: 14.651.196 € TIR: 11,3%	VAN: 14.977.996 € TIR: 10,4%	VAN: 15.304.797 € TIR: 9,6%
	2	VAN: 14.895.392 € TIR: 13,7%	VAN: 15.222.193 € TIR: 12,7%	VAN: 15.548.994 € TIR: 11,8%	VAN: 15.875.794 € TIR: 11%	VAN: 16.202.595 € TIR: 10,1%

Tabla 25: Comparación posibles escenarios. Tasa de interés de la deuda 5%

		RELACIÓN DE DEUDA (%)				
		60	70	80	90	100
TASA DE INFLACIÓN (%)	1,1	VAN: 12.255.167€ TIR: 12,1%	VAN: 12.815.908 € TIR: 11,1%	VAN: 13.080.148 € TIR: 10,2%	VAN: 13.344.389 € TIR: 9,3%	VAN: 13.608.629 € TIR: 8,4%
	1,3	VAN: 12.973.193€ TIR: 12,4%	VAN: 13.237.433 € TIR: 11,4%	VAN: 13.501.674 € TIR: 10,5%	VAN: 13.765.914 € TIR: 9,6%	VAN: 14.030.154 € TIR: 8,7%
	1,6	VAN: 13.622.232 € TIR: 12,8%	VAN: 13.886.472 € TIR: 11,9%	VAN: 14.150.713 € TIR: 10,9%	VAN: 14.414.953 € TIR: 10%	VAN: 14.679.193 € TIR: 9,1%
	2	VAN: 14.520.030 € TIR: 13,4%	VAN: 14.784.270 € TIR: 12,4%	VAN: 15.048.511 € TIR: 11,5%	VAN: 15.312.751 € TIR: 10,6%	VAN: 15.576.991€ TIR: 9,1%

Tabla 26: Comparación posibles escenarios. Tasa de interés de la deuda 6%

En las tablas 24, 25 y 26 se reflejan los resultados del estudio de viabilidad. La cuadrícula verde representa la situación más favorable para cada tasa de interés y la roja, la más desfavorable.

Podemos asumir que el proyecto resulta viable bajo cualquiera de las hipótesis consideradas puesto que en todas ellas el TIR aparece como un valor suficientemente alto, entre el 8 y el 14% aproximadamente. Lo mismo ocurre con el VAN, que en estos casos también tiene un valor elevado e interesante.

En conclusión, la situación más rentable económicamente para nuestro parque eólico se producirá con una relación de deuda del 100%, una tasa de inflación del 2% y una tasa de interés de la deuda del 4%, con un VAN de 16.202.595 € y una TIR del 10,1%.

9. CONCLUSIONES

El estudio de viabilidad de nuestro parque eólico, realizado en la comarca de los Puertos de Morella, nos ha ofrecido dos zonas candidatas para el desarrollo de nuestro proyecto. Hemos verificado que dichas zonas no suponen un problema para ninguna figura ambiental de la comarca. Posteriormente se han estudiado las características relacionadas con el recurso eólico en dichas zonas, comprobando su viabilidad una vez más y entendiendo que nuestros aerogeneradores se deben colocar de forma perpendicular a la dirección noroeste, siendo esta la dirección principal del viento y, por tanto, de la que mayor potencia podemos extraer con nuestro equipo.

Posteriormente, se han comparado diferentes aerogeneradores de la empresa española Gamesa con la intención de determinar cuál es el modelo que más energía puede extraer del viento para las características de este en nuestra área de estudio. Llegamos así a la conclusión de que el modelo elegido con dicho fin es el SG 2.9-129 con una potencia nominal de 2.9 MW. Comprobando también cual sería la energía producida la energía producida por este modelo de aerogenerador en ambas zonas, seleccionado como la más favorable la zona II. Así mismo, se ha estudiado la configuración de los aerogeneradores en ambas zonas para comprobar que efectivamente, la zona escogida anteriormente es la más eficiente y productiva, con una producción de 40.262,929 MWh y un factor de carga de 0,38. Dichos valores son muy elevados, reflejando el alto rendimiento del parque eólico.

El estudio de impacto ambiental ha reflejado que el proyecto tendría una repercusión moderada en los factores ambientales condicionados por nuestro parque, por lo que será medioambientalmente viable. De cualquier forma, y con el fin de minimizar el posible impacto ambiental, se han propuesto varias medidas correctoras y preventivas.

Por último, se ha comprobado la viabilidad económica de nuestro parque eólico. Esto es así porque en todos los escenarios planteados se han obtenido Tasas Internas de Rentabilidad (TIR) y Valores Actuales Netos positivos. El caso más favorable del estudio muestra un VAN de 16.202.595 € y una TIR del 10,1%

10. REFERENCIAS

Aerogeneradores onshore I Siemens Gamesa. (s. f.). <https://www.siemensgamesa.com/es-es/products-and-services/onshore>

Canada, N. R. (2023, 30 mayo). *RETScreen*. <https://natural-resources.canada.ca/maps-tools-and-publications/tools/modelling-tools/retscreen/7465>

Costos de generación de energía renovable en 2021. (2022, 1 julio). <https://www.irena.org/Publications/2022/Jul/Renewable-Power-Generation-Costs-in-2021-ES>

Decreto-ley 1/2022, de 22 de abril. (2022). Boletín Oficial del Estado. <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=DOGV-r-2022-90121>

Decreto-ley 14/2020, de 7 de agosto. (2020). Boletín Oficial del Estado. <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOGV-r-2020-90356>

El clima en Morella, el tiempo por mes, temperatura promedio (España) - Weather Spark. (s. f.). Weather Spark. <https://es.weatherspark.com/y/42808/Clima-promedio-en-Morella-Espa%C3%B1a-durante-todo-el-a%C3%B1o>

El efecto del parque. (2003). Asociación danesa de la industria eólica. <http://xn--drmstrre-64ad.dk/wp-content/wind/miller/windpower%20web/es/tour/wres/park.htm>

El sistema eléctrico español. (2022). Red Eléctrica de España (REE). <https://www.sistemaelectrico-ree.es/informe-del-sistema-electrico>

El efecto de la colina. (2003). Asociación danesa de la industria eólica. <http://xn--drmstrre-64ad.dk/wp-content/wind/miller/windpower%20web/es/tour/wres/hill.htm#:~:text=Efecto%20de%20la%20colina&text=Una%20forma%20corriente%20de%20emplazar,viento%20dominante%20en%20el%20%C3%A1rea>

Estadísticas de Capacidad Renovable 2022. (2022, 1 abril). <https://www.irena.org/publications/2022/Apr/Renewable-Capacity-Statistics-2022-ES>

Fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables. (2017). <https://eur-lex.europa.eu/ES/legal-content/summary/promotion-of-the-use-of-energy-from-renewable-sources.html>

Gamez, M. J. (2022, 24 mayo). *Objetivos y metas de desarrollo sostenible - Desarrollo Sostenible*. *Desarrollo Sostenible*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

Global Wind Atlas. (2023). <https://globalwindatlas.info/es>

IDAE. (2011). *Plan de energías renovables 2011 – 2020*. <https://www.idae.es/tecnologias/energias-renovables/plan-de-energias-renovables-2011-2020>

INE - Instituto Nacional de Estadística. (s. f.). *Instituto Nacional de Estadística. (Spanish Statistical Institute)*. <https://www.ine.es/nomen2/index.do?accion=busquedaRapida&subaccion=&numPag=0&ordenAnios=ASC&nombrePoblacion=Morreila>

Ley 1/2005, de 9 de marzo. (2005). Boletín Oficial del Estado. <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-2005-3941>

Ley 6/2022, de 5 de diciembre. (2022). Boletín Oficial del Estado. https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2023-4378

Ley 26/2007, de 23 de octubre. (2007). Boletín Oficial del Estado. <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2007-18475>

Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico. (2021). *PLAN NACIONAL INTEGRADO DE ENERGÍA Y CLIMA 2021-2030*. Miteco. <https://www.miteco.gob.es/es/prensa/pniec.aspx>

Nacional, I. G. (s. f.-b). *Instituto Geográfico Nacional*. Geoportal oficial del Instituto Geográfico Nacional de España. <https://www.ign.es/web/mapas-sismicidad>

OMIE. (s. f.). <https://www.omie.es/>

Orden TEC/1314/2018, de 7 de diciembre. (2018). Boletín Oficial del Estado. <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2018-16956>

Plan Eólico de la Comunitat Valenciana - Energía y Minas - Generalitat Valenciana. (s. f.). Energía y Minas. <https://cindi.gva.es/es/web/energia/pla-eolic-de-la-comunitat-valenciana>

Real Decreto-ley 23/2020, de 23 de junio. (2020). Boletín Oficial del Estado. <https://boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2020-6621>

Real Decreto-ley 12/2021, de 24 de junio. (2021). Boletín Oficial del Estado. https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2021-10584

Real Decreto 1315/2005, de 4 de noviembre. (2005). Boletín Oficial del Estado. <https://www.boe.es/buscar/act.php?id=BOE-A-2005-18425>

Reglamento (UE) 2021/1119 del Parlamento Europeo. (2021). <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX%3A32021R1119>

UNE-EN IEC 61400-1. Sistemas de generación de energía eólica. (2020). UNE. Normalización España. <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0063447>

Visor cartogràfic de la Generalitat. (s. f.). <https://visor.gva.es/visor/>

PRESUPUESTO

1. PRESUPUESTO DESCOMPUESTO

	Magnitud	Descripción	Cantidad	Precio Unitario (€/ud)	Subtotal	Importe (€)
Capítulo 1		Contexto del estudio				1906,43
Capítulo 1.1		Búsqueda de información				927
1.1.01	h	Ingeniero industrial	30	30	900	
1.1.02		Costes Directos Complementarios	0,03	900	27	
Capítulo 1.2		Redacción				618
1.2.01	h	Ingeniero industrial	20	30	600	
1.2.02		Costes Directos Complementarios	0,03	600	18	
Capítulo 1.3		Recursos empleados				73,03
1.3.01	ud	Licencia Microsoft Office	1	69	69	
1.3.02	Kwh	Electricidad	10	0,19	1,90	
1.3.03		Costes Directos Complementarios	0,03	70,90	2,13	
Capítulo 1.4		Reunión de seguimiento				288,40
1.4.01	h	Ingeniero industrial	4	30	120	
1.4.02	h	Ingeniero jefe	4	40	160	
1.4.03		Costes Directos Complementarios	0,03	280	8,40	

Magnitud	Descripción	Cantidad	Precio Unitario (€/ud)	Subtotal	Importe (€)
Capítulo 2	Caracterización y cálculos				4895,44
Capítulo 2.1	Búsqueda de información				1236
2.1.01	h Ingeniero industrial	40	30	1200	
2.1.02	Costes Directos Complementarios	0,03	1200	36	
Capítulo 2.2	Cálculos efectuados				1390,50
2.2.01	h Ingeniero industrial	45	30	1350	
2.2.02	Costes Directos Complementarios	0,03	1350	40,50	
Capítulo 3	Redacción técnica				1545
2.3.01	h Ingeniero industrial	50	30	1500	
2.3.02	Costes Directos Complementarios	0,03	1500	45	
Capítulo 4	Recursos empleados				2,94
2.4.01	Kwh Electricidad	15	0,19	2,85	
2.4.02	Costes Directos Complementarios	0,03	2,85	0,09	
Capítulo 5	Reunión de seguimiento				721
2.5.01	h Ingeniero industrial	10	30	300	
2.5.02	h Ingeniero jefe	10	40	400	
2.5.03	Costes Directos Complementarios	0,03	700	21	

Magnitud	Descripción	Cantidad	Precio Unitario (€/ud)	Subtotal	Importe (€)
Capítulo 3	Impacto ambiental y viabilidad económica				3813,35
Capítulo 3.1	Búsqueda de información				1545
3.1.01	h Ingeniero industrial	50	30	1500	
3.1.02	Costes Directos Complementarios	0,03	1500	45	
Capítulo 3.2	Cálculos efectuados RETScreen				309
3.2.01	h Ingeniero industrial	10	30	300	
3.2.02	Costes Directos Complementarios	0,03	300	9	
Capítulo 3.3	Redacción técnica				1236
3.3.01	h Ingeniero industrial	40	30	1200	
3.3.02	Costes Directos Complementarios	0,03	1200	36	
Capítulo 3.4	Recursos empleados				2,35
3.4.01	Kwh Electricidad	12	0,19	2,28	
3.4.02	Costes Directos Complementarios	0,03	2,28	0,07	
Capítulo 3.5	Reunión de seguimiento				721
3.5.01	h Ingeniero industrial	10	30	300	
3.5.02	h Ingeniero jefe	10	40	400	
3.5.03	Costes Directos Complementarios	0,03	700	21	

	Magnitud	Descripción	Cantidad	Precio Unitario (€/ud)	Subtotal	Importe (€)
Capítulo 4		Presupuesto				597,99
Capítulo 4.1		Elaboración del presupuesto				309
4.1.01	h	Ingeniero industrial	10	30	300	
4.1.02		Costes Directos Complementarios	0,03	300	9	
Capítulo 4.2		Recursos empleados				0,59
4.2.01	Kwh	Electricidad	3	0,19	0,57	
4.2.02		Costes Directos Complementarios	0,03	0,57	0,017	
Capítulo 4.3		Reunión de seguimiento				288,40
4.3.01	h	Ingeniero industrial	4	30	120	
4.3.02	h	Ingeniero jefe	4	40	160	
4.3.03		Costes Directos Complementarios	0,03	280	8,4	

2. RESUMEN

	Descripción	Importe (€)	%
1	Contexto del estudio	1906,43	34
1.1	Búsqueda de información	927	48,62
1.2	Redacción	618	32,42
1.3	Recursos empleados	73,03	3,83
1.4	Reunión de seguimiento	288,40	15,13
2	Estudio de alternativas y cálculo energía	4895,44	57,23
2.1	Búsqueda de información	1236	25,25
2.2	Cálculos efectuados	1390,50	28,40
2.3	Redacción técnica	1545	31,56
2.4	Recursos empleados	2,94	0,06
2.5	Reunión de seguimiento	721	14,73
3	Impacto ambiental y viabilidad económica	3813,35	35,14
3.1	Búsqueda de información	1545	40,52
3.2	Cálculos efectuados RETScreen	309	8,10
3.3	Redacción técnica	1236	32,41
3.4	Recursos empleados	2,35	0,06
3.5	Reunión de seguimiento	721	18,91
4	Presupuesto	597,99	5,33
4.1	Elaboración del presupuesto	309	51,67
4.2	Recursos empleados	0,59	0,10
4.3	Reunión de seguimiento	288,40	48,23
	TOTAL	11213,21 €	