



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

Análisis y optimización del uso de componentes en
repotenciación de parques eólicos

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales

AUTOR/A: Millán Llamas, Lucía

Tutor/a: Estellés Miguel, Sofía

Cotutor/a: Peris Ortiz, Marta

CURSO ACADÉMICO: 2022/2023

AGRADECIMIENTOS.

Quiero agradecer de corazón a mis padres por su apoyo, su cariño y su eterna dedicación hacia nuestra familia. Parte de este logro es vuestro. ¡Gracias infinitas!

A mis amigas, gracias por estar siempre a mi lado. Vuestra amistad y apoyo han sido invaluableles.

A María, mi tutora Iberdrola, y a todo el equipo, gracias por brindarme esta experiencia y permitirme formar parte del maravilloso equipo que sois.

A mi tutora, Sofía, gracias por guiarme y acompañarme en el camino con tu paciencia y dedicación.

A mis abuelos Agustín, María, Lola y Juan, y a mi madrina.

CONTENIDOS.

ÍNDICE.

CONTENIDOS	3
ÍNDICE.....	3
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	5
ÍNDICE DE TABLAS.....	6
GLOSARIO.....	7
RESUMEN.....	8
ABSTRACT.....	9
RESUM.....	10
PORTADA DE LA MEMORIA.....	11
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	12
1.1. OBJETVOS DEL PROYECTO.....	12
1.1.1. OBJETIVO PRINCIPAL.....	12
1.1.2. OBJETIVOS.....	12
1.2. ESTRUCTURA DEL TRABAJO.....	13
1.3. ALCANCE DEL PROYECTO.....	14
1.4. RELACIÓN DE ESTE TFG CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE.....	15
CAPÍTULO 2. SISTEMA ENERGÉTICO EN ESPAÑA.....	17
2.1. HISTORIA DE IBERDROLA.....	19
2.1.1. HIDROELECTRICA IBÉRICA.....	19
2.1.2. IBERDUERO.....	20
2.1.3. HIDROELÉCTRICA ESPAÑOLA.....	21
2.1.4. IBERDROLA.....	23
2.2. ENERGÍAS RENOVABLES.....	25
2.2.1. LA EVOLUCIÓN DE LA ENERGÍA RENOVABLE.....	26
2.3. ENERGÍA EÓLICA.....	28
2.3.1. LOS INICIOS DE LA EÓLICA.....	28
2.3.2. CONCEPTOS PREVIOS SOBRE ENERGÍA EÓLICA.....	29
2.3.3. TIPOS DE EN ENERGÍA EÓLICA: ONSHORE Y OFFSHORE.....	34
2.3.4. GENERACIÓN DE ENERGÍA.....	36
2.3.5. LA EÓLICA ACTUAL.....	38
2.3.6. OBJETIVOS RENOVABLES EN EL SECTOR.....	41
CAPÍTULO 3. REPOTENCIACIÓN Y ECONOMÍA CIRCULAR.....	43
3.1. REPOTENCIACIÓN DE PARQUES EÓLICOS.....	43
3.2. ECONOMÍA CIRCULAR.....	46

3.3. APOYO FINANCIERO PARA REPOTENCIACIÓN EÓLICA Y RECICLAJE DE PALAS DE AEROGENERADORES.....	48
CAPÍTULO 4. PROYECTO DE ESTUDIO.	49
4.1. DESCRIPCIÓN DATOS DE PARTIDA.	49
4.2. ANÁLISIS DEL PROYECTO.....	53
4.3. REDUCCIÓN.	64
4.4. REUTILIZACIÓN.....	68
4.5. RECICLAJE.	70
4.6. AHORRO DEBIDO A LA ECONOMÍA CIRCULAR.	74
4.7. EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL COSTE DE REALIZACIÓN DEL TRABAJO EN COLABORACIÓN CON LA EMPRESA.....	76
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES.	77
BIBLIOGRAFÍA.	80

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.

ILUSTRACIÓN 1:ILUSTRACIÓN 1:ODS (NACIONES UNIDAS, S.F.)	16
ILUSTRACIÓN 2:MIX ENERGÉTICO ESPAÑOL EN EL PRIMER TRIMESTRE DE 2023 (RED ELECTRICA, 2023).....	17
ILUSTRACIÓN 3:GRÁFICO COMPARATIVO ENTRE ENERGÍAS RENOVABLES Y NO RENOVABLES (REN21, 2019)..	25
ILUSTRACIÓN 4:MOLINO MULTIPALA DE BOMBEO DE AGUA EN UNA GRANJA AGRÍCOLA ESTADOUNIDENSE (MÁRTIL DE LA PLAZA, 2021).....	29
ILUSTRACIÓN 5:MAPA EÓLICO DE ESPAÑA (GLOBAL WIND ATLAS, S.F.)	30
ILUSTRACIÓN 6:DISTRIBUCIÓN DE AEROGENERADORES (BALBÁS GARCÍA, S.F.).....	31
ILUSTRACIÓN 7:ENERGÍA EÓLICA GENERADA EN ESPAÑA DE 2010 A 2022 EN GIGAVATIOS-HORA (STATISTA, 2023).....	33
ILUSTRACIÓN 8:POTENCIA EÓLICA INSTALADA EN ESPAÑA DE 2010 A 2022 EN MEGAVATIOS (STATISTA, 2023).....	34
ILUSTRACIÓN 9:PRINCIPALES COMPONENTES DE UN AEROGENERADOR (MÁRTIL, 2018).....	37
ILUSTRACIÓN 10:RANKING DE PAÍSES POR POTENCIA TERRESTRE ACUMULADA (AEE, 2023).	38
ILUSTRACIÓN 11:POTENCIA EÓLICA GENERADA EN 2022 EN LAS COMUNIDADES AUTÓNOMAS ESPAÑOLAS (STATISTA, 2023).....	39
ILUSTRACIÓN 12:TOP DE FABRICANTES POR POTENCIA INSTALADA Y ACUMULADA EN 2022 (AEE, 2023).....	40
ILUSTRACIÓN 13:VIDA MEDIA EQUIPOS SUSTITUIDOS DESDE 2019.....	65
ILUSTRACIÓN 14:VIDA MEDIA EQUIPOS EN LOS PARQUES A REPOTENCIAR.	65
ILUSTRACIÓN 15:PARQUE INFANTIL DE PALAS DE AEROGENERADORES EN PAÍSES BAJOS (BARRÁN GUERRA, 2022).....	73
ILUSTRACIÓN 16:PARADA DE AUTOBÚS DE PALAS DE AEROGENERADORES (BARRÁN GUERRA, 2022).	74

ÍNDICE DE TABLAS.

TABLA 1: OBJETIVOS PARA 2030 (AEE, 2022).	41
TABLA 2: EJEMPLO DE LA DESCARGA DE DATOS EN SAP.	52
TABLA 3: TABLA DE LOS GENERADORES POR FABRICANTE A REPOTENCIAR EN LOS PARQUES X E Y.	53
TABLA 4: TABLA DE LOS TRANSFORMADORES POR FABRICANTE A REPOTENCIAR EN LOS PARQUES X E Y.	53
TABLA 5: TABLA DE LAS MULTIPLICADORAS POR FABRICANTE A REPOTENCIAR EN LOS PARQUES X E Y.	54
TABLA 6: TABLA DE LAS PALAS POR FABRICANTE A REPOTENCIAR EN LOS PARQUES X E Y.	54
TABLA 7: TABLA DE LOS GENERADORES ACTUALES CLASIFICADOS POR FABRICANTE Y MODELO.	55
TABLA 8: TABLA DE LOS TRANSFORMADORES ACTUALES CLASIFICADOS POR FABRICANTE Y MODELO.	56
TABLA 9: TABLA DE LAS PALAS ACTUALES CLASIFICADAS POR FABRICANTE Y MODELO.	56
TABLA 10: TABLA DE LAS MULTIPLICADORAS ACTUALES CLASIFICADAS POR FABRICANTE Y MODELO.	57
TABLA 11: TASA DE FALLO POR COMPONENTE.	58
TABLA 12: TASA DE FALLO POR NUEVOS SUMINISTROS POR COMPONENTE.	58
TABLA 13: PROMEDIO ANUAL DE GENERADORES SUSTITUIDOS POR MODELO.	59
TABLA 14: PROMEDIO ANUAL DE GENERADORES SUSTITUIDOS POR NUEVOS SUMINISTROS POR MODELO.	59
TABLA 15: PROMEDIO ANUAL DE TRANSFORMADORES SUSTITUIDOS POR MODELO.	60
TABLA 16: PROMEDIO ANUAL DE TRANSFORMADORES SUSTITUIDOS POR NUEVOS SUMINISTROS POR MODELO.	60
TABLA 17: PROMEDIO ANUAL DE MULTIPLICADORAS SUSTITUIDAS POR MODELO.	61
TABLA 18: PROMEDIO ANUAL DE MULTIPLICADORAS SUSTITUIDAS POR NUEVOS SUMINISTROS POR MODELO.	61
TABLA 19: PROMEDIO ANUAL DE PALAS SUSTITUIDAS POR MODELO.	62
TABLA 20: PROMEDIO ANUAL DE PALAS SUSTITUIDAS POR NUEVOS SUMINISTROS POR MODELO.	62
TABLA 21: CUADRO RESUMEN DE LOS EQUIPOS.	63
TABLA 22: TABLA RESUMEN COSTES Y AHORRO POR ESCENARIO.	67
TABLA 23: APROVECHAMIENTO DE DESMONTAJE DE AEROGENERADORES	68
TABLA 24: TABLA BENEFICIOS MERCADO DE SEGUNDA MANO.	70
TABLA 25: TABLA DE BENEFICIOS POR EL RECICLAJE DE LOS COMPONENTES.	72
TABLA 26: COSTE INVERSIÓN INICIAL.	75
TABLA 27: AHORROS POR LAS ESTRATEGIAS DE LAS TRES "R" VS INVERSIÓN INICIAL.	75
TABLA 28: CÁLCULO DEL SALARIO APROXIMADO.	76
TABLA 29: RESUMEN DE LA DISTRIBUCIÓN DE EQUIPOS SEGÚN LAS TRES "R" DE LA ECONOMÍA CIRCULAR EN EL PROYECTO DE REPOTENCIACIÓN DE PARQUES EÓLICOS	78

GLOSARIO.

- ODS. Objetivos de Desarrollo Sostenible.
- GW. Gigavatios
- KW. Kilovatios.
- PIB. Producto Interior Bruto.
- m/s. Metros por segundo.
- AEE. Asociación Empresarial Eólica.
- MITECO. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.
- IDAE. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía.
- CO2. Dióxido de carbono.
- UE. Unión Europea.
- CCAA. Comunidades autónomas.
- OPA. Oferta Pública de adquisición.

RESUMEN.

La repotenciación de un parque eólico consiste en sustituir equipos de menor potencia por equipos nuevos, de mayor generación y más eficientes. Todo esto se hace para un mejor aprovechamiento de los recursos disponibles. Ante la repotenciación de parques, en este Trabajo Final de Grado se propone realizar un estudio que analice que hacer con cada aerogenerador que se va a extraer y como aprovechar de forma óptima los componentes que se desmonten, teniendo a priori como idea fundamental, el despiece de estos. Para ello, inicialmente se planteará la repotenciación de un solo tipo de aerogenerador en un par de parques y si los resultados resultan relevantes, se extenderá el planteamiento a otros parques existentes. Además, se realizará un análisis de la estrategia de aprovechamiento de los componentes, estableciendo si deben repararse y ser reutilizados o vendidos. Con los resultados obtenidos se realizará un análisis de rentabilidad y un estudio de optimización mediante economía circular con los componentes susceptibles de ser reaprovechados.

El objetivo final será desarrollar un documento que analice las ventajas tanto económicas como operacionales que puede aportar un plan de aprovechamiento y reparación de aerogeneradores y sus componentes en la repotenciación de parques.

ABSTRACT.

The repowering of a wind farm consists of replacing lower power equipment with new, higher generation and more efficient equipment. All this is done for a better use of the available resources. In view of the repowering of wind farms, this Final Degree Project proposes to carry out a study that analyzes what to do with each wind turbine that is going to be extracted and how to make the best use of the components that are disassembled, having as fundamental idea, the disassembly of these components. To this end, initially the repowering of a single type of wind turbine in a couple of wind farms will be considered, and if the results are relevant, the approach will be extended to other existing wind farms. In addition, an analysis of the strategy for the use of the components will be carried out, establishing whether they should be repaired and reused or sold. With the results obtained, a profitability analysis and a circular economy optimization study will be carried out with the components that can be reused.

The final objective will be to develop a document that analyzes the economic and operational advantages of a plan for the reuse and repair of wind turbines and their components in the repowering of wind farms.

RESUM.

La repotenciació d'un parc eòlic consisteix a substituir equips de menor potencia per equips nous, de major generació i més eficients. Tot això es fa per a un millor aprofitament dels recursos disponibles. Davant la repotenciació de parcs, en aquest Treball Final de Grau es proposa realitzar un estudi que analitzi que fer amb cada aerogenerador que s'extraurà i com aprofitar de manera òptima els componets que es desmunten, tenint a priori com a idea fonamental, l'especejament d'aquests. Per a això, inicialment es plantejarà la repotenciació d'un sol tipus d'aerogenerador en un parell de parcs i si els resultats resulten rellevants s'estendrà el plantejament a altres parcs existents. A més, es realitzarà un anàlisi de l'estratègia d'aprofitament dels components, establint si han de reparar-se i ser reutilitzats o venuts. Amb els resultats obtinguts es realitzarà una anàlisi de rendibilitat i un estudi d'optimització mitjançant economia circular amb els components susceptibles de ser reaprofitats.

L'objectiu final serà desenvolupar un document que analitzi els avantatges tant econòmics com operacionals que pot aportar un pla d'aprofitament i reparació d' aerogeneradors i els seus components en la repotenciació de parcs.

PORTADA DE LA MEMORIA.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.

El presente trabajo se ha desarrollado en estrecha colaboración con la empresa Iberdrola. Dado que el proyecto aborda información confidencial y sensible, se ha implementado un protocolo de seguridad para salvaguardar la confidencialidad de los datos. Como resultado, todos los datos y detalles específicos del proyecto han sido distorsionados y anonimizados.

Esta medida de precaución se ha tomado con el objetivo de respetar los acuerdos y normas de confidencialidad establecidos entre las partes involucradas, garantizando así la protección de la propiedad intelectual y la privacidad de la información sensible. La distorsión de datos asegura que ninguna información estratégica sensible se divulgue accidentalmente o se utilice de manera inapropiada.

Si bien esta distorsión de datos no afecta a la calidad y la integridad de los análisis y conclusiones presentados en este trabajo.

1.1. OBJETIVOS DEL PROYECTO.

1.1.1. OBJETIVO PRINCIPAL.

El objetivo central de este proyecto radica en realizar un análisis exhaustivo de la flota de aerogeneradores equipados con tecnologías G42 y G47, conocidas como tecnología G4X, con el objetivo de realizar la repotenciación de dos parques eólicos. Para abastecer durante un periodo de un año, se optimizarán las estrategias de gestión de los componentes por separado.

1.1.2. OBJETIVOS.

En este proyecto, se han establecido una serie de objetivos fundamentales que deben cumplirse para llegar a una conclusión sólida. Estos objetivos se enumeran a continuación:

- Realizar un análisis minucioso de la totalidad de la flota de aerogeneradores, tanto en los parques objeto de repotenciación como en otros parques existentes, que utilicen la tecnología en estudio.
- Investigar y comprender a fondo las razones que sustentan la elección de la tecnología seleccionada para la repotenciación, así como los beneficios esperados que se derivarán de dicha acción en términos de rendimiento y eficiencia
- Analizar los componentes de forma individual, clasificándolos por modelo y fabricante, con el fin de determinar la tasa de fallos específica de cada modelo y comprender la

frecuencia y propósito de las sustituciones de aerogeneradores que se llevan a cabo a lo largo de un año.

- Diseñar escenarios específicos para determinar de manera precisa los requisitos de asignación de los componentes sujetos a repotenciación en los dos parques eólicos.
- Aplicar los principios de la economía circular y desarrollar estrategias adecuadas para la redistribución de los componentes, estableciendo criterios claros y bien definidos para determinar la mejor opción para cada uno de ellos.
- Realizar una viabilidad económica rigurosa, evaluando cada estrategia propuesta dentro del marco de la economía circular y comparándola con otros costes asociados a la falta de repotenciación, con el objetivo de determinar la rentabilidad y los beneficios económicos de cada enfoque.
- Elaborar un plan económico que contemple el trabajo realizado en el proyecto teniendo en cuenta los costes relacionados como si hubiera sido realizado por un profesional contratado específicamente para esta labor.

1.2. ESTRUCTURA DEL TRABAJO.

La estructura de este trabajo se compone de cinco capítulos, cada uno de ellos desempeñando un papel crucial en la investigación. A continuación, se detalla el contenido y enfoque de cada capítulo.

En este capítulo primero, se establece el propósito y los objetivos del trabajo, sentando las bases y proporcionando una visión general del alcance y la importancia de la investigación realizada. Se expone el contexto en el que se desarrolla el estudio y se presenta la problemática que se aborda.

En el segundo capítulo, se examina en profundidad el mix energético en España, destacando el papel clave que desempeñan las fuentes de energía renovable, particularmente la energía eólica. Se analiza el contexto nacional y se revisan las políticas y regulaciones relacionadas con las energías renovables.

En el tercer capítulo, se exploran los beneficios de la repotenciación de parques eólicos, así como la aplicación de los principios de la economía circular en el sector. Se examinan las ventajas económicas, ambientales y sociales de la repotenciación, destacando su contribución a la sostenibilidad y eficiencia.

En el cuarto capítulo, se presentan los cálculos y análisis detallados del proyecto, incluyendo la evaluación de diferentes escenarios y la elaboración de estrategias específicas de economía circular. Se utilizan modelos y herramientas para realizar proyecciones y se examinan los aspectos técnicos y financieros asociados a la repotenciación de los parques eólicos.

En el último capítulo, se presentan las conclusiones derivadas de la investigación realizada resumiendo los hallazgos más relevantes.

Con esta estructura, se busca proporcionar una presentación coherente y lógica del trabajo, desde la introducción y el contexto hasta los resultados y las conclusiones obtenidas, permitiendo una comprensión clara y completa del estudio realizado.

1.3. ALCANCE DEL PROYECTO.

El alcance del presente trabajo abarca el análisis y la optimización de los componentes de dos parques eólicos equipados con tecnología G4X, específicamente los aerogeneradores de tecnologías G42 y G47. El estudio se llevará a cabo para satisfacer un periodo de un año.

El análisis comprenderá una evaluación de la flota de aerogeneradores centrándose en el rendimiento, la eficiencia y la vida útil de cada componente. Se recopilarán datos sobre la operación y el desempeño de los aerogeneradores, con el objetivo de identificar áreas de mejora y optimización en la gestión de los componentes.

El trabajo incluirá el diseño de escenarios para determinar las necesidades de asignación y se evaluará la tasa de fallos y el propósito de las sustituciones de aerogeneradores a lo largo del año.

Asimismo, se desarrollarán estrategias basadas en los principios de la economía circular para la redistribución de los componentes, estableciendo criterios para determinar el destino de cada uno de ellos. Se realizará un análisis de viabilidad económica de las estrategias propuestas, comparándolas con los costes asociados al escenario de no realizar repotenciación.

1.4. RELACIÓN DE ESTE TFG CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE.

Este trabajo comprende varios objetivos de desarrollo sostenible (ODS) que son metas establecidas por las Naciones Unidas para abordar desafíos globales y promover un futuro sostenible. Los objetivos que se relacionan directamente con este proyecto son los siguientes:

- **Objetivo 7:** Energía asequible y no contaminante. El proyecto se centra en la repotenciación de parques eólicos para mejorar la generación de energía renovable y contribuir a la transición hacia fuentes de energía limpias y sostenibles.
- **Objetivo 9:** Industria, innovación e infraestructura. Al analizar y optimizar los componentes de los parques eólicos, se busca mejorar la eficiencia y la infraestructura existente, así como fomentar la innovación en tecnologías de energía renovable.
- **Objetivo 12:** Producción y consumo responsable: El enfoque en la economía circular implica maximizar la utilización de los componentes existentes, reduciendo el desperdicio y promoviendo la reutilización y el reciclaje, lo que se alinea con una producción y consumo más sostenible.
- **Objetivo 13:** Acción por el clima. La repotenciación de los parques eólicos contribuye a la reducción de emisiones de gases del efecto invernadero al aumentar la capacidad de generación de energía renovable, lo que ayuda a atenuar el cambio climático.
- **Objetivos 14 y 15:** Vida submarina y vida de ecosistemas terrestres. Al promover el uso de energía renovable, el proyecto contribuye a la preservación de los ecosistemas marinos y terrestres al reducir la dependencia de fuentes de energía no sostenibles que pueden causar impactos negativos en la biodiversidad y los ecosistemas.

Ilustración 1: Ilustración 1: ODS (Naciones Unidas, s.f.).



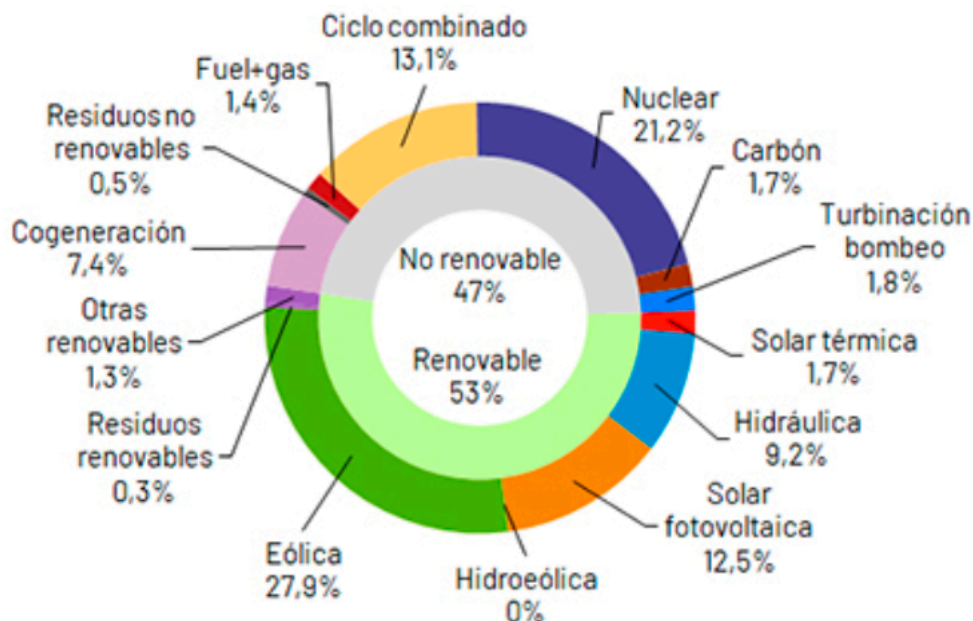
CAPÍTULO 2. SISTEMA ENERGÉTICO EN ESPAÑA.

Este capítulo presenta el panorama energético en España, prestando especial atención a la generación de energía eólica.

La energía eólica es una parte integral del mix energético actual en España. El mix energético es crucial para la transición hacia fuentes de energía sostenible y la competitividad de un país. Determina la generación de energía según la fuente, además, tiene un impacto ambiental, económico y social significativo (Palomo, 2023).

En la siguiente figura queda representado el porcentaje de energía generada en marzo de 2023 en España. Es importante resaltar que las energías renovables produjeron el 53% de la electricidad.

Ilustración 2: Mix energético español en el primer trimestre de 2023 (Red Eléctrica, 2023).



Dentro del mercado nacional de energía destacan 4 grandes compañías, cada una tiene un enfoque propio y estrategia para contribuir a la transición hacia un sistema energético más sostenible.

- Iberdrola: Iberdrola es una de las principales empresas eléctricas en España y a nivel mundial. Es reconocida como la líder mundial en energías renovables y se enfoca en la transición hacia una matriz energética más sostenible. Iberdrola

invierte en parques eólicos terrestres y marinos, así como en fotovoltaica. También ha sido pionera en el uso de tecnologías inteligentes para la gestión eficiente de la energía.

- **Endesa:** Endesa es una empresa eléctrica líder en España que opera en generación, distribución y comercialización de electricidad. Si bien, también tiene una importante presencia en el sector de los combustibles fósiles, Endesa ha intensificado sus esfuerzos en el desarrollo de energías renovables, especialmente en el ámbito de la energía solar. Además, ha implementado programas de eficiencia energética y de movilidad eléctrica.
- **Acciona:** Acciona es una empresa multinacional dedicada a la energía renovable y la infraestructura sostenible. Es conocida por su experiencia en energía solar, eólica, hidroeléctrica y biomasa. Acciona también tiene proyectos en el ámbito de la movilidad eléctrica, la eficiencia energética y la gestión del agua. Además, la empresa apuesta por la innovación y la tecnología para impulsar soluciones sostenibles.
- **Repsol:** aunque tradicionalmente Repsol es una empresa conocida por el sector de los hidrocarburos, en los últimos años ha puesto un fuerte enfoque hacia la energía limpia. Repsol ha invertido en proyectos de energía eólica y solar, así como en la producción de biocombustibles y el desarrollo de tecnologías de captura y almacenamiento de carbono. La compañía también está impulsando la movilidad sostenible a través de estaciones de carga para vehículos eléctricos.

Como se ha mencionado anteriormente, este Trabajo de Fin de Grado (TFG) se llevo a cabo como parte de las prácticas de empresa en la sede de Iberdrola. A continuación, presentaré la historia y situación actual de Iberdrola y se realiza una introducción a la energía eólica.

2.1. HISTORIA DE IBERDROLA.

El presente Trabajo de Fin de Grado ha sido desarrollado en colaboración con la empresa Iberdrola. Iberdrola es un grupo energético español que se encarga de la distribución, generación, transmisión y comercialización de energía eléctrica. La compañía también participa en los mercados de distribución de energía renovable y gas natural, además de ofrecer servicios de construcción e ingeniería (IBERDROLA, s.f.).

2.1.1. HIDROELECTRICA IBÉRICA.

Los inicios de Hidroeléctrica Ibérica se dan en julio de 1901 (Adán & Martín, 2005) en Bilbao en un momento de necesidad máxima de suministro de energía eléctrica en el norte del país.

La dirección de Juan de Urrutia en la Sociedad de Eduardo Aznar y José Orueta junto con dos capitalistas más, dio lugar a la adhesión de los ríos Segre, Urdón, Mijares, Júcar y Leizor que, sumados a los saltos de Quintana, Besantes y Camajón y al alto Ebro y la posterior adhesión del Tajo a estos, darán lugar a los cimientos sobre los que se lanzaría Hidroeléctrica Ibérica (Adán & Martín, 2005).

En la búsqueda de el transporte a grandes distancias para obtener energía lejos de los centros de consumo, el pionero fue el Salto de Quintana, en 1904 (Adán & Martín, 2005), transportando energía a Bilbao con el uso de líneas de alta tensión.

En 1907 Hidroeléctrica Iberia acepta la cesión del Tajo y el Salto de Molinar a Hidroeléctrica Española a cambio de un alto porcentaje del capital de esta (IBERDROLA, s.f.). En 1908, con la ambición de hacerse con casi la totalidad del mercado vizcaíno se crea Unión Eléctrica Vizcaína fruto de la unión de varias distribuidoras ya existentes en el país. Es en este mismo año también la creación de la Central Térmica de Burceña hace complementar la producción de energía. (Adán & Martín, 2005)

La primera Guerra Mundial trajo consigo un incremento de la producción industrial, que de su mano traería la demanda de energía en la industria. Nacen aquí nuevos aprovechamientos hidráulicos, es con la Central de Lafortunada, en 1923, con la que la Hidroeléctrica alcanzaría el record de Europa en el transporte de energía (Adán & Martín, 2005).

En los años 30, Hidroeléctrica Ibérica junto con otras eléctricas forman el llamado "Grupo Hidroeléctrico". A su vez se incorpora en el mercado Saltos del Duero, hecho que terminará marcando la historia de Hidroeléctrica Ibérica, debido a la fusión de ambas compañías años después (Adán & Martín, 2005).

Saltos del Duero es una sociedad Hispano Portuguesa fundada en 1918 con el fin de aprovechar el recurso hidráulico del río Duero (IBERDROLA, s.f.).

Saltos del Duero para adentrarse en el mercado, se basaba en una política de entrada en el capital de otras empresas distribuidoras y productoras. No es hasta 1935 cuando la compañía comienza con el suministro de energía al norte del país teniendo como cliente a “Hidroeléctrica Ibérica” (Adán & Martín, 2005).

En 1936 ambas compañías firman un convenio en el que se atribuía la producción de energía en el salto a Saltos del Duero y la distribución de energía del salto a Hidroeléctrica Ibérica.

Con la guerra civil española, el grupo y Saltos del Duero atraviesan un periodo convulso, ya que esta frena radicalmente el desarrollo, destruye instalaciones y dificulta el mantenimiento de los equipos que quedan en pie. Esto da lugar a la fusión en 1944 del Grupo Hidroeléctrico y Saltos de Duero formando Iberduero, lo que daría pie a la utilización de la energía producida en el Salto de Ricobayo en su totalidad (IBERDROLA, s.f.).

2.1.2. IBERDUERO.

Iberduero es el responsable de grandes avances en la industria eléctrica de nuestro país. La producción de energía, sobretodo hidroeléctrica, de esta nueva compañía se enfocaba en la cuenca del río Duero. Es destacable el sistema hidroeléctrico formado por todas las centrales del Duero y sus afluentes, entre las cuales se encontraban las más potentes de España.

Debido a la creciente demanda de energía eléctrica en el país Iberduero, inicia la construcción de diversos saltos sobre el río Duero. El primero, en 1946, fue el Salto de Castro el cual llego en el momento del pico de demanda del país. En 1948, comienzan las obras del Salto de Saucelle, convirtiéndose este en unas de las centrales con mayor rendimiento de la compañía (Adán & Martín, 2005).

La cumbre de importancia llega con las obras de el Salto de Aldeadávila, siendo este el aprovechamiento hidráulico de mayor importancia en Europa occidental. Iberduero duplicaba su capacidad de producción con la construcción de este nuevo salto, lo que llevó a la compañía a experimentar un absoluto crecimiento tanto industrial como domestico.

En 1970 (Adán & Martín, 2005)se pone en marcha la construcción de el Salto de Villarino, con la presa alta de las construidas en España, además de un túnel que uniría la presa con la central. Todo esto suponía una obra de muy grandes magnitudes.

Al continuo crecimiento de la demanda se le suma el aumento industrialización, por lo que Iberduero comienza con las obras de grandes centrales térmicas como Burceña III en 1965, Pasajes tres años después y Santurce I y II en 1969 y 1972 sucesivamente. La central térmica Terminor la cual Iberduero construye con Electra de Viesgo se pone en funcionamiento en 1964. Años después, en 1984, Iberduero compra a Electra de Viesgo su participación en esta central.

Igualmente, Iberduero comienza a adentrarse en el sector nuclear. En 1957, también con Electra de Viesgo, comienzan la construcción de la central nuclear de Santa María de Garoña, cuya puesta en marcha es en 1971 (IBERDROLA, s.f.). Hacia 1980, solicitó la construcción de la central nuclear de Lemóniz, obras que se paralizaron en 1982 tras el ataque de la banda terrorista ETA en la propia central (Adán & Martín, 2005).

En 1985, Iberduero obtuvo una participación en las centrales nucleares de Almaraz y de Trillo y amplió sus mercados a Madrid, Ávila, León y Palencia (IBERDROLA, s.f.).

En los siguientes años, Iberduero continuó con la ampliación de generación con nuevas centrales hidroeléctricas y con la mejora de otras ya existentes, como es el caso de Aldedávila o Guardo. Y construyó un Sistema de Control de Energía, catalogado como de los más avanzados del mundo, cuya sede central se encontraba en Bilbao.

Otras de las empresas eléctricas que fueron absorbidas por Iberduero fueron Saltos del Sil, Electra Popular Vallisoletana, León Industrial, Electra de Salamanca, Electra de Extremadura, Electra de Soria y Electra de Burgos (IBERDROLA, s.f.).

En 1991 (IBERDROLA, s.f.), la fusión de Iberduero con Hidroeléctrica Española, da lugar a lo que hoy día conocemos como Iberdrola.

2.1.3. HIDROELÉCTRICA ESPAÑOLA.

Hidroeléctrica Española nace en Madrid en 1907. En su formación participaron dos grupos: el “de Madrid” figurado por Lucas de Urquijo y “Bilbaíno” representado por el director del Banco de Vizcaya, Enrique Ocharan y por Hidroeléctrica Ibérica de la mano de Juan de Urrutia.

La sociedad marcaba su objetivo en aprovisionar Madrid y Valencia de energía eléctrica, con la explotación del río Júcar. El Salto de Molinar fue la primera construcción junto con las líneas que transportarían la energía hasta Madrid y Valencia. Serían estas líneas las de mayor tensión y longitud hasta entonces vistas en la época (Adán & Martín, 2005).

El consumo se disparaba y la Sociedad se vio obligada a la construcción la presa de Batanejo y del Salto de Villora así como la ampliación de su central. En 1917, impedido el proyecto que aprovecharía un tramo del Júcar, se enfocó uno nuevo, se inició la construcción del Salto de Cortes y unos pocos años después las obras del Salto de Millares.

Todas las obras de Hidroeléctrica Española quedaron pausadas durante la Guerra Civil española, también se vivieron épocas de dificultad de suministro y daños en las instalaciones de la Sociedad (IBERDROLA, s.f.). Una vez recuperada la paz, se continuó con el normal funcionamiento de las obras, centrales productoras, las líneas de transporte y redes de distribución de energía.

El levantamiento de la central de Cofrentes en el río Júcar, y su puesta en marcha en 1952 (Adán & Martín, 2005), unificaba las concesiones de Molinar y La Jábega. Como contraembalse de la Central se construyó la Presa de Embarcaderos. Otros de los saltos de la época fueron El Picazo en el Júcar; Ribesalbes, Colmenar y Los Cantos en el río Mijares; y Miller, Zumeta y Ulea en el río Segura. Inmediatamente después daba comienzo el usufructo de la cuenca del río Tajo.

Hacia los años 50, Hidroeléctrica Española tuvo que acogerse a la energía térmica para poder satisfacer el aumento de demanda y ocuparse de su mercado. Fue entonces cuando se inauguró la Central Térmica de Escombreras en 1957 (Adán & Martín, 2005). El mercado de la época se focalizaba en tres grandes centros de consumo: Alicante y Murcia en la zona Sur del Levante; Valencia y Castellón en la zona Norte del Levante; y Madrid en el centro.

En 1956, se le otorgó a Hidroeléctrica Española la explotación del Tajo Inferior y el río Erjas. Tras la firma del acuerdo de los ríos fronterizos entre España y Portugal, se le concedió la explotación del tramo internacional del río Tajo, lo que provocó que resultase fácil los intercambios de energía eléctrica entre las distintas zonas españolas. De 1957 a 1982 se estrenan ocho nuevos saltos: Valdecañas, Valdeobispo, Torrejón, Azután, Alcántara, Cedillo, Gabriel y Galán y Guijo de Granadilla. En esta era se levantaron también los saltos de Cirat y Vallat en el río Mijares (Adán & Martín, 2005).

Hidroeléctrica Española surgió la integración de sus sucursales en 1960 (Adán & Martín, 2005), además un par de años más tarde iniciaría la incorporación de otras sociedades filiales y comenzó los tramites para la anexión de Electra Albacetense. En agosto de 1969 agregó la Compañía Electra Madrid y al año siguiente la mitad de las Centrales Eléctricas Navarro y la totalidad de Hidroeléctrica de Lorquí.

El incremento del mercado no cesaba y Hidroeléctrica Española se vio en la necesidad de ampliar la Central Térmica de Escombreras y comenzar las obras de la Central Térmica de Aceca, a medias con Unión Eléctrica Madrileña. En el año 72 se puso en marcha la Central Térmica de Castellón (Adán & Martín, 2005).

Hidroeléctrica Española con Unión Eléctrica Madrileña y Sevillana de Electricidad había constituido, en 1958, Centrales Nucleares para el estudio de los contratiempos técnicos y económicos de la energía nuclear. La crisis del petróleo promovió la construcción de centrales nucleares (IBERDROLA, s.f.).

Dentro de su programa nuclear Hidroeléctrica Española, llevó a cabo los proyectos de la Central Nuclear de Cofrentes, la de Almaraz y la de Valdecaballeros, esta última se estancó en 1984. Una de las destacables adquisiciones de los años 80 fue: la Compañía Eléctrica de Langreo, la cual era propietaria de la Central Térmica de Lada y un tercio de la Central Térmica Soto de Ribera. Además, se inició la instalación de centrales hidráulicas de bombeo y comenzaron a funcionar las centrales hidráulicas Gabriel y Galán y Guijo de Granadilla, en el río Alagón. Sobre el Júcar se construyeron los Saltos de la Muela y Cortes II (Adán & Martín, 2005).

Mediante una oferta pública de adquisición de acciones (OPA) Hidroeléctrica Española se anexionó gran parte del capital de Hidroeléctrica de Cataluña en 1985 (Adán & Martín, 2005).

Fue en el año 91 cuando Hidroeléctrica Española decidió su incorporación con Iberduero en una nueva Sociedad, de igual modo que Iberduero con Hidroeléctrica Española. El 12 de diciembre de 1992 se formalizó la constitución de Iberdrola y al mismo tiempo, se incorporaron las sociedades: Compañía Eléctrica de Langreo, Electra de Logroño, Vitoriana de Electricidad, Fuerzas Eléctricas de Navarra, Compañía Eléctrica del Urumea, Centrales Térmicas del Norte y Edificaciones Iberoamericanas (IBERDROLA, s.f.).

2.1.4. IBERDROLA.

Con la entrada del nuevo siglo, el crecimiento de Iberdrola era bastante significativo, lo que le llevó a convertirse en una de las empresas más destacadas del sector energético a nivel mundial.

Los primeros seis años de siglo están marcados por la expansión internacional de Iberdrola. En 2001, adquirió ScottishPower, una compañía eléctrica con sede en Reino Unido, lo que le hizo abrirse camino en el mercado británico. Además, se expandió a otros países como Estados Unidos, México y Brasil.

En 2007 Iberdrola realizó una de las mayores fusiones del sector energético europeo al culminar su integración con ScottishPower. Esta operación permitió a Iberdrola consolidarse como una de las principales energéticas en Europa. En el año 2008, Iberdrola renovables, su filial de energías renovables, salió a bolsa convirtiéndose en el mayor déficit bursátil del mundo en el sector de las energías limpias hasta la fecha.

Su expansión no cesaba, y el sector de las energías renovables no se quedaba atrás. En 2011, adquirió la empresa británica de energía renovable, ScottishPower Renewables, y en 2012 compró la empresa estadounidense, Energy East, lo que fortaleció su presencia en el mercado estadounidense.

En 2014 se llevó a cabo una reestructuración interna con el objetivo de mejorar su eficiencia y reducir su deuda. Durante este periodo, la compañía también continuó invirtiendo en energías renovables y expandiendo su presencia en México y Brasil.

En los últimos años Iberdrola ha consolidado su posición como líder mundial en energías renovables y se comprometió con la transición hacia un modelo energético más sostenible. La compañía anunció importantes inversiones en proyectos de energía eólica y solar en diferentes países, incluyendo a España, Estados Unidos y Australia.

Además, Iberdrola se ha convertido en uno de los impulsores de la movilidad eléctrica y la digitalización en el sector energético. La compañía se comprometió a invertir en infraestructuras de carga para vehículos eléctricos y a desarrollar soluciones digitales para mejorar la eficiencia energética.

Hoy en día, la compañía está presente en más de 40 países de alto rating y ha demostrado su fortaleza financiera multiplicando el tamaño de sus activos y su experiencia y capacidad de ejecución e innovación con más de 59.520 MW de potencia instalada y alrededor de 40.000 empleados.

Asimismo, Iberdrola ha sido nombrada la empresa más transparente del Ibex 35 e incluida en el índice Dow Jones de sostenibilidad y en la lista de las compañías más éticas del mundo por noveno año consecutivo, recientemente.

Es destacable que, un 90 % del plan de inversión a largo plazo del grupo está alineado con los criterios de inversión verde incluidos en la taxonomía de la Unión Europea (IBERDROLA, s.f.).

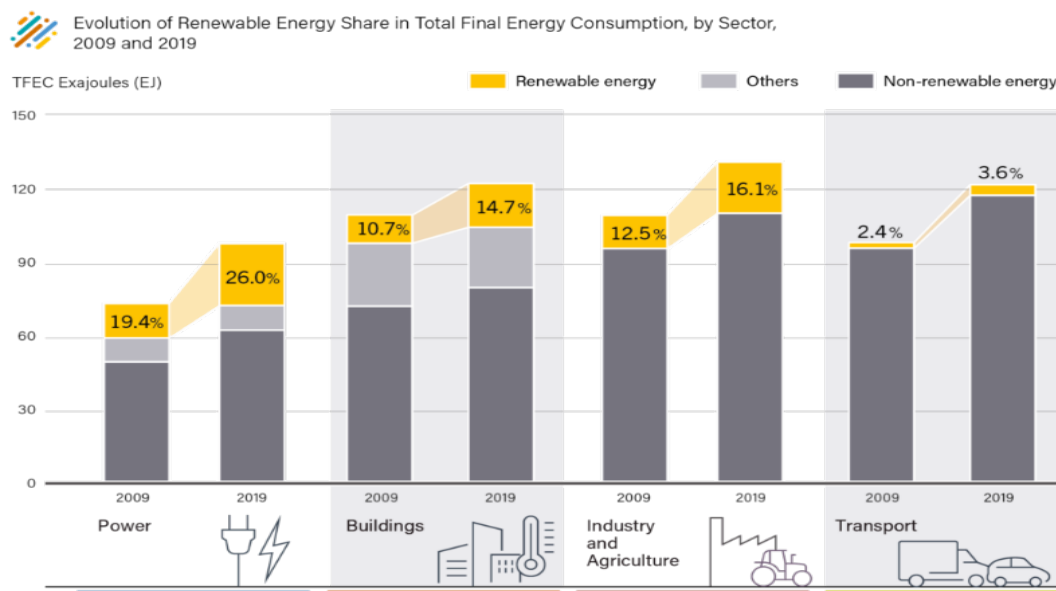
2.2. ENERGÍAS RENOVABLES.

La energía renovable es la energía que proviene de recursos naturales que se reponen en menos de una vida humana sin agotar los recursos del planeta y causando escaso daño medioambiental. Estos recursos naturales son entre otros el sol, el viento, las olas, la biomasa o la energía térmica almacenada en la corteza terrestre, estas fuentes están disponibles de una forma u otra en todas partes, es por ello por lo que se dice que son inagotables.

Las energías renovables están presentes desde la producción de electricidad y el correcto mantenimiento térmico de una estancia hasta el transporte y la industria.

Sin embargo, los combustibles fósiles están disponibles en cantidades finitas que terminarán agotándose debido a la extracción humana. Aunque se producen en procesos naturales no se renuevan tan rápido. En la *Ilustración 3* podemos observar como los diferentes sectores la energía renovable se va abriendo camino y tiene un porcentaje a considerar, aunque la implementación de fuentes de energía renovable en el sector del transporte todavía requiere esfuerzos adicionales para lograr mejores resultados.

Ilustración 3: Gráfico comparativo entre energías renovables y no renovables (REN21, 2019).



Source: Based on IEA data.

REN21 RENEWABLES 2022 GLOBAL STATUS REPORT

Desde 2011, (REN21, 2019) la energía renovable esta creciendo, tanto que en 2021 alcanzó su récord con un crecimiento de más de 314 gigavatios (GW). Hoy día casi el 29% de nuestra electricidad es gracias a energía renovable (Naciones Unidas, s.f.).

Respecto a los beneficios de la energía renovable frente a los combustibles fósiles estos son destacables:

- La energía renovable emite escasos o nulos gases de efecto invernadero ya que estos, contribuyen al calentamiento global.
- La energía renovable no emite contaminantes atmosféricos. El incremento mundial del transporte basado en combustibles fósiles, la actividad industrial y la generación de energía ayudan a la contaminación del aire. Según la Organización Mundial de la Salud (OMS) la presencia de partículas y otros contaminantes del aire de los combustibles fósiles son los responsables de millones de muertes y cuesta miles de millones.
- La energía renovable viene con bajos costes. Dado que la energía renovable se produce localmente, su precio se mantiene en niveles asequibles y no se ve afectada por los picos de precios debido a conflictos geopolíticos.
- La energía renovable genera empleo, ya que cada vez más empresas e industrias invierten en ella.
- La energía renovable es de fácil acceso. Sobre todo, en países de medios-bajos ingresos la energía renovable es la única manera de extender el acceso de energía para todos.
- La energía renovable es segura, los mercados energéticos de todo el mundo están gravemente preocupados por la seguridad del suministro y la resistencia de las infraestructuras energéticas.
- La energía renovable es democrática, el número de proyectos comunes que utilizan energías renovables han incrementado en diferentes partes del mundo lo que sostiene que la democracia es de importancia.

2.2.1. LA EVOLUCIÓN DE LA ENERGÍA RENOVABLE.

España está envuelta en una revolución renovable, la razón de esto es que el autoconsumo y la potencia de energía verde es año tras año un récord. Aunque estos niveles podrían ser mayores se ha de tener en cuenta que la potencia instalada en nuestro país varía de la cifra

de potencia generada por la ausencia de sol, viento y agua, aunque en menor medida, en cierto periodo de día.

España cuenta con dos grandes recursos para generar energía renovable: el sol y el viento. Esto supone una gran ventaja competitiva que esta llevando a muchos gigantes europeos del sector a confiar en el país para sus inversiones.

La energía eólica es una de las fuentes renovables más importantes en España tanto que, el país ha invertido en la construcción de parques eólicos en tierra y en mar. Son Aragón, Castilla y León y Castilla la Mancha algunas de las principales regiones donde se concentran parques eólicos (Villalvilla, 2022).

A parte de la eólica España también, ha promovido la energía solar fotovoltaica. El recurso solar en el país es bastante abundante lo que lo convierte en un lugar ideal para el desarrollo de esta fuente de energía. Grandes proyectos solares se han llevado a cabo en comunidades como Extremadura y Andalucía.

El gobierno español ha implementado políticas y marcos regulatorios para fomentar las energías renovables. Estos incluyen mecanismos de subsidios, subastas de energía renovable y garantías de origen. España es, además, uno de los países de la unión europea que más aporta a la red eléctrica a lo largo del año, lo que nos libra de tener que comprar electricidad a otros países y a realizar grandes exportaciones.

No todo son ventajas, la transición hacia las energías renovables ha supuesto la necesidad de mejorar la infraestructura de transmisión de energía y abordar los aspectos relacionados con la intermitencia de las fuentes renovables. Otro de los problemas es el almacenamiento, es por ello, que se completan ya varias soluciones como el hidrogeno verde y las centrales eléctricas reversibles.

Sin embargo, las metas ambiciosas del país impulsan a que el desarrollo de éstas continúe en los próximos años y posicionará al país como uno de los líderes de energías renovables a nivel mundial.

En 2012 la energía limpia generada en el país estaba en torno al 30%, mientras que con el cierre de 2022 ésta rozaba el 60% (Fariza, 2023). Además, la península vivirá un nuevo hito este año, según la presidenta de Red Eléctrica (REE), Beatriz Corredor, el 50% de la electricidad que se generará este año será de origen renovable (Red eléctrica, 2023).

2.3. ENERGÍA EÓLICA.

2.3.1. LOS INICIOS DE LA EÓLICA.

Resulta interesante mirar al pasado para ver cómo la humanidad empezó a aprovechar la energía del viento para diferentes aplicaciones. En el antiguo Egipto, se utilizaba para la propulsión de barcos en el río Nilo. En China, se empleaban molinos de viento simples para bombear agua, mientras que los molinos de eje vertical para moler grano ya se abrían paso en Persia, lo que actualmente es Irán, y Medio Oriente (Neoenergía, 2021).

Estas ideas llegaron a Europa gracias a los mercaderes y cruzados que regresaban de esas regiones, lo que provocó que los habitantes de países bajos se tomaran interés en utilizar el molino de viento.

En España, los molinos de viento del Campo de Criptana, inmortalizados por Don Quijote, eran conocidos por su uso en el bombeo de agua y la molienda de granos. Sin embargo, con la llegada de la revolución industrial, el carbón y la electricidad pasaron a ser las principales fuentes de energía, pasando el uso de los molinos a un segundo plano.

La razón principal por la que la importancia de la energía eólica disminuyó fue la falta de disponibilidad y transporte. El carbón y el petróleo tuvieron muchas más ventajas en ese sentido que la eólica no.

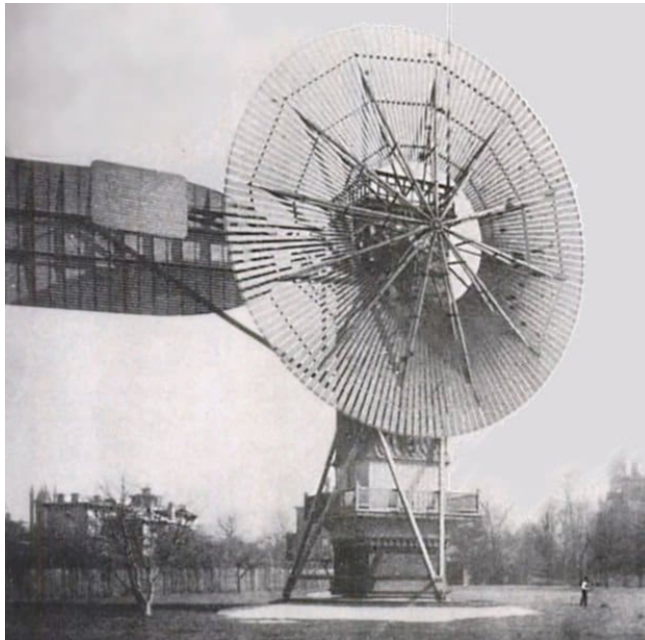
A partir del siglo XIX, los molinos de viento se utilizaron en Norteamérica para bombear agua en granjas y generar electricidad en hogares y en la industria. Se desarrollaron molinos multipala estadounidenses, como los que se pueden observar en la *Ilustración 4* que se extendieron por todo el mundo, idea que llevaría años después al diseño de los actuales.

En 1887, Charles F. Brush construyó la primera turbina eólica de gran escala para generar electricidad. Aunque su tamaño era considerable, su eficiencia era limitada (Mártel de la Plaza, 2021).

Fue además en este siglo, cuando se produjo un avance significativo en el ámbito de la energía eólica con la instalación y experimentación de varios tipos de molinos de viento. En ese momento se empezaron a comprender algunos principios fundamentales que aún se aplican en las turbinas modernas:

- La velocidad del extremo de las palas está relacionada con la velocidad del viento.
- El par es proporcional al cuadrado de la velocidad del viento.
- La potencia es proporcional al cubo de la velocidad del viento.

Ilustración 4: Molino multipala de bombeo de agua en una granja agrícola estadounidense (Mártil de la Plaza, 2021).



Durante el siglo XX, se realizaron avances en la tecnología de energía eólica. El científico danés Poul la Cour demostró que las turbinas eólicas con menos aspas eran más eficientes para la generación de electricidad. Se establecieron las bases teóricas para el aprovechamiento de la energía del viento en Alemania. Por otro lado, Dinamarca se convirtió en un pionero de la energía eólica, contribuyendo a la electrificación descentralizada del país. Fueron alrededor de 72 generadores eólicos los que había en 1908 (Mártil de la Plaza, 2021).

En los estados unidos, los molinos de viento se usaron ampliamente en la década de 1930 para generar electricidad en áreas agrícolas. Sin embargo, no fue hasta después de la segunda guerra mundial que se instalaron turbinas eólicas de alta potencia.

2.3.2. CONCEPTOS PREVIOS SOBRE ENERGÍA EÓLICA.

La energía eólica es una fuente renovable de energía que obtiene electricidad a partir del aprovechamiento de la fuerza del viento (Universidad Politecnica de Valencia, 2022).

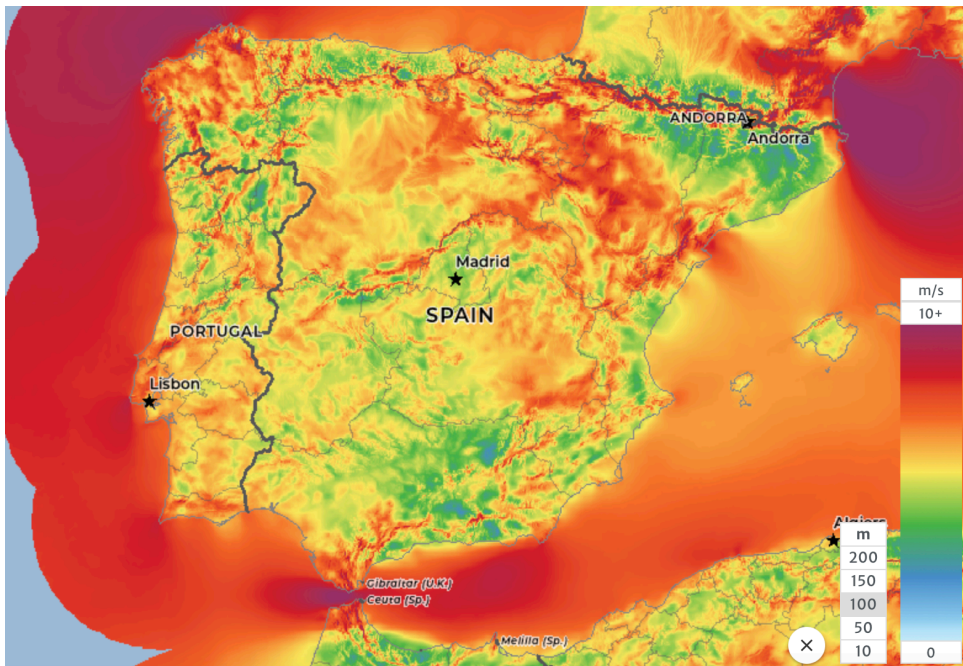
El viento es el desplazamiento de una masa de aire entre zonas de mayor presión a las de menor presión. El calor que el sol envía a la tierra esta lo devuelve a la atmosfera de manera desigual, como consecuencia de esto en las zonas donde más calor se libera, el aire se calienta y la presión de los gases disminuye, al contrario, en las zonas de más frío, la presión de los

gases atmosféricos aumenta. Esto genera una circulación de las masas de aire, las calientes disminuyen su densidad y se elevan haciendo que fluya más frío sobre la superficie terrestre.

El viento tiene dependencia de el relieve y las irregularidades de la superficie terrestre o marina, además este toma fuerza en las cumbres de las montañas o en valles paralelos a la dirección del viento dominante. La velocidad del viento viene también condicionada por la altura sobre el suelo.

La *Ilustración 5* que se representa a continuación ilustra la distribución de la velocidad del viento en diferentes zonas geográficas de España, medida a una altura de 100 metros. Al observar el mapa, podemos identificar que las áreas coloreadas en tonos rojizos representan aquellas donde la velocidad del viento oscila entre 7 y 10 metros por segundo. Por otro lado, las áreas en tonos azules indican que la velocidad del viento es relativamente baja.

Ilustración 5: Mapa eólico de España (Global Wind Atlas, s.f.).

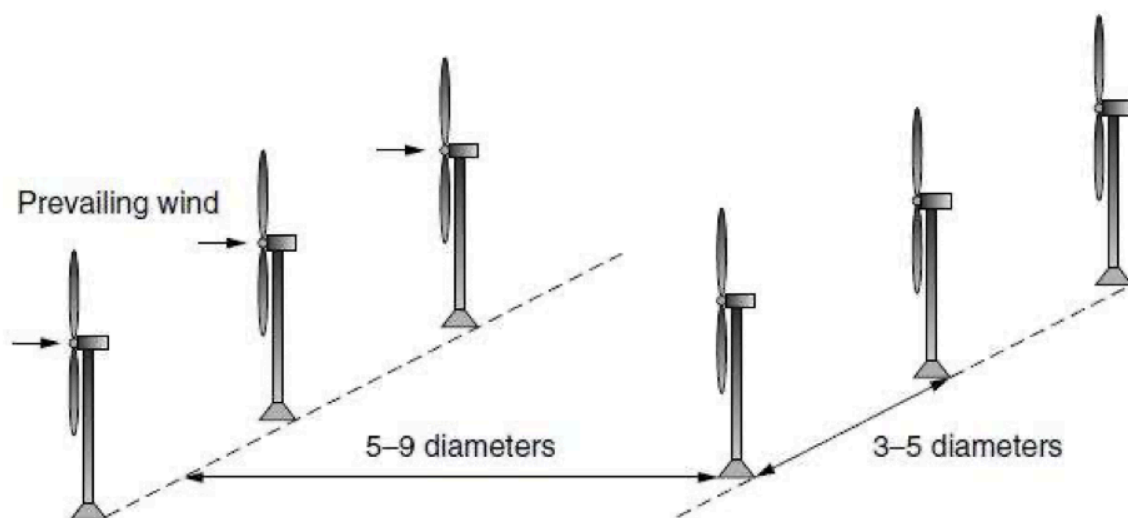


Para aprovechar al máximo la energía eólica, se requiere una combinación de factores como la variación de velocidad del viento, las condiciones meteorológicas y la intensidad y dirección

de este entre otras. Es por lo que los parques agrupan un gran número de aerogeneradores haciendo posible la obtención de energía en grandes cantidades.

Un factor importante, para maximizar la producción de energía es la separación entre los aerogeneradores. Al separar las turbinas eólicas, se evita la interferencia entre ellas, lo que permite que cada una capture la mayor cantidad posible de viento. El espacio entre ellas como podemos apreciar en la *Ilustración 6*, es aproximadamente entre 5 y 9 diámetros de rotor en la dirección del viento predominante y entre 3 y 5 diámetros separados en la dirección perpendicular a los vientos dominantes. Si estuvieran demasiado cerca su eficiencia podría disminuir y la generación de energía sería menor (Universidad Politécnica de Valencia, 2022).

Ilustración 6: Distribución de aerogeneradores (Balbás García, s.f.).



Las tareas de mantenimiento resultan más fáciles con esta separación y la seguridad de los trabajadores de los parques es mayor y más competente.

La distancia de separación puede variar en función de varios factores como el tipo de aerogenerador, el diseño del parque, las características del terreno y de la velocidad y dirección del viento. En general, se busca encontrar un equilibrio entre la densidad de aerogeneradores para maximizar la producción de energía y la separación suficiente para evitar interferencias y facilitar el mantenimiento.

Los avances tecnológicos en aerogeneradores han permitido el desarrollo de turbinas eficientes y de mayor capacidad, lo que ha contribuido al crecimiento de la energía eólica en todo el mundo. La energía eólica se considera una fuente limpia de energía ya que, no contamina durante su operación ni produce emisiones que contribuyan al efecto invernadero. Es una forma sostenible de generación de electricidad que contribuye a la reducción de la dependencia de los combustibles fósiles y a la mitigación del cambio climático (Villalvilla, 2022)

La ubicación estratégica es una parte fundamental. Las áreas con alto potencial eólico se encuentran donde el viento sea constante y veloz. Lo normal para cuantificar el valor del recurso es realizar un estudio previo para encontrar el lugar más adecuado como colinas, costas o zonas abiertas sin obstrucciones. En general, un aerogenerador necesita una velocidad de viento mínima de 3 a 5 m/s, pudiendo llegar a 25m/s, sin embargo, las velocidades superiores a ésta provocan la desconexión de los aerogeneradores por motivos de seguridad. La mayoría de las turbinas eólicas alcanzan su máxima generación de energía a una velocidad de 12 a 14 m/s (Universidad Politecnica de Valencia, 2022).

El mantenimiento regular y adecuado de las máquinas es crucial para garantizar su óptimo rendimiento. Aquí juega un papel importante las inspecciones, periódicas, reparación de posibles daños o limpieza de los equipos.

Utilizar aerogeneradores de tecnología avanzada, con nuevos diseños de turbinas son más eficientes y captan mayor energía del viento en comparación con tecnologías más antiguas. Además, las turbinas de mayor tamaño contribuyen a una mayor estabilidad y a alcanzar vientos más fuertes debido a su altura.

El impacto medio ambiental ha supuesto un freno para estas instalaciones. Existen soluciones constructivas para disminuir el impacto visual provocado por las turbinas como el uso de colores neutros que favorecen a su integración con el paisaje.

Puesto que el terreno que ocupan los aerogeneradores es mínimo con respecto a la extensión del parque, entre turbinas es posible utilizar el suelo para otros fines tales como agricultura o el pastoreo.

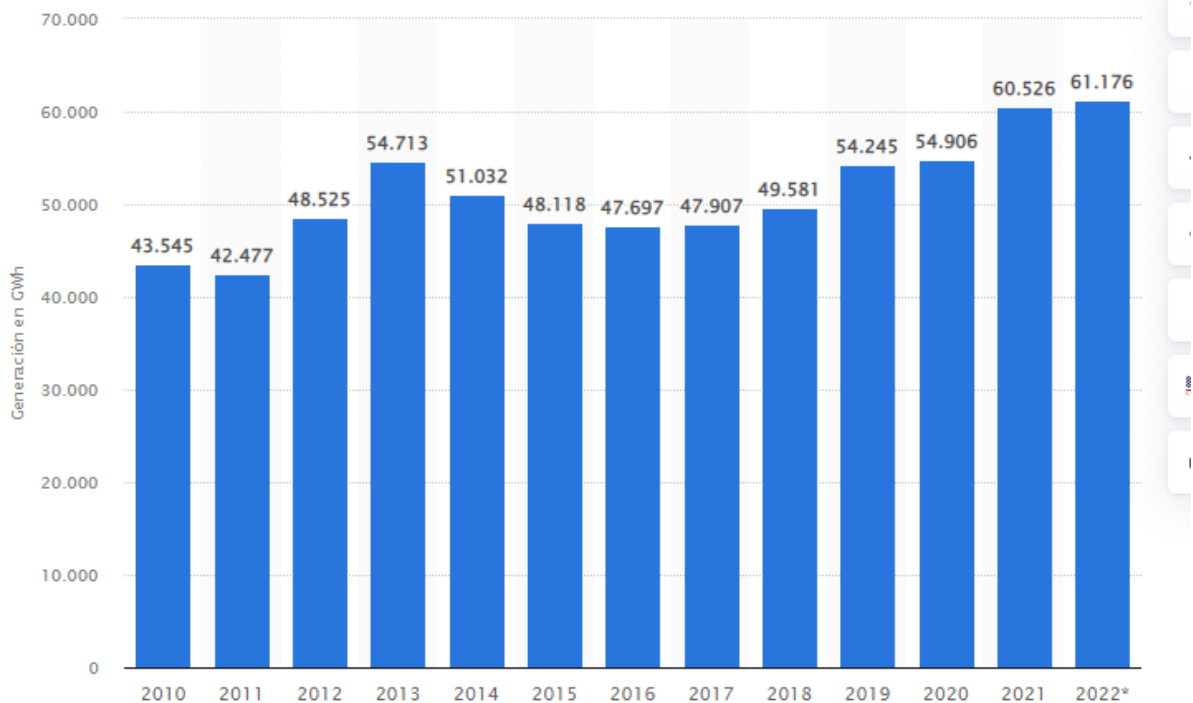
Otro factor para considerar es el ruido que provoca la rotación de sus palas, en cambio, este deja de ser relevante si consideramos que el ruido percibido en las proximidades de un parque es comparable con el ruido de fondo que causa el viento (Ramírez Segura, s.f.).

A pesar de las limitaciones existentes, la energía eólica sigue siendo una fuente de energía renovable muy significativa y valiosa, lo que la hace competitiva frente a las fuentes energéticas convencionales. Como se puede apreciar en la *Ilustración 7* e *Ilustración 8*, la potencia eólica instalada y generada en España en los últimos 12 años ha ido incrementando hasta los notables datos actuales.

Entre las ventajas de la energía eólica podemos resumir las siguientes:

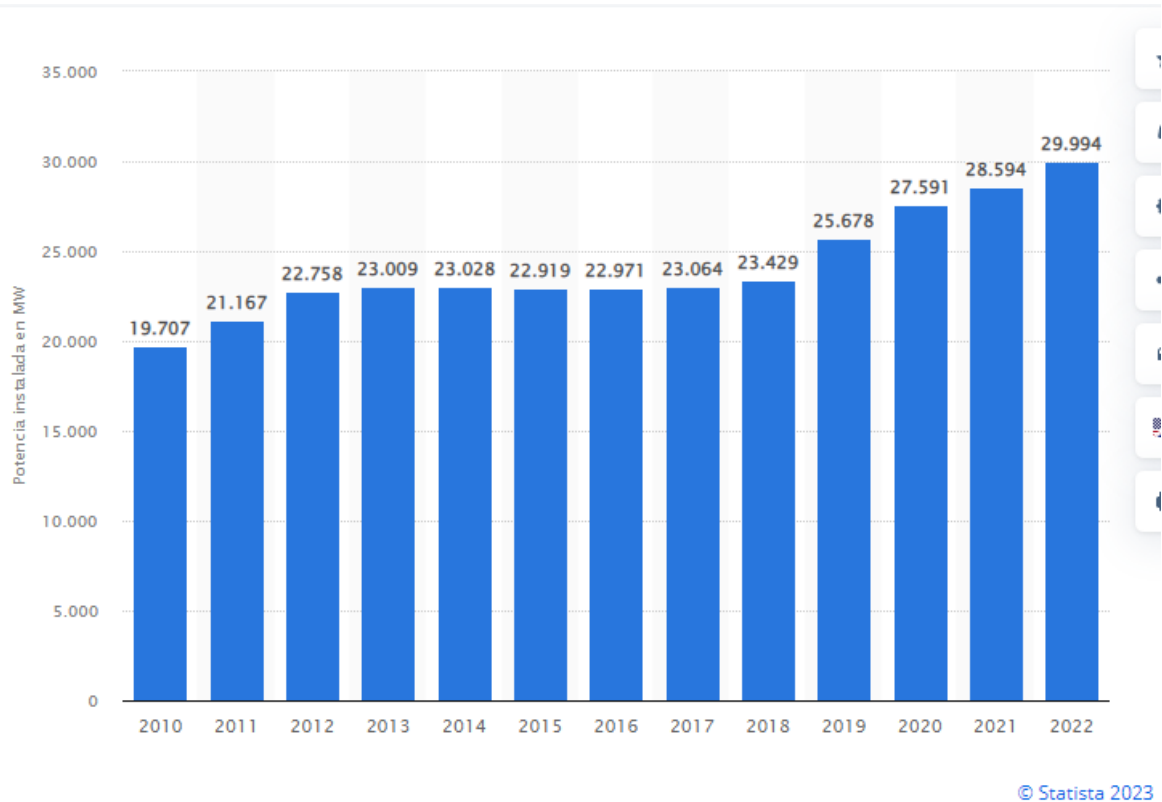
- Es una fuente limpia de energía.
- El viento es un recurso inagotable.
- El coste por kilovatio (KW) producido como su mantenimiento es bajo.
- Genera empleos y riqueza.
- Contribuye al desarrollo sostenible.

Ilustración 7: Energía eólica generada en España de 2010 a 2022 en gigavatios-hora (Statista, 2023).



© Statista 2023

Ilustración 8: Potencia eólica instalada en España de 2010 a 2022 en megavatios (Statista, 2023).



2.3.3. TIPOS DE EN ENERGÍA EÓLICA: ONSHORE Y OFFSHORE.

La energía eólica se puede distinguir en dos categorías según dónde y cómo se genera electricidad: eólica Onshore y eólica Offshore.

La energía eólica Onshore hace referencia a los parques eólicos ubicados en tierra firme. Los aerogeneradores de estos parques se instalan en áreas terrestres, como colinas, llanuras o costas. Esta es la forma más habitual de energía eólica y ha experimentado un gran crecimiento a nivel mundial.

La energía eólica Onshore cuanta con una serie de beneficios con respecto a la eólica Offshore. En primer lugar, las instalaciones de parques eólicos Onshore tienen un coste más económico en comparación con los parques Offshore. Al ubicarse en terrenos accesibles y abiertos, se

reduce la complejidad logística y los gastos asociados a la construcción de infraestructuras en áreas marinas (Eliovertical, 2019).

Además, el mantenimiento de los aerogeneradores en parques eólicos Onshore resulta más sencillo. Dado que están ubicados en tierra, el acceso a los equipos y componentes es más fácil y rápido. Esto facilita las tareas de inspección, mantenimiento preventivo y la solución de posibles averías, lo que contribuye a una mayor disponibilidad y eficiencia de los aerogeneradores.

Otro aspecto importante es el nivel de desarrollo tecnológico alcanzado por los aerogeneradores Onshore. La tecnología utilizada en estos parques está más avanzada y madura en comparación con los sistemas empleados en los parques eólicos Offshore. Esto se debe a que la energía eólica Onshore ha sido más ampliamente adoptada y se ha ido desarrollando con el tiempo. La experiencia acumulada en la instalación y operación de aerogeneradores Onshore ha permitido mejorar su diseño, eficiencia y fiabilidad (Iberdrola, s.f.).

Por otro lado, la energía eólica Offshore se caracteriza por ubicar los parques eólicos en aguas marinas, a una distancia considerable de la costa. Estos parques se instalan en estructuras flotantes o fijas en el mar, aprovechando los vientos más fuertes y constantes que suelen encontrarse en alta mar. Esta es una gran ventaja para estos parques, ya que los vientos más intensos permiten generar una mayor cantidad de energía (Universidad Publica de Navarra, 2019).

También, la capacidad de construcción de los parques eólicos Offshore es mayor en comparación con los terrestres. Al tener más espacio disponible en el mar, es posible instalar una mayor cantidad de aerogeneradores y aprovechar al máximo el potencial energético de la zona. Esto resulta en una mayor producción de energía por parque y un mayor rendimiento por unidad de capacidad instalada (Gestion del Conocimineto-Energias Renovables, 2015).

Sin embargo, la energía eólica Offshore presenta desafíos y costes adicionales. El desarrollo y la implementación de parques eólicos Offshore son más costosos que los proyectos Onshore. La construcción de estructuras en el mar, el transporte de equipos y el mantenimiento en un entorno marino son operaciones técnicamente más complejas y requieren inversiones considerables. Además, la tecnología utilizada en los parques Offshore aun esta en proceso de desarrollo y mejora, lo que puede implicar mayores costes de investigación y desarrollo (Universidad Politecnica de Valencia, 2022).

A pesar de estos desafíos, en los últimos años la energía eólica Offshore ha experimentado un crecimiento relevante en todo el mundo, incluyendo España. En la costa atlántica y mediterránea española se están ejecutando diversos proyectos Offshore para aprovechar el potencia eólicos del mar. A medida que la tecnología avanza y se superan los obstáculos técnicos y económicos, se espera que la energía eólica Offshore desempeñe un papel cada vez más importante en la generación de energía renovable a gran escala.

2.3.4. GENERACIÓN DE ENERGÍA.

De entre las diferentes formas de tratar la energía, en este proyecto manejaremos la generación de ésta. La generación de energía se refiere al proceso de convertir una forma de energía en otra utilizable.

La generación de energía eléctrica se construye tras un conjunto de procesos que producen electricidad debido a la transformación de esta. Esta conversión de energía es posible por las centrales eléctricas, la mayoría de ellas funcionan mediante una fuente de calor, aunque también disponemos de parques eólicos, plantas fotovoltaicas y centrales mareomotrices. Sin embargo, cada una tiene sus ventajas, desafíos y consideraciones ambientales, y la elección de la fuente de generación depende de factores como la disponibilidad de recursos, la ubicación geográfica o las políticas energéticas.

Una principal fuente de generación son las energías renovables, nombradas anteriormente. El peso de la generación de energía eléctrica en España parece que va cambiando de preferencia hacia las renovables. En 2021, un 46,7% (Villalvilla, 2022) de la electricidad que se produjo fue con tecnologías renovables, el dato más alto de la historia. Asimismo, parece que el futuro seguirá la misma tendencia, pues los objetivos del pacto verde europeo van hacia una descarbonización en todos los sectores.

Si nos enfocamos en el proyecto, el proceso de generación eólica implica los siguientes pasos:

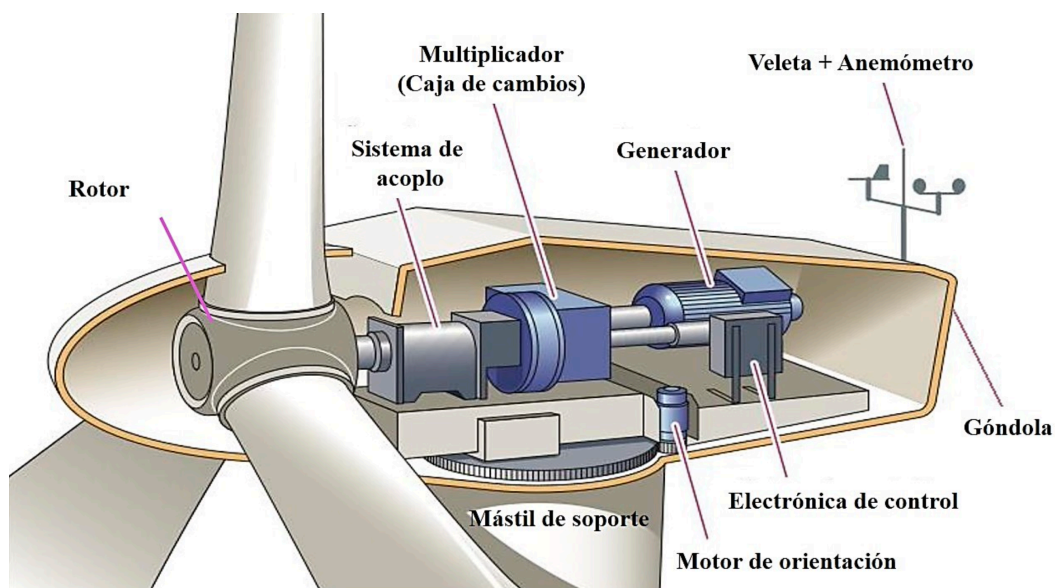
1. Turbinas eólicas: Se instalan aerogeneradores, que son grandes estructuras, de entre 80 y 120 metros de altura, con hélices o aspas giratorias, conocidas como turbinas eólicas. Su misión consiste en capturar la energía cinética del viento.
2. Captura del viento: Al soplar el viento, las turbinas eólicas giran gracias a que la fuerza del viento choca con las aspas. La forma y el diseño de las aspas permiten maximizar la energía eólica capturada.

3. **Generador:** El movimiento de las aspas se transmite a un generador, el cual se encuentra en la parte superior de la turbina. El generador trata la energía mecánica del giro de las aspas para convertirla en energía eléctrica.
4. **Transformador:** La energía eléctrica que se genera en el generador de la turbina eólica es transportada hacia un transformador. Este es el encargado de aumentar el voltaje de la electricidad generada para facilitar su transporte y distribución hacia la red eléctrica.
5. **Integración a la red eléctrica:** La electricidad generada por las turbinas eólicas se inyecta en la red, donde también llega electricidad de otras fuentes. Esta es la electricidad que se distribuye a los usuarios a través de cables de transmisión y distribución.

La energía eólica se considera una fuente limpia de energía ya que, no contamina durante su operación ni produce emisiones que contribuyan al efecto invernadero. Es una forma sostenible de generación de electricidad que contribuye a la reducción de la dependencia de los combustibles fósiles y a la mitigación del cambio climático (Villalvilla, 2022).

La *Ilustración 9* muestra los principales equipos de los que se compone un aerogenerador, lo cual resulta útil para localizar los componentes mencionados en los puntos previos.

Ilustración 9: Principales componentes de un aerogenerador (Mártel, 2018).

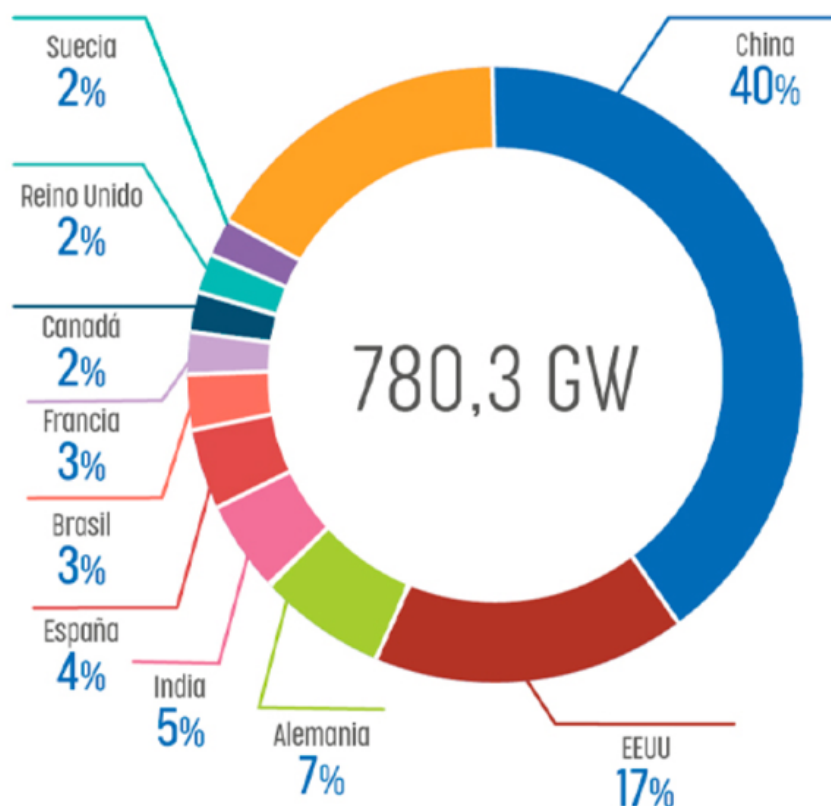


2.3.5. LA EÓLICA ACTUAL.

La energía eólica se ha convertido en una fuente ampliamente utilizada en todo el mundo, tanto que, la potencia instalada cada año supera a la del año anterior. La capacidad eólica instalada a nivel mundial alcanzó más de 955 GW a finales de 2022 y cruzara el umbral de un millón de gigavatios en 2023.

En cuanto a los países con más potencia instalada, China está en cabeza con una capacidad instalada de 300 gigavatios. Se espera también un crecimiento en los mercados de Estado Unidos, aunque sin superar los niveles de 2021. España, junto con Alemania e India, como se muestra en la *Ilustración 10* entra en el top 5 del ranking con una potencia eólica instalada de 29.813 GW, el doble de la capacidad instalada el año anterior. Sin embargo, es España el país que menos potencia nueva ha instalado, en 2022 solo 1,7 GW de los instalados eran nuevos (AEE, 2023).

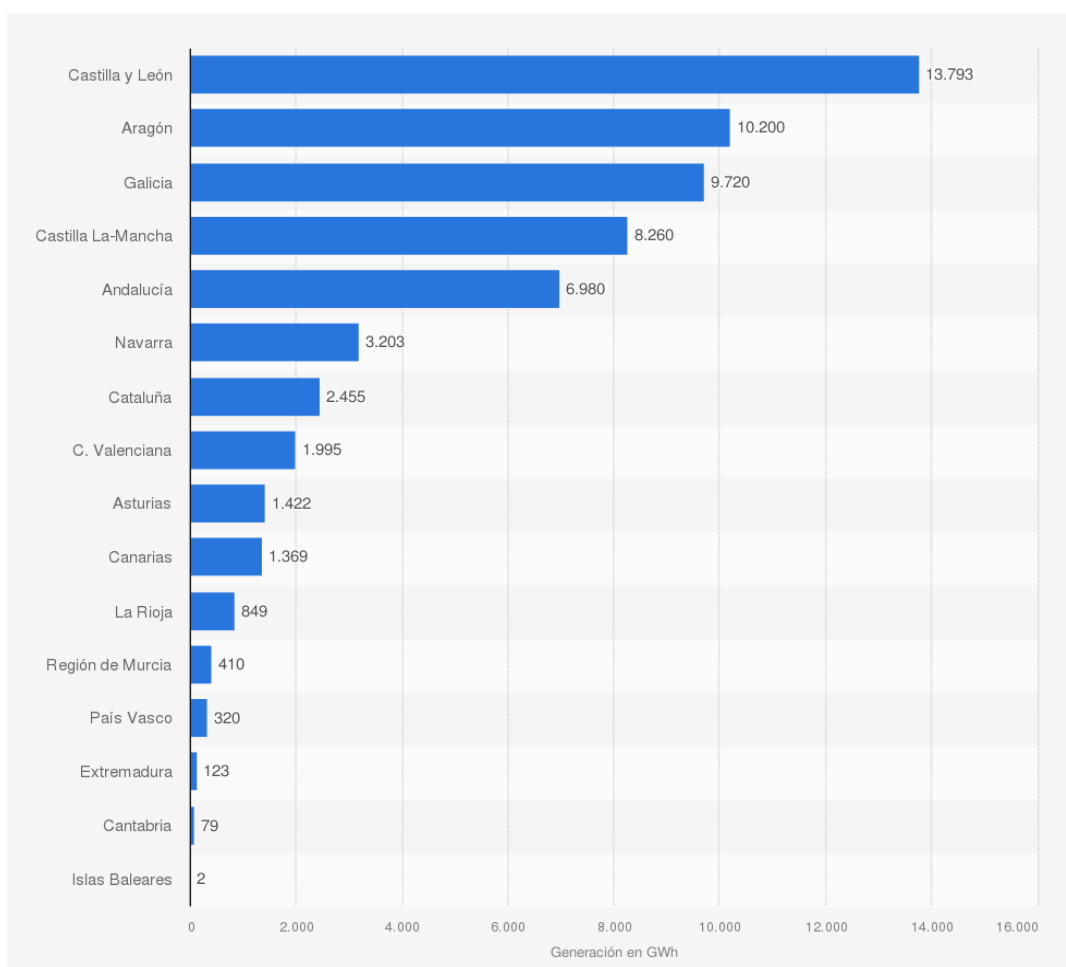
Ilustración 10: Ranking de países por potencia terrestre acumulada (AEE, 2023).



Actualmente, España cuenta con 1.345 parques eólicos y 22.042 aerogeneradores en funcionamiento. En 2022, se pusieron en marcha 46 nuevos parques eólicos con un total de 395 aerogeneradores. Los parques eólicos existentes generan aproximadamente el 25% de la electricidad en España, con picos de generación más elevados en determinados días. La energía eólica ha sido clave para mantener los precios de la electricidad más bajos y ha supuesto un ahorro a los consumidores.

La presencia de energía eólica en España está en todas las Comunidades Autónomas excepto Madrid, Ceuta y Melilla. Sin embargo, las comunidades con más potencia instalada son Castilla y León en primer lugar, seguida de Aragón y Castilla la Mancha. Para las demás comunidades que siguen la clasificación, podemos visualizar el gráfico de la *Ilustración 11*.

Ilustración 11: Potencia eólica generada en 2022 en las Comunidades Autónomas españolas (Statista, 2023).

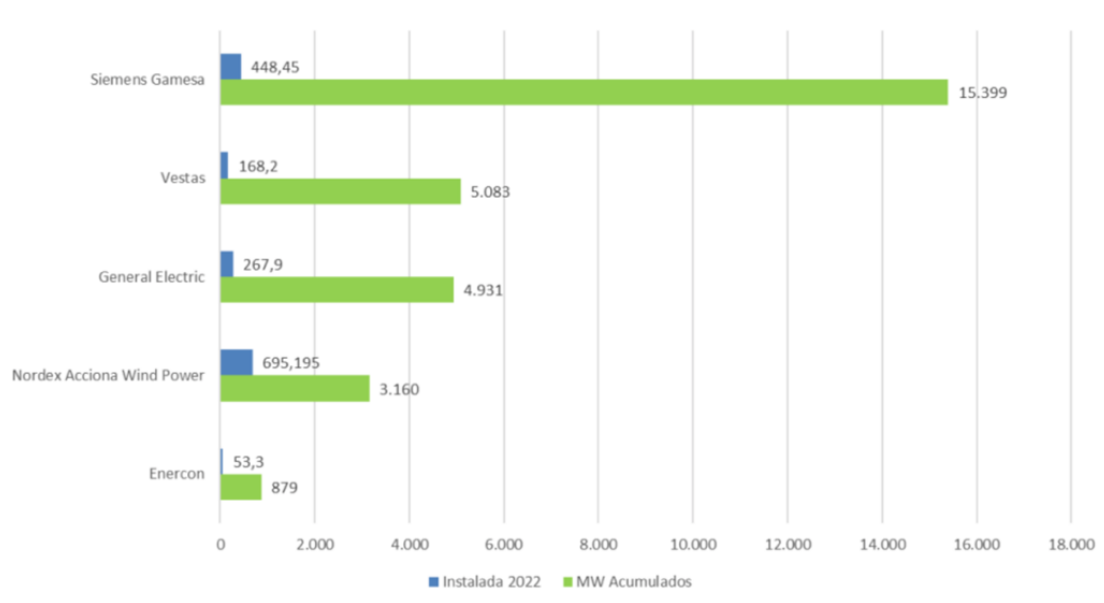


A pesar del crecimiento en la capacidad eólica instalada, los aerogeneradores y sus infraestructuras ocupan un porcentaje prácticamente insignificante de la superficie total de España y están presentes en el 13% de los municipios españoles (Barrero, 2023).

Con respecto a la fabricación de aerogeneradores, España es líder en Europa, con más de 250 centros de fabricación en el país. Además, se destaca como uno de los principales exportadores de maquinas en el sector.

Los fabricantes que lideran el ranking por potencia total acumulada en España son Siemens Gamesa, Vestas, General Electric, Nordex Acciona Windpower y Enercon. En la *Ilustración 12*, podemos ver la potencia acumulada de cada fabricante en España y cuál de ellos han instalado más eólica en 2022 (AEE, 2023).

Ilustración 12: Top de fabricantes por potencia instalada y acumulada en 2022 (AEE, 2023).



En cuanto a la posición del sector eólico en la economía, este, mejora los indicadores macroeconómicos e incrementa su aportación anual a la economía española.

En 2021, representó un 0,49% del producto interior bruto (PIB), este sector fue responsable de más de 32.000 puestos de trabajo y permitió a las empresas españolas exportar más de 2.000 millones de euros. Además, gracias a la energía eólica se ahorraron 2.700 millones de euros en importaciones de combustibles fósiles. España se ha posicionado como una referencia mundial en términos de capacidad instalada, así como en su industrial innovadora.

A pesar de los desafíos presentados por la recuperación post-covid y las tensiones en los mercados energéticos, el país ha logrado mantener el control del 100% de la cadena de valor en este sector (AEE, 2022).

Durante el último cuatrimestre de 2022, la energía eólica jugó un papel fundamental en la reducción del precio del mercado eléctrico en un impresionante 38%. Esta disminución significativa se tradujo en un ahorro equivalente al valor de tres metaneros de gas (Iberdrola News, 2022)

2.3.6. OBJETIVOS RENOVABLES EN EL SECTOR.

La Asociación Empresarial Eólica (AEE) ha presentado al Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) un detallado análisis que destaca la importancia de la contribución de España para alcanzar los objetivos de energías renovables establecidos por la Unión Europea (UE) para el año 2030. Según este informe, se propone que España alcance un 53% de energías renovables en el consumo final de energía, así como que el 82% de la electricidad producida provenga de fuentes renovables, superando ampliamente el objetivo del 74% establecido en el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima vigente (AEE, 2022).

A continuación, se presentan los objetivos establecidos para el sector eólico:

Tabla 1: Objetivos para 2030 (AEE, 2022).

Escenario (2030)	Eólica Marina	Eólica Terrestre	Eólica Repotenciada+	GW totales eólicos (nuevo PNIEC)
Escenario 1	3 GW	10,25 GW (9,5 GW para hidrógeno verde y 0,75 GW para incremento generación renovable)	15 GW	63,6 (50,3 GW, objetivo actual)

Para lograr estos objetivos, es fundamental apostar por el desarrollo y la expansión de las tecnologías que aprovechan los recursos energéticos renovables disponibles en el país. En este contexto, la energía eólica juega un papel primordial. De acuerdo con el análisis realizado por la AEE, se estima que la energía eólica tendría la capacidad de generar aproximadamente 134 teravatios hora de electricidad, lo que representaría un significativo 38% de la proporción total de electricidad renovable esperada para el año 2030. Además, se proyecta la instalación de aproximadamente 54 gigavatios de capacidad eólica en España, lo cual impulsaría aun más la contribución de esta fuente de energía limpia (AEE, 2022).

El cumplimiento de estos objetivos requeriría un enfoque integral y colaborativo entre el gobierno, las empresas del sector energético y la sociedad en su conjunto. Se necesitarán inversiones considerables en infraestructuras eólicas, así como medidas de apoyo y fomento de la investigación y desarrollo en tecnologías eólicas más eficientes y avanzadas al impulsar el desarrollo de la energía eólica y otras fuentes renovables. España no solo estará contribuyendo de manera significativa a la mitigación del cambio climático, sino que también estará fortaleciendo su posición como líder en la transición hacia un sistema energético más sostenible y respetuoso con el medio ambiente.

CAPÍTULO 3. REPOTENCIACIÓN Y ECONOMÍA CIRCULAR.

En este capítulo, abordaremos dos temas de estudio relevantes e interconectados: la repotenciación de parques eólicos y la economía circular.

En primer lugar, nos sumergiremos en el mundo de la repotenciación de parques eólicos. Exploraremos en detalle como esta práctica consiste en la modernización y mejora de parques eólicos existentes para aumentar su capacidad de generación de energía. Analizaremos los motivos que impulsan la repotenciación, centrándonos particularmente en los beneficios que conlleva. Estos beneficios pueden ser tanto económicos como ambientales, ya que la repotenciación puede optimizar la producción de energía, aumentar la eficiencia operativa y reducir las posibles controversias asociadas a la instalación de parques eólicos.

Por otro lado, nos adentraremos en el concepto de economía circular y su relación con la repotenciación de parques eólicos. La economía circular busca transformar el modelo tradicional de “usar y desechar” en un enfoque más sostenible y responsable, donde los recursos y materiales se mantienen en ciclos de vida prolongados y se reducen los residuos. Exploraremos cómo la repotenciación de parques eólicos puede integrarse en la economía circular a través de la reducción, reutilización y reciclaje de componentes. Analizaremos el potencial de recuperación y reacondicionamiento de equipos como las palas, transformadores, generadores y multiplicadoras, lo que permitirá reducir la dependencia de la adquisición de nuevos componentes y fomentar la eficiencia en el uso de recursos.

3.1. REPOTENCIACIÓN DE PARQUES EÓLICOS.

La repotenciación se refiere a la modificación de un parque eólico en operación con el propósito de sustituir total o parcial los aerogeneradores o componentes principales con el objetivo de incrementar la producción del emplazamiento. Este proceso abarca la sustitución completa de máquinas, así como mejoras parciales.

En caso de mejoras parciales, es posible mantener o aumentar la potencia instalada sin restricciones en el incremento de potencia entre el parque nuevo y el existente, siempre que no existan limitaciones en el punto de evacuación de energía.

La repotenciación ofrece la oportunidad de aprovechar al máximo el potencial de un parque eólico en funcionamiento, optimizando su rendimiento y contribuyendo a una mayor producción de energía renovable.

El objetivo primordial de la repotenciación es extender la vida útil de los parques eólicos más allá de su periodo previsto, normalmente alrededor de 20 años. Sin embargo, este enfoque no sería compatible con la maximización de la producción, dado que los parques que alcanzan esta edad suelen estar equipados con tecnología más antigua, a pesar de estar ubicados en áreas con un excelente potencial eólico.

Por consiguiente, este proyecto se enfoca en revitalizar y actualizar los parques eólicos más antiguos, que presentan una tecnología obsoleta. Se trata de modernizar estos parques a través de la instalación de nuevos aerogeneradores o de la adopción de componentes tecnológicamente más avanzados, con el fin de aumentar la producción de energía.

En las condiciones actuales, únicamente se realiza la repotenciación natural en aquellos parques con modelos tan anticuados que sus fabricantes no existen y cuya vida no se puede extender. Estos parques están destinados al desmantelamiento si no se lleva a cabo el proceso de repotenciación.

En Europa se ha logrado repotenciar exitosamente un total de 170 parques eólicos hasta el momento, y cabe destacar que más del 50% de ellos se encuentran en Alemania. Sin embargo, los países bajos lideran en términos de avances en repotenciación (REVE, 2022).

A pesar de estos logros, es imprescindible que otros países intensifiquen sus esfuerzos en esta área. España, Italia y Dinamarca necesitan implementar estrategias más coherentes para aprovechar al máximo los beneficios que la repotenciación ofrece.

Es importante señalar que la mayoría de los parques eólicos que llegan al final de su vida útil actualmente optan por extender su funcionamiento, en gran medida debido a la falta de marcos legislativos adecuados para la repotenciación. No obstante, la experiencia acumulada demuestra de manera contundente que siempre que sea posible, los aerogeneradores deben ser repotenciados (World Energy Trade, 2022).

El proceso de repotenciación ofrece una amplia gama de ventajas. A continuación, se detallan algunas de ellas:

En primer lugar, la repotenciación permite el mayor aprovechamiento de la energía eólica en la misma área de terreno en cada parque. Gracias a avances tecnológicos y mejoras en el diseño de los aerogeneradores, se logra una generación de energía más eficiente, maximizando la producción en comparación con los equipos antiguos. Esto implica que se puede obtener una mayor cantidad de energía limpia y renovable sin necesidad de expandir el tamaño del parque.

En segundo lugar, la repotenciación requiere un menor número de turbinas eólicas para generar la misma potencia. Los nuevos modelos de aerogeneradores son más eficientes y potentes, lo que significa que se necesitan una menor cantidad de turbinas eólicas para alcanzar los mismos niveles de generación de energía. Esto se traduce en una optimización de los recursos y una reducción de los costes de inversión y mantenimiento.

En tercer lugar, la eficiencia mejora considerablemente debido a la naturaleza de los nuevos aerogeneradores instalados durante el proceso de repotenciación. Estos equipos cuentan con tecnologías más avanzadas, como rotores más grandes y aerodinámicos, sistemas de control más precisos y eficientes, y mejoras materiales de construcción. Como resultado, se obtiene una mayor eficiencia en la conversión de la energía cinética del viento en energía eléctrica utilizable, lo que se traduce en costes de operación y mantenimiento más bajos.

En cuarto lugar, el impacto visual se ve reducido significativamente debido a la disminución del número de turbinas eólicas. Al reemplazar los aerogeneradores antiguos y menos eficientes por modelos más avanzados y potentes, se logra generar la misma cantidad de energía o incluso más con un menor número de turbinas. Esto no solo mejora la estética del paisaje, sino que también disminuye las posibles objeciones y conflictos asociados con la instalación de parques eólicos.

Por último, la repotenciación permite una mejor integración en la red eléctrica al instalar aerogeneradores que cumplen los requisitos de conexión a la red. Los nuevos equipos están diseñados para cumplir con las normativas y estándares más actualizados, lo que facilita su integración en el sistema eléctrico existente. Esto garantiza una mayor estabilidad y confiabilidad en la producción de energía eólica, así como una mejor coordinación con otras fuentes de generación contribuyendo a una red eléctrica más robusta y eficiente.

La repotenciación no solo tiene sentido desde una perspectiva económica, ya que mejora la rentabilidad y la viabilidad económica de los parques eólicos, sino que también contribuye a alcanzar los objetivos de energía renovable de gobiernos, empresas privadas o instituciones internacionales. La repotenciación de parques eólicos resulta una estrategia clave para

optimizar la generación de energía limpia y aprovechar al máximo la infraestructura existente de los parques.

3.2. ECONOMÍA CIRCULAR.

La economía circular es un enfoque revolucionario que va más allá de la simple reducción de residuos y el reciclaje. Representa un cambio en la forma en que producimos, consumimos y gestionamos los recursos. Su objetivo es crear un sistema regenerativo en el que los productos y materiales se mantengan en uso durante el mayor tiempo posible.

En contraste con el modelo económico tradicional de “extraer, fabricar, usar y desechar”, la economía circular propone prácticas como la reparación de productos, la reutilización de materiales y el diseño de productos con principios de facilidad de reciclaje. También promueve la colaboración entre diferentes actores de la cadena de valor para maximizar el valor de los recursos y minimizar los impactos ambientales.

Uno de los objetivos de la economía circular es desvincular el crecimiento económico del consumo insostenible de recursos naturales. En lugar de depender de la extracción constante de materias primas, se busca optimizar el uso de los recursos existentes y cerrar ciclos de materiales, creando así un sistema más resistente y eficaz (Santaella, s.f.).

Además de los beneficios ambientales, la economía circular ofrece oportunidades económicas significativas. Se estima que la transición hacia este modelo podría generar empleo y abrir nuevos sectores comerciales, como la gestión de residuos, la reparación, el reciclaje y la producción sostenible.

Una de las razones fundamentales para impulsar el cambio hacia una economía circular es el incremento de la demanda de recursos naturales y la escasez de estos. Muchas materias primas esenciales son limitadas en cantidad y, a medida que crece la población mundial, la demanda continua en aumento (Martín, s.f.).

Además, la dependencia de otros países es otro factor determinante. Algunos países de la unión europea dependen de naciones externas para obtener sus materias primas, lo que genera vulnerabilidad y riesgos en el suministro.

Otro factor relevante es el impacto en el medio ambiente y el clima. La extracción y el uso de materias primas tienen importantes consecuencias ambientales, aumentando el consumo de energía y las emisiones de CO₂. En contraste, un uso más inteligente y eficiente de las materias

primas puede reducir significativamente las emisiones contaminantes y contribuir a la mitigación del cambio climático.

Algunos de los beneficios que la economía circular ofrece son:

- **Protección del medio ambiente.** Este modelo reduce el uso de recursos naturales, disminuye la generación de residuos y limita el consumo de energía. Además, impulsa la adopción de energías renovables no contaminantes, contribuyendo a la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.
- **Seguridad en el suministro de materias primas.** En un contexto de escasez y cambio en los precios de las materias primas, la economía circular, al utilizar los residuos locales como fuente principal de materia prima, asegura el suministro de recursos esenciales.
- **Generación de empleo y estímulo económico.** La transición hacia una economía circular ofrece oportunidades para el crecimiento económico y la creación de empleo. Según estimaciones, se aproxima que en la unión europea se podrían generar alrededor de 700.000 puestos de trabajo para el año 2030 (Noticias Parlamento Europeo, 2023). Además, al impulsar la innovación y la competitividad, se fomenta el desarrollo de nuevos sectores y modelos de negocio sostenibles.
- **Ahorro de los costes para consumidores.** La economía circular busca optimizar el uso de materiales y prolongar la vida útil de los productos, lo que lleva a ahorros importantes en los costes de producción y consumo. Al volver a utilizar y reparar productos, se reduce la necesidad de adquirir nuevos, lo que beneficia a los consumidores al ofrecer productos más asequibles y duraderos.

La adopción de la economía circular no solo conlleva beneficios ambientales, sino también económicos y sociales, al tiempo que impulsa la innovación y fomenta un consumo más responsable. En un enfoque integral que ofrece soluciones concretas para los desafíos actuales en términos de recursos, sostenibilidad y crecimiento (Lecciona, s.f.).

En el modelo de economía circular, es interesante también contemplar la opción de la venta de componentes en el mercado de segunda mano. En este contexto, el mercado de segunda mano ofrece la posibilidad de encontrar equipos de aerogeneradores que aun tienen vida útil y pueden ser utilizados para así minimizar el desperdicio.

Al optar por el mercado de segunda mano además de contribuir a la economía circular, como vendedor se presentan beneficios tales como la generación de ingresos adicionales, se reducen los costes de almacenamiento y se establecen relaciones comerciales con otros compradores.

Es crucial realizar una evaluación exhaustiva de los componentes usados que se pretenden vender para asegurar las condiciones óptimas y el cumplimiento de los estándares de calidad y seguridad requeridos de los equipos a vender.

3.3. APOYO FINANCIERO PARA REPOTENCIACIÓN EÓLICA Y RECICLAJE DE PALAS DE AEROGENERADORES.

El Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) ha lanzado una convocatoria para mejorar la eficiencia energética y reducir el impacto ambiental en instalaciones eólicas mediante repotenciación y reciclaje. Los llamados “Programas de Repotenciación Circular” financiarán la actualización tecnológica y el reemplazo de componentes en parques existentes. Además, se apoyarán propuestas innovadoras de economía circular para reciclar palas. El Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), dependiente del MITECO, gestionará estas ayudas que se otorgarán en un régimen de concurrencia competitiva como una subvención no reembolsable a los beneficiarios.

La convocatoria consta de 3 programas. Sin embargo, nos centraremos en los que influyen este proyecto:

- El programa 1 de Mejora Energética y Sustitución en Instalaciones Eólicas, con una asignación de 150 millones de euros tiene como objetivo la repotenciación de al menos 557 megavatios (MW) de capacidad eólica.
- El programa 3 que fomentara la innovación para el reciclaje de palas con una financiación de 30 millones de euros. Estas instalaciones deberán recuperar al menos el 50% en peso de los residuos, incluyendo las palas. Se espera alcanzar una capacidad conjunta de reciclaje anual de 17.564 toneladas de palas y otros compuestos fabricados de materiales compuestos.

Las ayudas se otorgarán únicamente a proyectos cuya ejecución no haya comenzado, deberán terminar antes de enero de 2026 y tienen que cumplir el principio de no causar ningún daño significativo al medio ambiente. Además, se dará prioridad a las instalaciones ubicadas en áreas de Transición Justa y Reto demográfico, así como iniciativas con mayor innovación, generación de empleo, profesionalización del reciclaje y aprovechamiento de la cadena de valor nacional o europea (Gobierno de España, s.f.).

CAPÍTULO 4. PROYECTO DE ESTUDIO.

En el proyecto en curso, nos enfocamos en la repotenciación de dos parques eólicos: Parque X, con una trayectoria de 22 años, y Parque Y, con 25 años de operación. La decisión de llevar a cabo esta repotenciación se basa en el hecho de que los aerogeneradores utilizados en estos parques son de tecnología G4X, lo que implica que su capacidad de generación actual es de alrededor de 600 kilovatios (KW), mientras que las tecnologías actuales permiten alcanzar potencias de hasta 5.000 KW. Cabe aclarar que la repotenciación se llevará a cabo por equipos, en lugar de reemplazar las maquinas completas.

En este contexto, los equipos de los aerogeneradores, como las palas, los transformadores, los generadores y las multiplicadoras, serán objeto de estudio. Analizaremos los parques restantes de Iberdrola que también utilizan tecnología G4X, con el fin de determinar cuantos de estos componentes sufren daños y requieren reparación o reemplazo anualmente. Este enfoque nos permitirá implementar un modelo de economía circular, mediante el cual podremos identificar cuales de los componentes que se repotenciarán podrían ser reutilizados en caso de rotura o necesidad de reparación, evitando así la necesidad de adquirir nuevos equipos o recurrir a servicios de taller.

Esta estrategia no solo generará ahorros económicos significativos, sino que también maximizará la utilización de los equipos y materiales existentes, promoviendo la sostenibilidad.

4.1. DESCRIPCIÓN DATOS DE PARTIDA.

La información de partida ha sido obtenida mediante la aplicación SAP. En el contexto que nos concierne, SAP es un sistema informático utilizado para la gestión en este caso de parques eólicos, optimizando y facilitando la administración de sus operaciones. Con dicho programa, se obtiene una visión completa y precisa de los datos relacionados con los equipos, lo que facilita la optimización de tareas de mantenimiento y el seguimiento de los indicadores clave de rendimiento.

La Tabla 2 presenta los datos iniciales utilizados en el estudio de la flota de aerogeneradores. En esta sección se detalla la información obtenida a través de la descarga, la cual abarca diversos componentes del aerogenerador de la tecnología objeto de estudio. Para su análisis, se han seleccionado las primeras 40 líneas de la descarga, consideradas suficientes para su interpretación.

- **Equipo:** El número de equipo se refiere a un identificador único asignado a cada componente en particular, así será más sencillo llevar un registro detallado de los componentes individuales, su ubicación, mantenimiento y otros datos relevantes a lo largo de su ciclo de vida.
- **Material:** El número de material hace referencia a la identificación única asignada a un artículo o producto específico. Se utiliza para identificar y distinguir un material o componente en el sistema
- **Denominación:** La denominación es el nombre o descripción específica asignada a un artículo o producto en el sistema. Es un campo que permite identificar el componente de manera clara y comprensible. En este proyecto, gracias a la denominación podemos conocer de manera clara a que gran componente se refiere.
- **Ubicación técnica:** Alude a un identificador asignado a una instalación dentro de un parque eólico. Proporciona información precisa sobre la ubicación física de dicho elemento en el parque.
- **Denominación2:** Es un atributo adicional al campo Denominación, que proporciona una clasificación más detallada dentro de una categoría más amplia, lo que permite una organización de información más precisa. En la situación que estamos tratando, este atributo nos indica en que aerogenerador se encuentra el componente.
- **Fabricante:** Este campo apunta a la entidad o empresa que fabrica el equipo.
- **Denominación tipo:** Se usa para clasificar y diferenciar diferentes tipos de objetos dentro del sistema. En esta situación nos proporciona la información del modelo del gran componente.
- **Número de serie:** Trata de identificar y rastrear un artículo o producto específico a lo largo de su vida útil. Se destaca que cada equipo tiene un número de serie único.
- **Fecha de puesta en servicio:** Indica en momento en el que el componente pasa a ser propiedad de la organización. Es importante destacar que la fecha de puesta en servicio no significa necesariamente que todos los equipos estén implementados y utilizados desde el primer día.
- **Fecha validez:** Se utiliza para definir el periodo desde el que un componente se encuentra en cualquiera de los estados posibles.

- Fecha fin validez: Es el final del periodo en el que un equipo deja de ser válido y deja de aplicarse en los procesos de negocio.
- Año sustitución: Se relaciona con el año de la fecha de fin de validez, esto nos será útil para los cálculos que realizaremos en este proyecto.
- Parque: En este ámbito aparece el nombre del parque donde está instalado cada equipo. En el caso que nos invade, los datos del parque son confidenciales y es por ello, que aparece parque A, parque B y así sucesivamente hasta la letra H.
- Descripción geográfica de planificación: Este campo corresponde a la comunidad autónoma en la que se encuentra cada parque, en este caso igual que en el apartado anterior nos encontramos con CCAA_1, hasta llegar a CCAA_5.
- Vida del equipo: Indica en años, el periodo en el que cada componente ha estado funcionando. Sale de dividir el resultado de la resta entre la fecha fin de validez y fecha validez entre los 365 que tiene un año.

Tabla 2: Ejemplo de la descarga de datos en SAP.

Equipo	Mate	Denominación	Ubicac.tér	Denominación2	Fabricante	Denomin.tipo	Número	Fe.puesta s	Válido de	Fin de vali	Año sus	Parque	Descr. GrF	vida equipo
39-----	36-----	PALA G47	A-----	Palas aero 001	FIBERBLADE-GAMESA	G23PRN	NSERIE 1	21/12/01	27/7/06	Actualidad		PARQUE A	CCAA_2	16,85
39-----	36-----	PALA G47	A-----	Palas aero 001	FIBERBLADE-GAMESA	G23PRN	NSERIE 2	21/12/01	27/7/06	Actualidad		PARQUE A	CCAA_2	16,85
39-----	36-----	PALA G47	A-----	Palas aero 001	FIBERBLADE-GAMESA	G23PRN	NSERIE 3	21/12/01	27/7/06	Actualidad		PARQUE A	CCAA_2	16,85
39-----	36-----	PALA G47	FO-----	Palas aero 001	FIBERBLADE-GAMESA	G23PRN	NSERIE 4	10/1/03	4/7/06	Actualidad		PARQUE B	CCAA_3	16,92
39-----	36-----	PALA G47	FO-----	Palas aero 001	FIBERBLADE-GAMESA	G23PRN	NSERIE 5	10/1/03	4/7/06	Actualidad		PARQUE B	CCAA_3	16,92
39-----	36-----	PALA G47	FO-----	Palas aero 001	FIBERBLADE-GAMESA	G23PRN	NSERIE 6	10/1/03	4/7/06	Actualidad		PARQUE B	CCAA_3	16,92
39-----	36-----	MULTIPL G42/G47	A-----	Multiplicadora aero 028	ECHESA	GE700-PL	NSERIE 7	3/5/06	27/7/06	Actualidad		PARQUE A	CCAA_2	16,85
39-----	36-----	MULTIPL G42/G47	A-----	Multiplicadora aero 028	LOHMANN	GPV 300 R3	NSERIE 8	28/12/01	28/12/01	3/5/06	2006	PARQUE A	CCAA_2	4,35
39-----	36-----	GENERADOR G42/C	A-----	Generador aero 001	INDAR	NCR-400-X/4	NSERIE 9	21/12/01	27/7/06	Actualidad		PARQUE A	CCAA_2	16,85
39-----	36-----	PALA G47	PO-----	Palas aero 001	FIBERBLADE-GAMESA	G23PRN	NSERIE 10	5/2/01	11/9/06	Actualidad		PARQUE C	CCAA_1	16,73
39-----	36-----	PALA G47	PO-----	Palas aero 001	FIBERBLADE-GAMESA	G23PRN	NSERIE 11	5/2/01	11/9/06	Actualidad		PARQUE C	CCAA_1	16,73
39-----	36-----	PALA G47	PO-----	Palas aero 001	FIBERBLADE-GAMESA	G23PRN	NSERIE 12	5/2/01	11/9/06	Actualidad		PARQUE C	CCAA_1	16,73
39-----	36-----	PALA G47	A-----	Palas aero 002	FIBERBLADE-GAMESA	G23PRC	NSERIE 13	22/8/14	20/5/16	Actualidad		PARQUE D	CCAA_3	7,03
39-----	36-----	PALA G47	A-----	Palas aero 002	FIBERBLADE-GAMESA	G23PRC	NSERIE 14	22/8/14	20/5/16	Actualidad		PARQUE E	CCAA_3	7,03
39-----	36-----	PALA G47	A-----	Palas aero 002	FIBERBLADE-GAMESA	G23PRC	NSERIE 15	22/8/14	20/5/16	Actualidad		PARQUE D	CCAA_3	7,03
39-----	36-----	MULTIPL G42/G47	A-----	Multiplicadora aero 029	METSO	PLH-310X1G.2	NSERIE 16	28/12/01	27/7/06	25/6/14	2014	PARQUE E	CCAA_4	7,917808219
39-----	36-----	MULTIPL G42/G47	A-----	Multiplicadora aero 029	ECHESA	GE700-PL	NSERIE 17	5/3/03	25/6/14	Actualidad		PARQUE A	CCAA_2	8,94
39-----	36-----	GENERADOR G42/C	FO-----	Generador aero 001	INDAR	NCR-400-X/4	NSERIE 18	10/8/00	4/7/06	8/3/07	2007	PARQUE B	CCAA_3	0,676712329
39-----	36-----	PALA G47	A-----	Palas aero 002	FIBERBLADE-GAMESA	G23PRN	NSERIE 19	21/12/01	27/7/06	20/5/16	2016	PARQUE A	CCAA_2	9,821917808
39-----	36-----	PALA G47	A-----	Palas aero 002	FIBERBLADE-GAMESA	G23PRN	NSERIE 20	21/12/01	27/7/06	20/5/16	2016	PARQUE E	CCAA_4	9,821917808
39-----	36-----	PALA G47	A-----	Palas aero 002	FIBERBLADE-GAMESA	G23PRN	NSERIE 21	21/12/01	27/7/06	20/5/16	2016	PARQUE E	CCAA_4	9,821917808
39-----	36-----	MULTIPL G42/G47	A-----	Multiplicadora aero 030	MOVENTAS	PLH-310X1G.2	NSERIE 22	28/12/01	27/7/06	18/6/08	2008	PARQUE E	CCAA_4	1,895890411
39-----	36-----	MULTIPL G42/G47	A-----	Multiplicadora aero 030	MOVENTAS	PLH-308X1G.3	NSERIE 23	18/6/08	18/6/08	10/2/12	2012	PARQUE A	CCAA_2	3,65
39-----	36-----	MULTIPL G42/G47	MU-----	Multiplicadora aero 02-IV	VALMET	PLH-310X1G	NSERIE 24	23/11/00	12/3/14	Actualidad		PARAQUE F	CCAA_5	9,22
39-----	36-----	GENERADOR G42/C	FO-----	Generador aero 001	INDAR	NCR-400-X/4	NSERIE 25	14/2/07	9/2/13	14/5/13	2013	PARQUE G	CCAA_2	0,257534247
39-----	36-----	PALA G47	FO-----	Palas aero 002	FIBERBLADE-GAMESA	G23PRC	NSERIE 26	10/8/00	4/7/06	20/11/14	2014	PARQUE B	CCAA_3	8,38630137
39-----	36-----	PALA G47	FO-----	Palas aero 002	FIBERBLADE-GAMESA	G23PRC	NSERIE 27	10/8/00	4/7/06	20/11/14	2014	PARQUE B	CCAA_3	8,38630137
39-----	36-----	PALA G47	FO-----	Palas aero 002	FIBERBLADE-GAMESA	G23PRC	NSERIE 28	10/8/00	4/7/06	20/11/14	2014	PARQUE B	CCAA_3	8,38630137
39-----	36-----	PALA G47	FO-----	Palas aero 002	FIBERBLADE-GAMESA	G23PRN	NSERIE 29	20/2/02	20/11/14	Actualidad		PARQUE B	CCAA_3	8,53
39-----	36-----	PALA G47	FO-----	Palas aero 002	FIBERBLADE-GAMESA	G23PRN	NSERIE 30	20/2/02	20/11/14	Actualidad		PARQUE B	CCAA_3	8,53
39-----	36-----	PALA G47	FO-----	Palas aero 002	FIBERBLADE-GAMESA	G23PRN	NSERIE 31	20/2/02	20/11/14	Actualidad		PARQUE B	CCAA_3	8,53
39-----	36-----	PALA G47	PO-----	Palas aero 002	FIBERBLADE-GAMESA	G23PRN	NSERIE 32	5/2/01	11/9/06	Actualidad		PARQUE H	CCAA_1	16,73
39-----	36-----	PALA G47	PO-----	Palas aero 002	FIBERBLADE-GAMESA	G23PRN	NSERIE 33	5/2/01	11/9/06	Actualidad		PARQUE H	CCAA_1	16,73
39-----	36-----	PALA G47	PO-----	Palas aero 002	FIBERBLADE-GAMESA	G23PRN	NSERIE 34	5/2/01	11/9/06	Actualidad		PARQUE H	CCAA_1	16,73
39-----	36-----	PALA G47	A-----	Palas aero 003	FIBERBLADE-GAMESA	G23PRN	NSERIE 35	28/12/01	27/7/06	Actualidad		PARQUE A	CCAA_2	16,85
39-----	36-----	MULTIPL G42/G47	A-----	Multiplicadora aero 031	METSO	PLH-310X1G	NSERIE 36	17/1/02	27/7/06	25/11/14	2014	PARQUE A	CCAA_2	8,34
39-----	36-----	MULTIPL G42/G47	A-----	Multiplicadora aero 031	METSO	PLH-310X1G	NSERIE 37	8/1/02	25/11/14	Actualidad		PARQUE A	CCAA_2	8,52
39-----	36-----	GENERADOR G42/C	FO-----	Generador aero 001	INDAR	NCR-400-X/4	NSERIE 38	8/3/07	8/3/07	9/2/13	2013	PARQUE B	CCAA_3	5,931506849
39-----	36-----	PALA G47	A-----	Palas aero 003	FIBERBLADE-GAMESA	G23PRN	NSERIE 39	28/12/01	27/7/06	Actualidad		PARQUE A	CCAA_2	16,85

4.2. ANÁLISIS DEL PROYECTO.

Con base en los datos iniciales, se realizó un análisis de la flota de componentes presente en los parques que se deben repotenciar y se han obtenido los siguientes resultados:

En la *Tabla 3* se muestra una visualización de los generadores correspondientes a los parques X e Y actualmente instalados.

Tabla 3:Tabla de los generadores por fabricante a repotenciar en los parques X e Y.

Denominación	GENERADOR G42/G47		
Fin de validez	Actualidad		
Suma de Unidades FABRICANTE	PARQUE PARQUE X	PARQUE Y	Total general
INDAR	24	26	50
Total general	24	26	50

Al igual que en la *Tabla 3*, en la *Tabla 4* se presenta una representación visual de la flota de transformadores.

Tabla 4:Tabla de los transformadores por fabricante a repotenciar en los parques X e Y.

Denominación	(Varios elementos)		
Fin de validez	Actualidad		
Suma de Unidades FABRICANTE	PARQUE PARQUE X	PARQUE Y	Total general
ABB		25	25
IMEFY	24	1	25
Total general	24	26	50

En la *Tabla 5* se muestra la flota de multiplicadoras, mientras que en la *Tabla 6* se supervisa la flota total de palas. Ambas tablas corresponden a los parques que requieren un proceso de repotenciación. Es importante destacar que cada aerogenerador de la tecnología estudiada

esta equipado con un total de tres palas, es por ello por lo que, el total de palas asciende a 150 unidades.

Tabla 5: Tabla de las multiplicadoras por fabricante a repotenciar en los parques X e Y.

Denominación	MULTIPL G42/G47		
Fin de validez	Actualidad		
Suma de Unidades FABRICANTE	PARQUE PARQUE X	PARQUE Y	Total general
ECHESA	5	2	7
FELLAR	5	1	6
FLENDER	1	1	2
GAMESA		1	1
HANSEN	5	4	9
LOHMANN	1	3	4
METSO	1	2	3
MOVENTAS	2	3	5
REXROTH	1		1
SANTASALO	1	2	3
VALMET	1	4	5
WINERGY	1	3	4
Total general	24	26	50

Tabla 6: Tabla de las palas por fabricante a repotenciar en los parques X e Y.

Denominación	PALA G47		
Fin de validez	Actualidad		
Suma de Unidades FABRICANTE	PARQUE PARQUE X	PARQUE Y	Total general
FIBERBLADE-GAMESA	72	78	150
Total general	72	78	150

A continuación, se presentan las figuras que contienen las tablas de la flota completa de generadores, transformadores, multiplicadoras y palas de forma simultanea. Estas tablas

muestran el número total de componentes clasificados por modelo y fabricante. A partir de esta información, podemos concluir que el número total de aerogeneradores actualmente en funcionamiento es de 407. Además, combinando esta información con las figuras anteriores, sabemos que, de esos 407 aerogeneradores, se tiene previsto realizar una repotenciación en 50 de ellos.

Es relevante resaltar la importancia de conocer la composición de la flota de cada modelo, ya que esto nos permitirá calcular una tasa de fallos específica para cada uno. Esta información será de gran utilidad a la hora de realizar futuras compras o tomar decisiones estratégicas. Al tener datos precisos sobre el rendimiento y la fiabilidad de cada modelo, se podrá tomar decisiones y maximizar la eficiencia de elecciones futuras.

Tabla 7: Tabla de los generadores actuales clasificados por fabricante y modelo.

Denominación	GENERADOR G42/G47
Fin de validez	Actualidad
INDAR	407
NCR-400-L/4	1
NCR-400-X/4	400
NCR-400-X/4R	5
NCR-450-X/4	1
Total general	407

Tabla 8: Tabla de los transformadores actuales clasificados por fabricante y modelo.

Denominación Fin de validez	(Varios elementos) Actualidad
ABB	146
POT775KVA	146
ALKARGO	12
POT775KVA	12
IMEFY	249
POT775KVA	212
POT800KVA	37
Total general	407

Tabla 9: Tabla de las palas actuales clasificadas por fabricante y modelo.

Denominación Fin de validez	PALA G47 Actualidad
FIBERBLADE-GAMESA	1219
G23PRN	540
G23PRC	328
G23PR	288
G23PG	22
G23PGN	13
G23PGC	16
Otro	12
VESTAS	2
G23PRN	2
Total general	1221

Tabla 10: Tabla de las multiplicadoras actuales clasificadas por fabricante y modelo.

Denominación	MULTIPL G42/G47
Fin de validez	Actualidad
Etiquetas de fila	Suma de Unidades
ECHESA	38
GE700-PL	38
FELLAR	40
TPH3-1080.XX	40
FLENDER	11
PEAB4285.XX	1
PEAS4285.XX	10
GAMESA	8
GE700-PL	8
HANSEN	67
EH55.XXX.XXX	4
EH552.XXX.XXX	63
LOHMANN	81
GPV300.XX	81
METSO	55
PLH-308.XX	16
PLH-309.XX	16
PLH-310.XX	21
PLH-312.XX	2
MOVENTAS	48
PLH-308.XX	8
PLH-309.XX	2
PLH-310.XX	17
PLH-312.XX	20
S3GHD-506.xx	1
REXROTH	3
GPV300.XX	3
SANTASALO	15
PLH-308.XX	2
PLH-310.XX	13
VALMET	25
PLH-308.XX	13
PLH-309.XX	4
PLH-310.XX	7
S3GHD-506.xx	1
WINERGY	16
PEAB4285.XX	13
PEAS4285.XX	3
Total general	407

A continuación, realizaremos un análisis de la tasa de fallos por sustitución en cada uno de los equipos, considerando el número total de componentes en funcionamiento. Como se mencionó anteriormente, se dispone de un total de 407 generadores, transformadores y multiplicadoras, así como 1.221 palas. Es importante destacar que la sustitución puede ser necesaria debido a fallos que requieren la instalación de nuevos componentes o a reparaciones en taller para solucionar problemas existentes.

En la última fila, se ha calculado un promedio de los datos de los últimos 4 años con el fin de obtener una aproximación de las tasas de fallos y los equipos que probablemente necesitarán ser sustituidos en los próximos años. Esta estimación nos proporciona una idea más precisa de los posibles fallos y las necesidades de reemplazo de equipos que podemos esperar en el futuro cercano.

Tabla 11: Tasa de fallo por componente.

Año	Generadores		Transformadores		Multiplicadoras		Palas	
	Sustituciones	%Flota sust	Sustituciones	%Flota sust	Sustituciones	%Flota sust	Sustituciones	%Flota sust
2018	12	2,95%	2	0,49%	19	4,67%	16	1,31%
2019	13	3,19%	2	0,49%	17	4,18%	13	1,06%
2020	16	3,93%	3	0,74%	15	3,69%	17	1,39%
2021	15	3,69%	2	0,49%	12	2,95%	21	1,72%
2022	18	4,42%	1	0,25%	11	2,70%	14	1,15%
2023-20XX	16	3,81%	2	0,49%	14	3,38%	17	1,33%

De manera similar a lo que observa en la *Tabla 11*, se ha llevado a cabo un estudio para evaluar los fallos que requieren el cambio por un nuevo suministro, y estos son los resultados encontrados:

Tabla 12: Tasa de fallo por nuevos suministros por componente.

Año	Generadores		Transformadores		Multiplicadoras		Palas	
	Nuevos suministros	%Flota N.Sum	Nuevos suministros	%Flota N.Sum	Nuevos suministros	%Flota N.Sum	Nuevos suministros	%Flota N.Sum
2018	1	0,25%	1	0,25%	7	1,72%	4	0,33%
2019	2	0,49%	1	0,25%	9	2,21%	5	0,41%
2020	1	0,25%	1	0,25%	6	1,47%	8	0,66%
2021	2	0,49%	1	0,25%	8	1,97%	5	0,41%
2022	1	0,25%	0	0,00%	6	1,47%	3	0,25%
2023-20XX	2	0,37%	1	0,18%	8	1,78%	6	0,43%

Con el fin de obtener un análisis más específico para evaluar la posterior economía circular, vamos a detallar cuantos equipos por modelo necesitan ser sustituidos y dentro de estos, los que deben ser equipados con un nuevo suministro en base a las últimas tablas. Es importante destacar que estos cálculos se han realizado utilizando todos los parques, excepto los dos que se someterán a repotenciación, con el objetivo de observar la evolución del resto de los parques.

Los cálculos que se presentan en las siguientes tablas se basan en un promedio de los últimos 4 años. Se ha tomado en cuenta este periodo de tiempo para asegurar una base de datos suficientemente representativa y precisa en los cálculos a realizar.

Tabla 13: Promedio anual de generadores sustituidos por modelo.

Denominación	GENERADOR G42/G47		
Parque	(Varios elementos)		
Suma de Unidades	Denominación Tipo		
Año sustitución	NCR-400-X/4	NCR-400-X/4R	
2019	13	0	
2020	16	0	
2021	14	1	
2022	18	0	
Promedio	16	1	

Tabla 14: Promedio anual de generadores sustituidos por nuevos suministros por modelo.

Denominación	GENERADOR G42/G47			
Fe.puesta serv.	(Todas)			
Parque	(Varios elementos)			
Suma de Unidades	Denominación Tipo			
Año	NCR-400-L/4	NCR-400-X/4	NCR-400-X/4R	
2019	1	1	1	
2020	0	1	0	
2021	0	0	2	
2022	0	1	1	
Promedio	1	1	1	

Tabla 15: Promedio anual de transformadores sustituidos por modelo.

Denominación	(Varios elementos)			
Parque	(Varios elementos)			
Suma de Unidades	Denominación tipo			
Año sustitución	DTE 630/24	DTE 775/24	TDR/800/24/20E	TSE 775/24
2019	0	1	1	1
2020	0	1	0	2
2021	0	2	0	0
2022	1	0	0	0
Promedio	1	1	1	1

Tabla 16: Promedio anual de transformadores sustituidos por nuevos suministros por modelo.

Denominación	(Varios elementos)
Parque	(Varios elementos)
Fe.puesta serv.	(Todas)
Suma de Unidades	Denominación Tipo
Año	DTE 775/24
2019	1
2020	1
2021	1
Promedio	1

Tabla 17: Promedio anual de multiplicadoras sustituidas por modelo.

Denominación (Varios elementos)													
Parque (Varios elementos)													
Suma de Unida Denominación Tipo													
Año sustituidor	EH55.XXX.XXX	EH552.XXX	GE700-PL	GPV300.XX	PEAB4285.XX	PEAS4285.XX	PLH-308.XX	PLH-309.XX	PLH-310.XX	PLH-312.XX	S3GHD-506.xx	TPH3-1080.XX	
2019	0	2	2	5	0	3	1	1	2	0	1	4	
2020	1	5	2	3	1	1	1	1	3	0	1	1	
2021	1	3	1	4	0	0	1	1	3	1	0	2	
2022	1	3	1	2	0	1	1	1	1	1	1	2	
Promedio	1	4	2	4	1	2	1	1	3	1	1	3	

Tabla 18: Promedio anual de multiplicadoras sustituidas por nuevos suministros por modelo.

Denominación (Varios elementos)											
Parque (Varios elementos)											
Fe. puesta serv. (Todas)											
Suma de Unidad Denominación Tipo											
Año	EH552.XXX.XXX	GE700-PL	GE850PL	GE850-PLS	GPV300.XX	PEAS4285.XX	PLH-308.XX	PLH-310.XX	PLH-312.XX	TPH3-1080.XX	
2019	3	1	0	1	1	1	0	1	5	0	
2020	1	1	0	0	1	0	0	1	4	1	
2021	1	3	0	0	0	0	2	1	2	1	
2022	1	5	1	0	0	1	0	1	0	0	
Promedio	2	3	1	1	1	1	1	1	3	1	

Tabla 19: Promedio anual de palas sustituidas por modelo.

Denominación	PALA G47					
Parque	(Varios elementos)					
Suma de Unidades	Denominación Tipo					
Año sustitución	G23PGN	G23PR	G23PRC	G23PRN	Otro	
2019		0	2	4	7	1
2020		0	6	2	10	0
2021		1	3	12	6	1
2022		0	2	4	8	0
Promedio		1	4	6	8	1

Tabla 20: Promedio anual de palas sustituidas por nuevos suministros por modelo.

Denominación	PALA G47					
Parque	(Varios elementos)					
Fe.puesta serv.	(Todas)					
Suma de Unidades	Denominación Tipo					
Año	G23PGC	G23PGN	G23PRC	G23PRN	Otro	
2019		0	0	0	5	1
2020		0	1	4	3	0
2021		1	0	0	4	0
2022		0	0	0	3	0
Promedio		1	1	1	4	1

Se ha preparado una figura resumen que presenta de manera concisa la información relevante de este proyecto. Cada año, se lleva a cabo la sustitución de aproximadamente 17 generadores, de los cuales 3 son suministros completamente nuevos. En cuanto a los transformadores, se reemplazan 4 unidades anualmente, siendo 1 de éstas una adquisición nueva. En lo que respecta a las multiplicadoras, se estima que se requerirá la compra de 13 unidades nuevas de las 24 que se van a sustituir cada año. Además, con relación a las palas, será necesario obtener 8 unidades nuevas de las 20 que se cambian anualmente.

Examinando la Tabla 21, podemos deducir que existen algunos equipos que, según el modelo, son compatibles entre sí. Esto se evidencia, por ejemplo, en el caso de los generadores modelo NCR-400-L/4, donde se observa un nuevo suministro, pero no una sustitución. Como todo nuevo suministro implica una sustitución, esta observación nos confirma que este modelo es compatible con otros modelos.

Es importante resaltar que el modelo TDR/775/24/20, entre otros, merece especial atención, ya que representa más del 50% de la flota actual de transformadores y no registra ningún fallo hasta el momento.

Tabla 21: Cuadro resumen de los equipos.

EQUIPO	FABRICANTE	MODELO	FLOTA (Uds.)	%FLOTA	SUSTITUCIONES (promedio anual últimos 4 años)	% FALLO/MODELO (últimos 4 años)	NUEVOS SUMINISTROS (promedio anual últimos 4 años)	%TASA FALLO (últimos 4 años)
GENERADORES	INDAR	NCR-400-L/4	1	0,25%	0	0%	1	3,81%
		NCR-400-X/4	400	98,28%	16	4%	1	
		NCR-400-X/4R	5	1,23%	1	20%	1	
		NCR-450-X/4	1	0,25%	0	0%	0	
TRANSFORMADOR	ABB	DTE630/24	0	0%	1	0%	0	0,49%
		DTE775/24	146	35,87%	1	0,68%	1	
	ALKARGO	TSE775/24	12	2,95%	1	8,33%	0	
	IMEFY	TDR/775/24/20	212	52,09%	0	0%	0	
		TDR/800/24/20E	37	9,09%	1	2,7%	0	
MULTIPLICADORAS	ECHESA/GAMESA	GE700-PL	46	11,30%	2	4,35%	3	3,38%
	FELLAR	TPH3-1080.XX	40	9,83%	3	7,5%	1	
	WINERGY/FLENDER	PEAS 4285.X	13	3,19%	2	15,38%	1	
		PEAB 4285.X	14	3,44%	1	7,14%	0	
	HANSEN	EH55.XXX.XX X	4	0,98%	1	25%	0	
		EH552.XXX.X XX	63	15,48%	4	6,35%	2	
	LOHMANN/REXROTH	GPV300.XX	84	20,64%	4	4,76%	1	
	METSO/MOVENTAS/ SANTASALO/VALMET	PLH-308.XX	39	9,58%	1	2,56%	1	
		PLH-309.XX	22	5,41%	1	4,55%	0	
		PLH-310.XX	58	14,25%	3	5,17%	1	
PLH-312.XX		22	5,41%	1	4,55%	3		
S3GHD-506.XX		2	0,49%	1	50%	0		
PALAS	VESTAS/GAMESA	G23PG	22	1,80%	0	0%	0	1,33%
		G23PR	288	23,59%	4	1,39%	0	
		G23PGN	13	1,06%	1	7,69%	1	
		G23PGC	16	1,31%	0	0%	1	
		G23PRN	542	44,39%	8	1,48%	4	
		G23PRC	328	26,86%	6	1,83%	1	
		Otros	12	0,98%	1	8,33%	1	

A continuación, procederemos a analizar detalladamente como podemos optimizar individualmente cada uno de los componentes obtenidos después de la repotenciación de los parques X e Y. Tomaremos en cuenta las necesidades futuras basadas en los datos recién obtenidos.

4.3. REDUCCIÓN.

En el presente TFG el enfoque estará en las tres “R” de la economía circular: Reducir, Reutilizar y Reciclar.

En términos de reducción, exploraremos la posibilidad de utilizar equipos de los parques eólicos objeto de repotenciación, evitando así compras y reparaciones innecesarias. Para esta primera R, se han identificado tres criterios fundamentales: la vida útil de los equipos, los costes relacionado con su reemplazo y la maximización de aprovechamiento de los aerogeneradores al obtener los componentes necesarios.

En primer lugar, es fundamental conocer la vida de los equipos de los parques que serán repotenciados, así como la vida útil de los componentes en los demás parques. A través de la *Ilustración 13* e *Ilustración 14*, podemos observar lo siguiente:

- Los generadores de los equipos en los parques a repotenciar tienen una vida media de 13,5 años, mientras que en los demás parques la duración promedio es de 12,5 años.
- En los transformadores tienen una vida útil de 15 años en los parques que serán repotenciados, en comparación con los 14,5 años en los demás parques.
- Las multiplicadoras tienen una vida media en torno a los 11 años en todos los parques.
- En el caso de las palas, la vida útil promedio es de aproximadamente 13 años en todos los parques.

Ilustración 13: Vida media equipos sustituidos desde 2019.

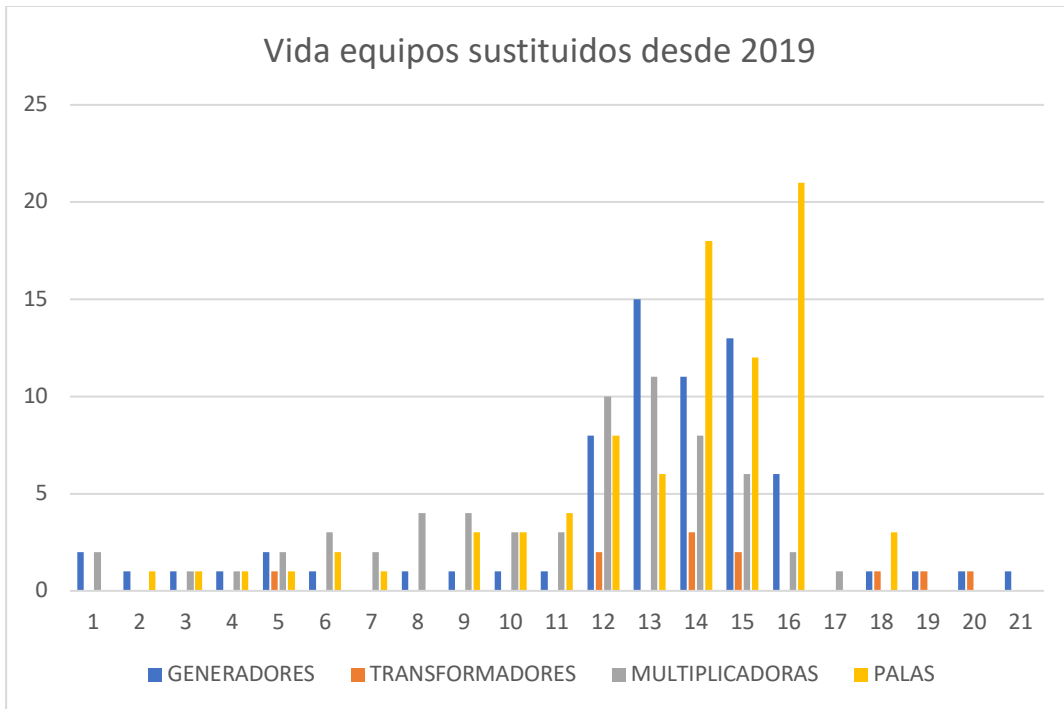
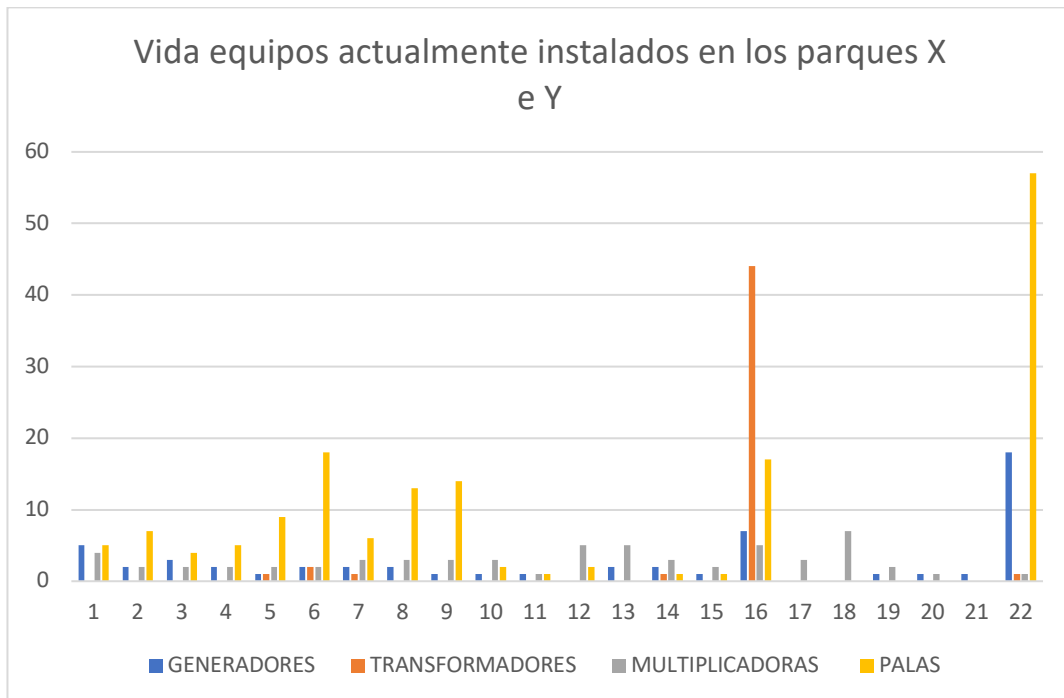


Ilustración 14: Vida media equipos en los parques a repotenciar.



Es fundamental destacar, en el contexto de la repotenciación de parques eólicos que la vida útil de los equipos sometidos a esta intervención puede superar incluso la duración estimada para otros parques en funcionamiento. Esta consideración adquiere una relevancia significativa al analizar la siguiente situación:

Con el propósito de satisfacer de manera eficiente y confiable las necesidades de reparación y adquisición del próximo año, se ha establecido como criterio primordial conservar exclusivamente aquellos equipos que posean una antigüedad de 6 años o menos.

Es esencial señalar que, ante la alta vida media de los componentes observada en las graficas anteriores, sería arriesgado seleccionar los componentes al azar. Por ello se ha priorizado la conservación de aquellos equipos con menor antigüedad para garantizar su desempeño confiable y evitar gastos innecesarios en reparaciones o reemplazos prematuros.

Siguiendo este criterio y aplicándolo en la evaluación exhaustiva de los diferentes componentes del parque, se obtienen los siguientes resultados: se identifican 15 generadores, 3 transformadores, 14 multiplicadoras y 48 palas que cumplen con el requisito de tener una antigüedad menor a 6 años. Es importante destacar que todos estos valores se encuentran por debajo de la cantidad de reemplazo necesarios en cada componente excepto las palas. De las 48 palas que cumplen con la condición, se planifica sustituir únicamente 20 de ellas. Esta selección se realizará siguiendo un criterio específico, buscando aprovechar al máximo el desmontaje de un mismo aerogenerador a fin de obtener la mayor cantidad posible de componentes.

Se ha obtenido la siguiente tabla resumen:

Tabla 22: Tabla resumen costes y ahorro por escenario.

	GENERADORES	TRANSFORMADORES	MULTIPLICADORAS	PALAS	
SUST TOTAL ANUAL	17	4	24	20	
EQUIPOS CON VIDA < 6 AÑOS	15	3	14	48	
REPARACIONES ANUAL	14	3	11	12	
N.SUM ANUAL	3	1	13	8	
COSTE REPARACION	4.062,5 €	14.375 €	9.062,5 €	1.875 €	
COSTE N.SUM	13.437,5 €	26.062,5 €	30.000 €	6.187,5 €	
COSTE ALMACÉN	312,5 €	562,5 €	250 €	300 €	
COSTE PAP	2.187,5 €	6.250 €	1.562,5 €	937,5 €	
COSTE SIN REPOT	97.187,5 €	69.187,5 €	489.687,5 €	72.000,0 €	
ESCENARIO 1	AHORRO E1	70.312,5 €	43.125,0 €	189.687,5 €	72.000,0 €
	COSTE E1	64.375 €	46.500 €	325.375,0 €	24.750 €
	%AHORRO E1	8,44%	-7,83%	-71,53%	65,6%
ESCENARIO 2	AHORRO E2	89.062,5 €	54.812,5 €	399.063 €	72.000 €
	COSTE E2	45.625 €	34.812,5 €	116.000 €	24.750 €
	%AHORRO E2	48,8%	36,5%	70,9%	65,6%

Con relación a la tabla presentada, se han considerado diferentes aspectos para cada componente, tales como el coste estimado de reparación, el coste de adquisición de nuevos suministros, así como los costes anuales de almacenamiento y puesta a punto de los equipos. Cabe destacar que se ha asumido que el coste de desmontaje de todos los aerogeneradores es un coste hundido. En este contexto el coste de desmontaje se considera hundido debido a que se trata de un gasto inevitable que se deberá asumir en cualquier caso, sin importar las decisiones futuras que se tomen.

Después de realizar un análisis de los costes y ahorros asociados a los dos escenarios estudiados, es evidente que la opción más favorable para el proyecto es el escenario 2. En este escenario se aprovecharían los equipos de los parques repotenciados para cubrir nuevas demandas, evitando así la necesidad de adquirir nuevos suministros el próximo año.

Bajo el escenario 1, se estableció que los equipos con menos de 6 años de vida cubrirían el 100% de las reparaciones del próximo año. Si quedaran equipos disponibles después de cubrir las reparaciones, se utilizarían para evitar la adquisición de nuevos suministros. Aunque en algunos componentes este enfoque genere ciertos ahorros, los beneficios no serían tan significativos como en el escenario 2.

En el escenario 2, el aprovechamiento de los equipos existentes resultaría en una notable reducción de costes al no tener que comprar nuevos equipos el próximo año. Además, si aún se dispusiera de equipos adicionales después de cubrir las demandas de suministro, esto se

traduciría en ahorros adicionales en futuras reparaciones. En resumen, este escenario ofrece un porcentaje de ahorro en cada uno de los componentes evaluados.

Considerando la información presentada en la tabla comparativa, es claro que la opción más rentable y beneficiosa para el proyecto es el escenario 2. Al evitar la compra de nuevos suministros lograremos maximizar los ahorros y optimizar los recursos disponibles. Esta elección estratégica permitirá alcanzar los objetivos de manera eficiente y económica, asegurando el éxito de este proyecto a largo plazo.

Relativo al tercer criterio, resultaría adecuado maximizar la utilización de componentes de un mismo aerogenerador, para hacer un aprovechamiento y no tener que desmontarlos todos. Por esta razón, que observando los aerogeneradores con menos de 6 años y funcionando en la actualidad tenemos ejemplos como el de la siguiente tabla:

Tabla 23: Aprovechamiento de desmontaje de aerogeneradores

Denominación	Denominación2	Fabricante	Denomin.tipo	Fin de validez	Parque
GENERADOR G42/G47	Generador aero 10-MII	INDAR	NCR-400-X/4	Actualidad	PARQUEX
PALA G47	Palas aero 10-MII	FIBERBLADE-GAMESA	G23PRN	Actualidad	PARQUEX
PALA G47	Palas aero 10-MII	FIBERBLADE-GAMESA	G23PRN	Actualidad	PARQUEX
PALA G47	Palas aero 10-MII	FIBERBLADE-GAMESA	G23PRN	Actualidad	PARQUEX
MULTIPL G42/G47	Multiplicadora aero 10-MII	FELLAR	TPH3-1080.X	Actualidad	PARQUEX

La tabla revela que el aerogenerador 10-MII ofrece la posibilidad de aprovechar hasta 3 componentes, lo que representa una ventaja considerable en términos de desmontaje eficiente y la reducción del número de aerogeneradores involucrados en este proceso. No obstante, este ejemplo se extiende a otros aerogeneradores como los números 27-MI, 26-MII, 10-MI, 10-MII o 07, entre otros. Esto demuestra aún más la viabilidad y efectividad de esta estrategia de optimización en la gestión de las turbinas.

4.4. REUTILIZACIÓN.

Dentro del contexto de la economía circular, la reutilización de productos ocupa un lugar destacado. Una de las formas más comunes de implementar esta estrategia es a través del mercado de segunda mano.

El mercado de segunda mano está experimentando un aumento significativo en España, ya que los usuarios están adoptando una mentalidad más sostenible al darle otra oportunidad a los artículos existentes. Esta tendencia promueve un consumo responsable con el medio ambiente (Europapress, 2022).

Este crecimiento refleja la creciente conciencia sobre la importancia de reutilizar y reciclar productos en lugar de desecharlos. Los consumidores están optando por comprar artículos de segunda mano como una alternativa económica y ecológica.

Comprar productos usados no solo tiene beneficios económicos y ecológicos, sino que también ofrece la oportunidad de encontrar artículos de calidad a precios asequibles.

En el contexto de este proyecto, se va a realizar un análisis de la venta de equipos en el mercado de segunda mano. Se ha establecido que los equipos con una vida media entre 7 y 16 años serán considerados para su comercialización en este mercado. Sin embargo, es importante destacar que esta estrategia no se limitará únicamente a las palas que cumplen con este rango de vida útil.

Además de las palas que se encuentren dentro de la franja de 7 a 16 años, también se contemplará la inclusión de palas con una vida útil comprendida entre 1 y 6 años. Estas palas, aunque no sean necesarias para las sustituciones anuales, representan una oportunidad valiosa para su venta en el mercado de segunda mano.

La decisión de ampliar el rango de la vida útil para incluir palas de menos vida útil se basa en maximizar el potencial de reutilización y extender la vida útil de los recursos. Al permitir la venta de palas con menos de 7 años de vida, se brinda a los compradores la posibilidad de adquirir equipos en excelentes condiciones y a un coste más accesible en comparación con las palas nuevas.

Además, al incluir estos equipos en el mercado de segunda mano, se crea una oportunidad para extender la demanda de aquellos proyectos de menor escala o con restricciones presupuestarias. Esto amplía el alcance y la viabilidad de la comercialización de equipos usados, al tiempo que se impulsa el desarrollo de la industria eólica y fomenta un enfoque más sostenible en el sector.

Es importante considerar que los equipos repotenciados necesitarán ser almacenados hasta que sean vendidos. Dado que no se puede garantizar el tiempo que permanecerán en el almacén, estimamos que la duración promedio será de aproximadamente 6 meses para calcular los costes asociados al almacenamiento.

Es importante realizar un análisis detallado y preciso de los costes de almacenamiento para evaluar adecuadamente la viabilidad económica de la estrategia de reutilización en el proyecto.

La reutilización de equipos proporciona una serie de beneficios significativos, los cuales incluyen lo siguiente:

Tabla 24: Tabla beneficios mercado de segunda mano.

	2º MANO				
	GENERADORES	TRANSFORMADORES	MULTIPLICADORAS	PALAS	
Equipos con vida útil entre 7 y 16 años	18	46	25	57	
Equipos con vida útil < 7 años	0	0	0	28	
Precio 2º mano	9.375 €	7.812,5 €	4.687,5 €	15.625 €	
Beneficio	168.750 €	359.375,0 €	117.188 €	1.328.125 €	
Precio almacenamiento (6 meses)	500 €	900 €	400 €	480 €	
Coste almacén	9.000 €	41.400 €	10.000 €	40.800 €	
Beneficio total	159.750 €	317.975,0 €	107.188 €	1.287.325 €	1.872.237,50 €

La información presentada en la tabla muestra que el coste de almacenamiento durante un periodo de 6 meses es significativamente menor en comparación con los beneficios obtenidos en el mercado de segunda mano. Estos resultados demuestran claramente la alta rentabilidad de invertir en almacenamiento, ya que los ingresos generados por la posterior venta de los productos superan ampliamente los costes asociados al resguardo de los componentes a largo plazo. Esto destaca la importancia de adoptar estrategias de economía circular en la repotenciación de parques donde la optimización de los recursos y la maximización de los beneficios se vuelven fundamentales.

4.5. RECICLAJE.

Dentro del marco de la economía circular, otra de las “R” importantes es el reciclaje. El reciclaje es una estrategia fundamental que busca recuperar los materiales y componentes de los productos al final de su vida útil para ser utilizados nuevamente en la fabricación de nuevos productos. En el contexto de este proyecto, la chatarra se va a relacionar directamente con esta “R”.

La chatarra se refiere a los residuos o desechos que se generan durante el proceso de reciclaje. Estos residuos pueden incluir materiales que han sido separados y clasificados para su posterior procesamiento y transformación en materias primas secundarias.

El reciclaje de la chatarra tiene múltiples beneficios. En primer lugar, reduce la demanda de recursos materiales naturales al aprovechar los materiales existentes y reduce la huella ambiental asociada con la extracción y producción de materias primas.

Además, el reciclaje de la chatarra contribuye a la reducción de residuos, evitando que estos terminen en vertederos o sean incinerados, asimismo disminuye la contaminación del suelo, el agua y el aire. Al reciclar la chatarra, se evita la necesidad de fabricar productos completamente nuevos, lo que a su vez reduce las emisiones de gases de efecto invernadero y el consumo de energía asociado a la producción industrial.

Este ciclo cerrado permite que los materiales sean utilizados de manera continua y sostenible, promoviendo así la economía circular y la reducción del impacto ambiental.

En el caso que nos ocupa, las palas representan un coste de achatarramiento significativo, de 8.000€ por rotor, a diferencia de los demás equipos. Esto se debe a dos factores principales: la exposición exterior de las palas y su gran tamaño.

En contraste, los demás equipos de gran tamaño no implican un coste de achatarramiento significativo, por lo que lo consideraremos despreciable. De hecho, es posible que se considere un beneficio económico en función del precio y el peso de los materiales que componen estos componentes. Puede existir la oportunidad de obtener ingresos al vender o reciclar estos materiales, lo que reduce el coste de su eliminación y potencialmente genera un retorno financiero.

Con respecto a los materiales, en esta situación vamos a tener en cuenta, que las multiplicadoras de los aerogeneradores están fabricadas completamente de acero, mientras que los generadores y transformadores están compuestos cobre y chapa magnética.

Las multiplicadoras, que son componentes cruciales en la transmisión de la energía generada por las palas del aerogenerador, se fabrican con acero debido a sus propiedades de resistencia y durabilidad. El acero proporciona la fuerza necesaria para soportar las cargas y tensiones durante el funcionamiento del aerogenerador.

En cuanto a los generadores y transformadores, se utilizan diferentes materiales para maximizar la eficiencia y el rendimiento de los aerogeneradores, así como garantizar una transmisión de energía eficiente y confiable.

El cobre es un excelente conductor eléctrico y se utiliza en aplicaciones donde se requiere una mayor conductividad. Debido a sus propiedades conductoras superiores, el cobre se utiliza en una proporción del 80% en los generadores, en contraste en los transformadores la parte de este material es el 30% aproximadamente de su peso.

Además, los transformadores y generadores utilizan chapa magnética, que generalmente está hecha con acero laminado de silicio. La chapa magnética se utiliza en los núcleos para mejorar la eficiencia energética y reducir las pérdidas. En los transformadores, la proporción de chapa magnética es del 70%, mientras que en los generadores es del 20%.

En el caso que nos invade consideramos que los datos de desguace se refieren a los componentes con una vida útil superior a 16 años. Por lo tanto, se estima un total de 17 generadores, 1 transformador, 11 multiplicadoras y 45 palas. En la tabla se presentan los pesos aproximados por componentes que representarían un beneficio, así como el precio por kilogramo de material a reciclar. A continuación, analizaremos la tabla que muestra el coste y el peso de cada componente, así como el ahorro obtenido en comparación con el coste de desguace de las palas.

Tabla 25: Tabla de beneficios por el reciclaje de los componentes.

CHATARRA				
	GENERADORES	TRANSFORMADORES	MULTIPLICADORAS	PALAS
UNIDADES A CHATARRA	17	1	11	45
Nº ROTORES				15
COSTE				120.000 €
PESO (Kg)	4.800	3.000	4.500	
Kg TOTAL	81.600	3.000	49.500	
Kg CHAPA	16.320	2.100	-	
Kg COBRE	65.280	900	-	
Kg ACERO	-	-	49.500	
4€/Kg COBRE	261.120 €	3.600 €		
3,25€/Kg CHAPA	53.040 €	6.825 €		
1,2€/Kg ACERO			59.400 €	
BENEFICIO	314.160 €	10.425 €	59.400 €	- 120.000 €
				263.985 €

Llegamos a la conclusión de que, a pesar del coste que representarían las palas, el beneficio obtenido por la recuperación de materiales del resto de componentes compensa esa inversión y resulta en un balance positivo.

Es importante destacar que existe una consideración especial en torno a las palas de los aerogeneradores debido a la dificultad de reciclar estos componentes fabricados con materiales compuestos como las fibras de carbono, resinas o polímeros. Sin embargo, a medida que avanza la tecnología se están llevando a cabo investigaciones y soluciones para abordar esta cuestión y determinar como tratar adecuadamente estos materiales.

En países como Países Bajos y Portugal se están desarrollando y promoviendo diversas iniciativas innovadoras y sostenibles para reutilizar las palas de aerogeneradores en proyectos creativos y funcionales. Estas iniciativas demuestran un enfoque pionero en la gestión de residuos y la economía circular al aprovechar las características únicas de las palas, como su resistencia y ligereza, para darles una segunda vida en entornos urbanos y en diversas aplicaciones.

Una de estas aplicaciones destacadas es la utilización de palas de aerogeneradores en la construcción de parques infantiles. Gracias a su diseño aerodinámico y a su resistencia, las palas se convierten en estructuras ideales para la creación de elementos de juego en un entorno sostenible.

Ilustración 15: Parque infantil de palas de aerogeneradores en Países Bajos (Barrán Guerra, 2022).



Otra aplicación interesante es la integración de las palas en la construcción de paradas de autobús. Estas palas una vez desmontadas pueden ser utilizadas como componentes estructurales brindando protección y comodidad a los usuarios. Su resistencia ante las condiciones climáticas adversas y su capacidad para soportar cargas hacen de las palas un material ideal para este propósito. Además, al utilizar palas recicladas, se reduce la dependencia de materiales nuevos y se contribuye a la reducción de residuos en el sector de la construcción.

Además de los parques infantiles y las paradas de autobús, las palas recicladas también pueden ser empleadas en proyectos arquitectónicos más amplios. Su forma y diseño brindan oportunidades creativas para su integración en obras de artes, esculturas, mobiliario urbano como bancos y mesas, e incluso la creación de lámparas y luminarias. Estas aplicaciones demuestran la versatilidad de las palas de aerogeneradores recicladas y como pueden ser transformadas en elementos arquitectónicos estéticamente atractivos y funcionales.

Ilustración 16: Parada de autobús de palas de aerogeneradores (Barrán Guerra, 2022).



Estas iniciativas en Países Bajos, Portugal y otros lugares son ejemplos de como la reutilización de palas contribuye a la economía circular y a la reducción de residuos en el sector de la energía renovable. Al dar una segunda vida a las palas, se evita su disposición en vertederos y se maximiza su valor como recurso aprovechable. Además, se fomenta la conciencia ambiental y se promueve un enfoque sostenible en el diseño y la construcción de proyectos urbanos.

4.6. AHORRO DEBIDO A LA ECONOMÍA CIRCULAR.

Se ha realizado un análisis para evaluar la viabilidad económica de invertir en la adquisición de los componentes objeto de estudio, sin tener en cuenta los gastos adicionales asociados a su preparación y tratamiento antes de su instalación. Es importante destacar que este análisis se centra únicamente en la recuperación económica y no considera otros aspectos como los costes ambientales y sociales.

El resultado de este análisis es sorprendente, ya que muestra una recuperación total e incluso una posible compensación económica al aplicar las estrategias de las tres “R” a los aerogeneradores objeto de estudio. Esto subraya la importancia de implementar prácticas sostenibles en la gestión de los componentes de los aerogeneradores, no solo para maximizar la eficiencia económica, sino también para reducir el impacto ambiental asociado a la industria eólica.

Se ha realizado una estimación de la inversión inicial requerida para la compra de los componentes, la cual asciende a 4.403.125€, considerando los precios de suministro por componente que se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 26: Coste inversión inicial.

	TOTAL COMPONENTES	PRECIO NUEVO SUMINISTRO	INVERSION INICIAL DE COMPRA
GENERADORES	50	13.437,5 €	671.875 €
TRANSFORMADORES	50	26.062,5 €	1.303.125 €
MULTIPLICADORAS	50	30.000 €	1.500.000 €
PALAS	150	6.187,5 €	928.125 €
			4.403.125 €

A continuación, examinaremos el coste de compra inicial y los beneficios obtenidos en los diferentes aspectos de reducción, reutilización y reciclaje.

Tabla 27: Ahorros por las estrategias de las tres "R" vs inversión inicial.

INVERSIÓN INICIAL	4.403.125 €
AHORRO POR REPARACIÓN	2.476.231,1 €
AHORRO POR REUTILIZACIÓN	1.872.237,50 €
AHORRO POR RECICLAJE	263.985,00 €

Tras un análisis detallado, se ha podido constatar que los ahorros generados son de gran relevancia. En realidad, son tan significativos que, al sumarlos, su valor supera incluso la inversión inicial realizada. Esto demuestra el impacto positivo de las acciones de reducción, reutilización y reciclaje en términos económicos. No solo se logra recuperar la inversión inicial, sino que también se obtiene beneficios adicionales que contribuyen a mejorar su rentabilidad y viabilidad de la iniciativa en su conjunto.

4.7. EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL COSTE DE REALIZACIÓN DEL TRABAJO EN COLABORACIÓN CON LA EMPRESA.

Se ha realizado un análisis aproximado para determinar el coste aproximado del trabajo llevado a cabo durante el periodo de prácticas, considerando que dicha labor se desarrolló de manera independiente. Para calcular este coste, se ha tomado en cuenta el salario medio de un ingeniero recién graduado, el cual se estima en 55€ por hora. Mediante una meticulosa estimación del tiempo dedicado a cada etapa del proyecto, se ha obtenido un cálculo preciso del coste total involucrado.

Al obtener este coste aproximado, se obtiene una visión realista del valor económico asociado al trabajo realizado, proporcionando una perspectiva valiosa para evaluar el impacto financiero y la inversión de recursos necesarios para llevar a cabo un proyecto similar en un contexto profesional.

Cabe destacar que este calculo se basa en estimaciones aproximadas, y es importante tener en cuenta que los salarios y costes pueden variar según la ubicación, la experiencia y otros factores relevantes.

Tabla 28: Cálculo del salario aproximado.

Tarea	Horas	Coste
Recopilación de la información	65	3.575 €
Análisis de la información	28	1.540 €
Cálculos	125	6.875 €
Análisis de escenarios	70	3.850 €
Emisión del informe	30	1.650 €
Total	318	17.490 €

El salario por el trabajo realizado asciende a 17.490€ como refleja la tabla. Este calculo se ha realizado considerando diversos factores como el tiempo invertido, la complejidad de las tareas y el nivel de responsabilidad asumido durante el desarrollo del proyecto.

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES.

La energía eólica, como forma de energía renovable, ha demostrado ser una solución prometedora para abordar los desafíos energéticos y ambientales de la actualidad. Se puede concluir que la energía eólica ofrece numerosos beneficios.

En primer lugar, la energía eólica es una forma limpia y respetuosa con el medio ambiente de generar electricidad. Ésta contribuye a reducir la dependencia de los combustibles fósiles y mitigar el calentamiento global, ya que aprovecha la energía cinética del viento sin emitir contaminantes perjudiciales para la calidad del aire.

Además, la energía eólica es una fuente abundante y ampliamente disponible en muchas regiones del mundo. El viento es un recurso natural renovable y gratuito, lo que implica un suministro constante y predecible. Su aprovechamiento puede fortalecer la seguridad energética de los países.

Otro aspecto positivo es que la energía eólica impulsa la actividad económica, fomenta la innovación tecnológica y crea oportunidades de empleo. Igualmente, la energía eólica se puede combinar con prácticas de desarrollo sostenible, como la protección de la biodiversidad y la promoción de la participación comunitaria, lo que contribuye al desarrollo sostenible en las zonas donde se implementa.

El progreso de la energía eólica ha dado lugar a la repotenciación de parques eólicos. Esto se ha convertido en una estrategia fundamental para maximizar la eficiencia y el rendimiento de las instalaciones existentes.

De los numerosos beneficios que ofrece la repotenciación, aprovechar la infraestructura existente en lugar de construir nuevos parques eólicos es uno de ellos. Esto reduce la necesidad de ocupar nuevas áreas de terreno y minimiza el impacto ambiental asociado a la construcción.

Añadido a eso, la repotenciación aumenta la capacidad y la producción de energía de los parques eólicos. Mediante la sustitución de aerogeneradores antiguos por modelos más eficientes, se logra un mayor rendimiento energético. Esto contribuye a mejorar la rentabilidad de los proyectos y a aumentar la contribución de la energía eólica en la generación de electricidad.

El impacto económico y social forma parte también de los beneficios. La repotenciación permite prolongar la vida útil de los parques eólicos, lo que implica un mayor retorno de la inversión, sin olvidar la generación de empleo y el desarrollo de la cadena de suministro en la industria eólica.

Una táctica para enlazar la repotenciación de parques eólicos hacia un sistema económico sostenible y eficiente en el uso de los recursos, son las tres “R” de la economía circular. Este enfoque ofrece una estrategia integral para abordar los desafíos ambientales y económicos asociados al modelo de producción y consumo.

La reducción es la clave para minimizar los recursos utilizados y los residuos generados. Esto implica adoptar prácticas y políticas que promuevan el uso de los recursos ya existentes. Al reducir los recursos consumidos se disminuye el impacto ambiental y se conservan los recursos naturales.

La reutilización se refiere a la prolongación del ciclo de vida de los productos. Esto envuelve el intercambio de productos, la redistribución o el alquiler fomentando así la rebaja de producción de nuevos objetos y disminuyendo la generación de residuos.

Por último, el reciclaje evita que los materiales se conviertan en residuos y se reincorporen al ciclo productivo. Esto ayuda a reducir la extracción de materias primas y disminuir la energía y contaminación asociadas al proceso de producción de nuevos materiales.

En conclusión, este proyecto ha abordado la temática de la repotenciación de parques eólicos y su relación con la economía circular a través de la regla de las tres “R”. Para brindar una visión clara de cómo se implementará la economía circular, se presenta a continuación una tabla resumen que muestra las acciones planificadas para cada uno de los equipos involucrados:

Tabla 29: Resumen de la distribución de equipos según las tres "R" de la economía circular en el proyecto de repotenciación de parques eólicos

	REDUCCIÓN	REUTILIZACIÓN	RECICLJE
GENERADORES	15	18	17
TRANSFORMADORES	3	46	1
MULTIPLICADORAS	14	25	11
PALAS	20	85	45

Se ha demostrado que la repotenciación de instalaciones eólicas existentes, junto con la gestión adecuada de los residuos generados, ofrece numerosos beneficios económicos, ambientales y energéticos.

La repotenciación de parques permite maximizar la generación de energía renovable al mejorar la capacidad y eficiencia de los aerogeneradores. Además, la aplicación de principios de economía circular en el sector eólicos permite abordar el desafío de la gestión adecuada de los residuos de aerogeneradores desmantelados. Mediante la reducción, el reciclaje y la reutilización de los materiales se reduce la dependencia de recursos materiales, se disminuyen los impactos ambientales asociados a la extracción y fabricación de nuevos materiales y se evita la acumulación de residuos en vertederos.

BIBLIOGRAFÍA.

ABB. (s.f.). Cuaderno N12 Plantas eolicas. Obtenido de https://poliformat.upv.es/access/content/group/GRA_11427_2022/Parte%201.%20Fuentes%20de%20Energ%C3%ADa/4_TEMA-4/Material%20Teor%C3%ADa/LIBRO-EOLICA-ABB.pdf

Adán, J. C., & Martín, Y. D. (Septiembre de 2005). Universidad Santiago de Compostela. Recuperado el abril de 2023, de https://www.usc.es/estaticos/congresos/histec05/b21_garcia_diego.pdf

AEE. (diciembre de 2022). Recuperado el abril de 2023, de <https://aeeolica.org/la-eolica-mejora-todos-los-indicadores-macroeconomicos-e-incrementa-su-aportacion-anual-a-la-economia-espanola/>

AEE. (septiembre de 2022). Recuperado el abril de 2023, de <https://aeeolica.org/para-alcanzar-en-espana-los-nuevos-objetivos-de-renovables-de-la-ue-para-2030-el-sector-eolico-sugiere-aumentar-el-objetivo-nacional-del-pniec-en-13-gw-adicionales/>

AEE. (10 de marzo de 2023). Recuperado el abril de 2023, de Spanish Wind Energy Association: [https://aeeolica.org/la-eolica-instala-1-670-mw-en-2022-a-punto-de-alcanzar-el-hito-de-los-30-gw-eolicos/#:~:text=La%20potencia%20eólica%20instalada%20en,Energ%C3%ADa%20y%20Clima%20\(PNIEC\).](https://aeeolica.org/la-eolica-instala-1-670-mw-en-2022-a-punto-de-alcanzar-el-hito-de-los-30-gw-eolicos/#:~:text=La%20potencia%20eólica%20instalada%20en,Energ%C3%ADa%20y%20Clima%20(PNIEC).)

Asociacion Empresarial Eolica. (s.f.). Recuperado el abril de 2023, de Fomento de la repotenciacion de los parques eolicos: <https://www.aeeolica.org/images/Posicionamientos/2019-AEE-Impulso-Repotenciacion-de-parques-eolicos.pdf>

Balbás García, F. J. (s.f.). Recuperado el mayo de 2023, de Universidad de Cantabria: https://www.aeeolica.org/images/WebinarsEolicos/Repotenciacion_AEE_Junio_2020.pdf

Barrán Guerra, S. (23 de marzo de 2022). Brightvibes. Recuperado el mayo de 2023, de <https://www.brightvibes.com/es/blade-made-convierte-las-aspas-desechadas-de-los-aerogeneradores-en-parques-y-mobiliario-urbano/>

Barrero, A. (marzo de 2023). Renewable Energy Magazine. Recuperado el mayo de 2023, de <https://www.energias-renovables.com/eolica/395-aerogeneradores-en-365-dias-20230310>

eadic. (29 de agosto de 2019). Recuperado el mayo de 2023, de <https://eadic.com/blog/entrada/repotenciacion-una-segunda-oportunidad-para-el-recurso-eolico/>

Eliovertical. (28 de agosto de 2019). Recuperado el abril de 2023, de <http://www.eolivertical.es/2019/08/28/eolica-onshore-vs-offshore/>

Europapress. (octubre de 2022). Recuperado el mayo de 2023, de <https://www.europapress.es/economia/noticia-mercado-segunda-mano-crece-espana-ofreciendo-opcion-consumo-mas-sostenible-20221025164112.html>

Fariza, I. (23 de marzo de 2023). Recuperado el abril de 2023, de El País: <https://elpais.com/economia/2023-03-23/espana-alcanzara-este-ano-el-50-de-generacion-renovable-segun-red-electrica.html>

G.Urdiales. (31 de marzo de 2017). elEconomista.

Gestion del Conocimineto-Energias Renovables. (15 de abril de 2015). Recuperado el mayo de 2023, de <https://gcmula.wordpress.com/2014/04/15/offshore-vs-onshore/>

Global Wind Atlas. (s.f.). Recuperado el abril de 2023, de <https://globalwindatlas.info/es>

Gobierno de España. (s.f.). Recuperado el mayo de 2023, de Ministerio para la transición ecológica y el reto demográfico: <https://www.miteco.gob.es/es/prensa/ultimas-noticias/el-miteco-lanza-la-convocatoria-de-2225-millones-para-repotenciación-eólica-renovar-minihidráulica-y-reciclar-palas-de-aerogenerador/tcm:30-549361>

Iberdrola. (s.f.). Recuperado el marzo de 2023, de <https://www.iberdrola.com/conocenos/nuestra-actividad/energia-eolica-terrestre>

IBERDROLA. (s.f.). iberdrola.com. Recuperado el marzo de 2023, de <https://www.iberdrola.com/conocenos/nuestra-empresa/nuestra-historia>

Iberdrola News. (25 de octubre de 2022). Recuperado el marzo de 2023, de https://iberdrolanews.com/?utm_source=portal_empleados&utm_medium=banner&utm_campaign=periodico

Lecciona. (s.f.). Recuperado el abril de 2023, de <https://www.lecciona.com/10-beneficios-de-la-economia-circular/>

Mártil de la Plaza, I. (11 de marzo de 2021). Recuperado el abril de 2023, de BBVAOpenMind: <https://www.bbvaopenmind.com/tecnologia/innovacion/historia-energia-eolica-origen-ii-guerra-mundial/>

Mártil, I. (1 de junio de 2018). Público. Recuperado el mayo de 2023, de <https://blogs.publico.es/ignacio-martil/2018/06/01/las-claves-del-funcionamiento-de-una-turbina-eolica/>

Martín, A. (s.f.). Ovacen. Recuperado el mayo de 2023, de <https://ovacen.com/economia-circular/>

Naciones Unidas. (s.f.). Recuperado el mayo de 2023, de <https://www.un.org/es/climatechange/raising-ambition/renewable-energy>

Neoenergía. (16 de julio de 2021). Recuperado el mayo de 2023, de <https://www.neoenergia.com/es-es/sala-de-comunicacion/noticias/PublishingImages/Historia-de-la-energia-eolica.pdf>

Noticias Parlamento Europeo. (24 de mayo de 2023). Recuperado el junio de 2023, de https://www.europarl.europa.eu/news/es/headlines/economy/20151201STO05603/economia-circular-definicion-importancia-y-beneficios?&at_campaign=20234-Economy&at_medium=Google_Ads&at_platform=Search&at_creation=RSA&at_goal=TR_G&at_audience=econom%C3%ADa%20cir

Palomo, H. (10 de marzo de 2023). Energy spacewell. Recuperado el mayo de 2023, de <https://www.dexma.com/es/blog-es/el-mix-energetico-en-espana-el-crecimiento-de-las-energias-renovables/#:~:text=El%20carbón%20supon%C3%ADa%20un%2040,producción%2C%20superando%20a%20la%20nuclear.>

Ramírez Segura, N. B. (s.f.). Aprende Institute. Recuperado el mayo de 2023, de <https://aprende.com/blog/oficios/energia-eolica/ventajas-y-desventajas-de-la-energia-eolica/#:~:text=Genera%20ruido%20y%20contaminación%20visual,un%20efecto%20visual%20poco%20estético.>

Red eléctrica. (s.f.). Recuperado el abril de 2023, de <https://www.ree.es/es/datos/generacion>

Red Electrica. (abril de 2023). Recuperado el mayo de 2023, de <https://www.ree.es/es/sala-de-prensa/actualidad/nota-de-prensa/2023/04/la-demanda-de-energia-electrica-en-espana-desciente-2-3-por-ciento-en-marzo>

Red eléctrica. (23 de marzo de 2023). Recuperado el abril de 2023, de Sala de prensa: <https://www.ree.es/es/sala-de-prensa/actualidad/nota-de-prensa/2023/03/las-energias-renovables-podrian-alcanzar-50porciento-del-mix-de-generacion-electrica-en-espana-en-2023>

REN21. (28 de mayo de 2019). Recuperado el abril de 2023, de Renewables now: <https://www.ren21.net/why-is-renewable-energy-important/>

Renewable energy magazine. (5 de febrero de 2019). Recuperado el abril de 2023, de Energias Renovables: <https://www.energias-renovables.com/eolica/surus-inversa-desmontara-141-aerogeneradores-para-sustituirlos-20190205/>

REVE. (marzo de 2022). Recuperado el abril de 2023, de <https://www.evwind.com/2022/03/23/los-parques-eolicos-repotenciados-muestran-un-enorme-potencial-de-sustitucion-de-aerogeneradores/>

Revuelta Pérez, I., & Ochoa Monzó, J. (2021). *Economía Circular y Responsabilidad Social*. Aranzadi.

Santaella, J. (s.f.). *Economía3*. Recuperado el mayo de 2023, de <https://economia3.com/economia-circular-beneficios/>

Statista. (16 de marzo de 2023). Recuperado el abril de 2023, de <https://es.statista.com/estadisticas/1004216/generacion-eolica-en-espana/>

Universidad Politecnica de Valencia. (2022). Recuperado el mayo de 2023, de Poliformat: https://poliformat.upv.es/access/content/group/GRA_11427_2022/Parte%201.%20Fuentes%20de%20Energ%C3%ADa/4_TEMA-4/21-22_TEMA_4_CAST.pdf

Universidad Publica de Navarra. (abril de 2019). Recuperado el mayo de 2023, de <https://traductordeciencia.es/la-energia-eolica-que-viene-eolica-offshore/>

Villalvilla, E. L. (noviembre de 2022). Recuperado el mayo de 2023, de El Mundo: <https://www.elmundo.es/ciencia-y-salud/medio-ambiente/2022/11/15/63729d8ffdddf04838b45b3.html>

Wind Europe. (20 de junio de 2017). Recuperado el mayo de 2023, de Wind Europe: <https://windeurope.org/wp-content/uploads/files/policy/position-papers/WindEurope-Repowering-and-Lifetime-Extension.pdf>

World Energy Trade. (1 de Diciembre de 2022). Recuperado el abril de 2023, de <https://www.worldenergytrade.com/energias-alternativas/energia-eolica/repotenciacion-parques-eolicos-europeos-17230>