

# **Análisis del Potencial de Desarrollo de Tecnologías Energéticas (APDTE 2018-2019)**

## **ANEXO**

### **ENERGÍA EÓLICA**

#### **Subsectores:**

**I. Eólica en  
tierra**

**II. Eólica  
marina**



## CONTEXTO Y METODOLOGIA

Este segundo **Análisis del Potencial de Desarrollo de las Tecnologías Energéticas, APDTE 2018-19** (semejante al primero, desarrollado en 2014-15) coincide en el tiempo con el desarrollo del Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (**PNIEC**) y con el de la Ley de Cambio Climático y Transición Energética (**LCCyTE**), a cuya evolución ha estado atento, y está, además, alineado con los objetivos generales de la Estrategia Española de Ciencia y Tecnología y de Innovación.

**El impulso a la I+D+i energética en ambos (Plan y Ley) habrá de potenciarse de manera decidida si el país apuesta por maximizar el aprovechamiento de oportunidades de desarrollo socioeconómico que la ineludible transición energética demanda.**

La premisa en la que se basa la actividad de ALINNE (Alianza por la Investigación y la Innovación Energéticas) es que **la investigación y la innovación (I+i) estimulan la productividad y la competitividad del país**, son esenciales para mantener un modelo de crecimiento sostenible y permiten afrontar los desafíos asociados a la energía (transición energética, generación, uso e impacto medioambiental) sacando partido de nuestros recursos y fortalezas y creando oportunidades de desarrollo socioeconómico.

El APDTE 2018-2019 ha seguido una **metodología**, semejante a la del primer APDTE 2015, basada en la colaboración entre las Plataformas Tecnológicas Españolas de ámbito Energético (PTEs), ALINNE y un Grupo de Evaluación (GEVAL, formado por unos 45 expertos) y se ha **desarrollado en varias fases**: 1) aportación de datos sobre 15 indicadores de evaluación propuestos; 2) presentación de la situación y perspectivas por parte de las PTEs; 3) valoración de la situación y tendencias por el GEVAL mediante votaciones, siguiendo el método de subjetividad compartida; 4) la redacción de un anexo (como el que aquí se presenta), a partir de toda la información recabada, para cada área tecnológica y 5) redacción de un resumen ejecutivo del APDTE 2018-19 con la síntesis de resultados del conjunto de las 13 áreas tecnológicas analizadas.

En este anexo se recogen los resultados del **análisis de potencial de desarrollo tecnológico relacionado con la Energía EÓLICA, en dos áreas tecnológicas. 1) Eólica en Tierra; 2) Eólica Marina, con especial atención en cuanto potencialidades y retos de I+D+i, en el área de Eólica Marina**. Se ha contado para ello **con la colaboración de la Plataforma Española de Energía Eólica REOLTEC.**

En la **sección 1** se hace una introducción a la energía eólica y se realiza una revisión de su situación a nivel global, europeo (UE) y nacional. Asimismo, se resumen los argumentos básicos para apoyar el desarrollo tecnológico en España de estas áreas tecnológicas de la eólica, las potencialidades de éstas de cara a la transición ecológica y los tipos de apoyo que reivindica el sector de la energía eólica.

En la **sección 2** se resumen los datos de indicadores solicitados al sector para evaluar la situación y potencialidad de contribución al desarrollo socioeconómico de la eólica, así como datos de capacidades y apoyos a la I+D+i relacionados con estas áreas tecnológicas.

En la **sección 3** se revisan los retos de I+D+i y se recogen algunas propuestas sobre Iniciativas Tecnológicas Prioritarias identificadas por el sector a través de la Plataforma Española de la Eólica - REOLTEC.

Finalmente, en la **sección 4**, se resume la discusión sobre los datos aportados por REOLTEC, realizada por el Grupo de Evaluación de ALINNE (GEVAL), en la reunión conjunta mantenida el 7 de marzo de 2018 con dicha plataforma. En esta sección se resume también la opinión manifestada por el GEVAL en el ejercicio de subjetividad compartida, realizado a través de 40 preguntas respondidas (mediante votación presencial) por los miembros del grupo.

## INDICE

<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>6</b>
<b>1.1. Situación Global de la Energía Eólica .....</b>	<b>11</b>
<b>1.2. Situación y Perspectivas de la Eólica en la UE .....</b>	<b>13</b>
<b>1.3. La Energía Eólica en España .....</b>	<b>15</b>
<b>1.4. Argumentos Básicos para Apoyar el Despliegue de la Energía Eólica .....</b>	<b>17</b>
<b>1.5. Potencialidades de la Energía Eólica frente a la Transición Energética .....</b>	<b>20</b>
<b>1.6. Tipos de Apoyo que reivindica el sector de la Energía Eólica .....</b>	<b>21</b>
<b>2. POSICIONAMIENTO Y PERSPECTIVAS SOCIO-ECONÓMICAS DE LAS TECNOLOGÍAS DE ENERGÍA EÓLICA.....</b>	<b>23</b>
<b>2.1. Economía y Empleo .....</b>	<b>23</b>
2.1.1. Contribución al PIB del sector eólico en España.....	23
2.1.2. Creación de empleo.....	25
2.1.3. Costes de las tecnologías de Energía Eólica.....	26
2.1.4. Contabilidad de las externalidades de la Energía Eólica.....	28
2.1.5. Posicionamiento Tecnológico .....	30
2.1.6. Valor anual esperado del Mercado Español .....	31
2.1.7. Valor anual esperado del Mercado Mundial .....	32
<b>2.2. Grado de Madurez de la Energía Eólica.....</b>	<b>33</b>
<b>2.3. Capacidad en ciencia, tecnología e innovación.....</b>	<b>34</b>
2.3.1. Financiación obtenida por la tecnología .....	34
2.3.2. Patentes españolas en Energía Eólica .....	35
<b>3. RETOS GLOBALES Y DE I+D+I EN ENERGÍA EÓLICA.....</b>	<b>36</b>
<b>3.1. Retos de I+D+i en Tecnologías de Energía Eólica.....</b>	<b>37</b>
3.1.1. Agendas Estratégicas de I+D+i.....	39
<b>3.2. Iniciativas Tecnológicas Prioritarias (ITPs) Identificadas por REOLTEC ...</b>	<b>42</b>
3.2.1. ITP-1:- La instalación de aerogeneradores tanto sobre el fondo marino como flotantes. Reducción del LCOE: nuevos materiales y reducción de los actuales.	42
3.2.2. ITP-2: Integración en red: cumplimiento de los códigos de red y participación activa y flexible en la operación del sistema eléctrico.....	43
3.2.3. ITP-3: Aerogeneradores. Nuevos sistemas de mantenimiento, incremento de disponibilidad y alargamiento de vida. ....	44
<b>4. RESUMEN DE LA EVALUACIÓN DEL GEVAL.....</b>	<b>45</b>

<b>5. REFERENCIAS Y CONTRIBUCIONES .....</b>	<b>50</b>
<b>5.1. Contribuciones y Expertos Participantes .....</b>	<b>50</b>
<b>5.2. Agradecimientos .....</b>	<b>50</b>
<b>5.3. Referencias Bibliográficas .....</b>	<b>51</b>
<b>5.4. Abreviaturas.....</b>	<b>51</b>
<b>5.5. Apéndices.....</b>	<b>53</b>

## 1. INTRODUCCIÓN

El viento, o la energía cinética del flujo de aire, se ha utilizado en el transporte, la industria y la agricultura (para bombear agua o moler granos) durante miles de años. Actualmente la principal aplicación de la energía eólica es la producción de electricidad para lo cual se utilizan aerogeneradores o turbinas eólicas.

Las turbinas eólicas, como los molinos de viento, suelen estar montadas en una torre para capturar la mayor cantidad de energía.

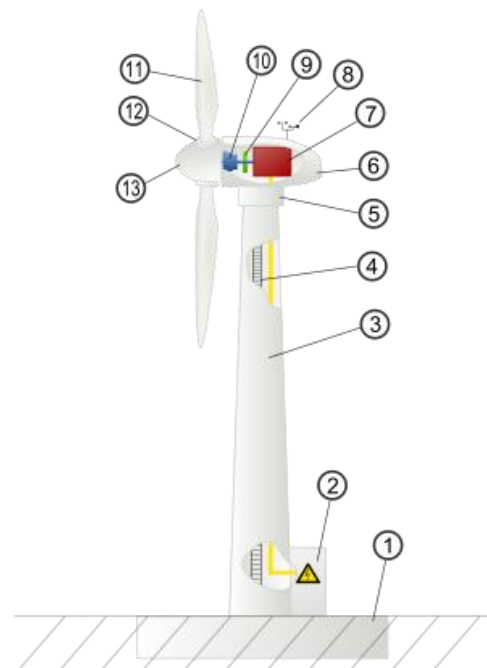


Figura 1 Ejemplo y Esquema de una turbina eólica (o aerogenerador). 1: suelo; 2: Conexión a red eléctrica; 3: Torre; 4: escalera de acceso; 5: sistema de orientación; 6: Góndola; 7: Generador; 8: Anemómetro; 9: Freno; 10: Transmisión; 11: Pálas; 12: sistema de inclinación de la pala; 13: Buje. (Fuente: Wikipedia)

Los elementos básicos del sistema de energía eólica son el rotor que está compuesto por las palas, el buje y el eje que transmite el momento de giro al tren de potencia compuesto por la transmisión mecánica, el generador eléctrico y el freno del rotor, estando estos tres últimos integrados dentro de la góndola. Por último esta el sistema de control y el convertidor de potencia que se suelen alojar dentro de la torre, la cual sostiene la góndola y el rotor a una altura suficiente para aprovechar adecuadamente el flujo de viento y por último esta la cimentación y el transformador que permite evacuar la energía a una mayor tensión, [4].

**Las palas** capturan y convierten la energía del viento en energía de rotación. El número de palas también influye en la estructura y capacidad de los aerogeneradores.

Debido al mejor equilibrio de las fuerzas de giro, la mayoría de las turbinas eólicas modernas utilizan tres palas de rotor<sup>1</sup>. La mayoría de las palas se fabrican con resina poliéster o epoxy reforzada con fibra de vidrio. También se utiliza fibra de carbono o aramiditas (Kevlar) como material de refuerzo y otros materiales de relleno normalmente muy ligeros (madera de balsa). Las palas son de fibra de vidrio y tienen una forma aerodinámica, similar al perfil de las alas de un avión. Las palas más pequeñas se pueden hacer de madera (laminada), que tiene ventajas de resistencia y peso. [4].

El **conjunto de palas** transfiere la energía mecánica en forma de par y velocidad de rotación al **eje del rotor**, usualmente en disposición en eje horizontal, al que están fijadas. El otro extremo del eje del rotor está conectado a la caja de engranajes, que multiplica la velocidad de rotación baja de las palas a una velocidad de rotación alta para la entrada al generador normalmente con bajo número de polos<sup>2</sup>. En el caso de disponer de generadores eléctricos con número medio de polos la caja multiplicadora requiere de una menor relación de transmisión y por lo tanto de una transmisión, más ligera, normalmente planetaria, llegando incluso con generadores del alto número de polos a evitar la necesidad de caja multiplicadora (aerogeneradores de accionamiento directo). Por último el generador va conectado a la red eléctrica en baja tensión normalmente a través de un convertidor de potencia que puede ser de la potencia nominal del aerogenerador (generador síncrono con convertidor de plena potencia) o de una cuarta parte de la potencia nominal (generador asíncrono doblemente alimentado), [4].

Para el **control de la potencia de salida** y para evitar velocidades de rotación excesivas con viento fuerte, que de lo contrario podrían romper las palas u otros componentes, los aerogeneradores incorporan un **sistema de control** basado (generalmente) en la capacidad de las palas del rotor de girar alrededor de su eje longitudinal (variar el ángulo de paso).

El eje giratorio de alta velocidad conectado a la **caja de engranajes** obliga al eje del generador a girar, convirtiendo la energía de rotación en **electricidad**<sup>3</sup>. Los componentes del eje del rotor, el freno del rotor, la caja de cambios y el generador están alojados dentro de una **góndola**, que está directamente conectada a las palas a gran altura y es una de las estructuras principales del sistema de generación eólica. Para hacer girar la góndola a fin de alinear la turbina eólica con la dirección del viento, se dispone, normalmente, de un **sistema de orientación** activo con control referenciado a un sensor de dirección del viento.

<sup>1</sup> menos palas significarían una rotación más lenta, lo que representa más exigencias en la caja de cambios y la transmisión

<sup>2</sup> Los sistemas de transmisión directa sin caja de cambios también están disponibles y su cuota de mercado está creciendo en Europa y China. Las ventajas de las turbinas sin engranajes incluyen su estructura compacta, menor riesgo de avería y mantenimiento más sencillo

<sup>3</sup> Por lo general, se utilizan **dos tipos** de generadores con turbinas eólicas: **generadores de inducción (o asíncronos)**, que generalmente requieren energía de excitación de la red; y **generadores síncronos**, que pueden arrancar de forma aislada y producir energía correspondiente directamente a la velocidad del rotor

La altura de la **torre, que soporta** las palas del rotor, el eje rotor y la góndola, está determinada por el diámetro del rotor y las condiciones de viento del emplazamiento. Usualmente las torres se construyen como tubos de acero que permiten alojar el cableado y facilitar, mediante escalera o ascensor, el acceso a la góndola por el interior, protegido de las inclemencias de lluvia y viento.

Un **transformador**, generalmente emplazado a nivel del suelo, adapta la electricidad del generador al voltaje requerido en la red.

En general, **la eficiencia de la generación de energía eólica** es del 30% al 40%. (La pérdida aerodinámica de energía en la pala/rotor es de aproximadamente 50-60 %, la pérdida mecánica de energía en el engranaje es de ~ 4 % y la pérdida electromecánica en el generador es de ~ 6 %). ([4].).

La **energía eólica** que se genera una turbina eólica es **proporcional al diámetro del rotor y al cubo de la velocidad del viento**<sup>4</sup>. El tamaño de las turbinas eólicas ha seguido aumentando. Las turbinas más grandes disponibles comercialmente hasta la fecha alcanzan los **12,0 MW** cada una, **con un diámetro de rotor de 164 metros** (Figura 2).

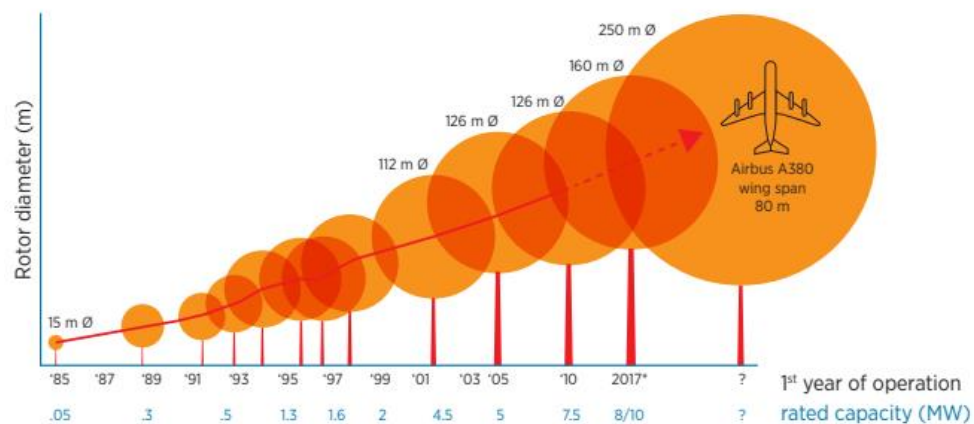


Figura 2. Evolución del tamaño de los aerogeneradores (Fuente I IEA-ETSAP and IRENA, [4].

Los tres **elementos principales que determinan el tipo de tecnología** de generación eólica son el **tipo de turbina** (de eje vertical u horizontal), la posición del rotor en relación con la dirección del viento y la torre (sotavento o barlovento), las **características del emplazamiento y anclaje** (en tierra/marinos anclados/ marinos flotantes) **y la conectividad a la red** (conectada/autónoma). La configuración específica del sistema está determinada principalmente por la condición del viento (especialmente por la velocidad del viento), la disponibilidad del terreno (o el lugar donde se ubica la planta), la disponibilidad de la red (para evacuación), el tamaño y la altura de la turbina y el tamaño de las palas.

<sup>4</sup> Teóricamente, cuando se duplica la velocidad del viento, la potencia eólica aumenta por un factor de ocho



Aunque los aerogeneradores más frecuentes se construyen con grandes turbinas de eje horizontal con tres palas de rotor, hay disposiciones de **turbinas con eje vertical** (utilizadas principalmente para pequeñas capacidades de generación). Estas turbinas pueden funcionar independientemente de la dirección del viento sin necesidad de un control de orientación y algunas pueden generar electricidad tanto con vientos de baja velocidad como con bajos niveles de ruido, lo que las hace particularmente **adecuadas para áreas urbanas**.



Aerogenerador de eje vertical tipo Darrieus en la Antártida.



Aerogeneradores de eje vertical tipo Darrieus-Savonius mixto en Taiwán.

Figura 3. Ejemplos de aerogeneradores de eje vertical (Fuente: Wikipedia)

Además, en estos aerogeneradores de eje vertical, los componentes pesados, como el generador eléctrico, se pueden montar a nivel del suelo. Esto da como resultado un mantenimiento más fácil y torres más livianas y se espera que contribuya a la estabilidad de los cimientos flotantes **para la energía eólica marina**. Sin embargo, las turbinas de eje vertical<sup>5</sup> son menos eficientes para convertir la energía eólica en energía mecánica y algunas requieren un dispositivo de arranque. Además, es difícil controlar la velocidad de rotación.[4].

### Parques eólicos terrestres y marinos:

Un parque eólico incluye, además de una serie de aerogeneradores, las instalaciones de monitorización, las subestaciones y los cables de transmisión.

<sup>5</sup> Los diseños innovadores para turbinas de eje vertical se están aplicando en entornos urbanos, particularmente en China. Con una pérdida de energía aerodinámica del 50-60 % en la pala y el rotor, una pérdida mecánica del 4 % en el engranaje y una pérdida electromecánica adicional del 6 % en el generador, la eficiencia de generación general suele ser del 30-40 % en las instalaciones de energía eólica

Si están sobre el mar, los parques eólicos también necesitan instalaciones portuarias para su mantenimiento y el coste de instalación, de la plataforma soporte y de los cables de transmisión aumentan significativamente aunque se compensa con un mejor recurso eólico.

Recientemente, particularmente en Europa, los parques eólicos marinos han ganado mayores cuotas de mercado como resultado de las políticas gubernamentales de apoyo, dada el mayor recurso y la menor turbulencia de **la energía eólica marina frente a la energía eólica terrestre**. Sin embargo, los costes de capital y mantenimiento de los parques eólicos marinos son aún varias veces superiores a los de los parques eólicos terrestres, aunque se están reduciendo de forma considerable en los últimos años.

La principal diferencia entre los parques eólicos terrestres y marinos es la **cimentación**. Un aerogenerador terrestre se asienta sobre una base de hormigón, mientras que los aerogeneradores marinos tienen su base en el agua (flotante) o en el **lecho marino (fondo fijo)**. Los cimientos de fondo fijo pueden tener varios tipos de estructuras: monopile, jacket, trípode, basado en la gravedad y cubeta de succión (Figura 4). La estructura monopile es la más simple y por lo tanto la más común, pero solo puede usarse en aguas poco profundas (hasta 30 metros de profundidad), [4].

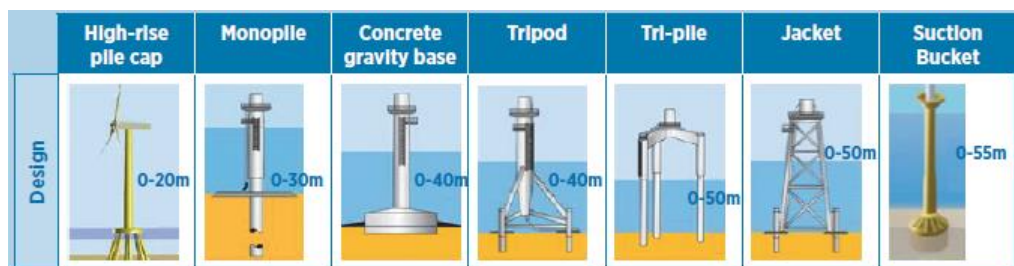


Figura 4. Tipologías de los diferentes cimientos de **fondo fijo** disponibles para aerogeneradores marinos

**Los sistemas flotantes se utilizan típicamente a profundidades que superan los 50-60 metros**, porque el coste de los cimientos de fondo fijo se vuelve prohibitivo en aguas más profundas. Las estructuras flotantes se encuentran actualmente en la fase de demostración. Los parques eólicos marinos están diseñados para resistir los elementos del entorno marino severo, como las olas y el agua de mar, y tienen requisitos operativos adicionales, como el acceso a la turbina. Por lo tanto, **los esfuerzos para reducir los costes de mantenimiento son críticos**.

#### Pequeños aerogeneradores (minieólica y microeólica):

Actualmente se consideran (según la normativa IEC) aerogeneradores pequeños aquellos con una **potencia nominal menor de 50kW<sup>6</sup>** (áreas de barrido del conjunto de palas menores de 200 m<sup>2</sup>), aunque en muchos países se consideran hasta 100 kW de potencia nominal.

<sup>6</sup> Hasta alrededor de 1980, la mayoría de las turbinas eólicas tenían una capacidad de menos de 100 kW

Las turbinas eólicas pequeñas generalmente requieren un mayor coste de inversión por kW<sup>7</sup> y tienen una menor eficiencia (factor de carga) en comparación con los grandes parques eólicos.

Además, la necesidad de instalarse cercanos a la demanda de energía hace que operen en emplazamientos con menor recurso eólico. Sin embargo, los aerogeneradores de pequeña y media potencia son **mas versátiles para** el suministro eléctrico fuera de la red **en áreas rurales o aisladas**<sup>8</sup> de la red, normalmente con almacenamiento de electricidad o también para el autoconsumo conectados a red [4].



Aerogenerador Norvento NED100 para Autoconsumo aislado (Fuente: Norvento Enerxia)



Aerogenerador Argolabe T100 Autoconsumo industrial (Fuente: Argolabe Ingeniería)

## 1.1. Situación Global de la Energía Eólica

A nivel mundial, a finales de 2020, la capacidad global de potencia eólica instalada era de 743 GW (GWEC, [4]). 2020 fue el mejor año de la historia hasta entonces para la industria eólica mundial con la instalación de más de 93 GW de energía eólica en un año desafiante (por el COVID 19 y por interrupciones tanto en la cadena de suministro global y en la construcción de proyectos).

Este incremento de capacidad en 2020 bate el anterior máximo de 63 GW, que se alcanzó en 2015 y casi ha duplicando la expansión de 2019. China y EE.UU. siguieron siendo los mercados más grandes del mundo para nuevas incorporaciones terrestres (solo China representó dos tercios del crecimiento eólico mundial)<sup>9</sup>.

<sup>7</sup> Un desafío importante en la instalación de una pequeña turbina eólica es evaluar el recurso eólico. El proceso de evaluación de recursos es similar al de turbinas más grandes; sin embargo, es costoso debido al alto costo de las herramientas de gestión y los esfuerzos de medición a largo plazo. Generalmente, las turbinas eólicas pequeñas se instalan como unidades independientes, no como parques eólicos, lo que aumenta drásticamente los costes de planificación por unidad instalada.

<sup>8</sup> Las turbinas eólicas pequeñas se han utilizado principalmente para la generación de electricidad fuera de la red y el bombeo de agua en áreas aisladas. (Los sistemas híbridos de generación de energía eólica e hidroeléctrica se están convirtiendo en una tendencia clave en el mercado de generación de energía eléctrica eólica).

<sup>9</sup> Desde 2010, más de la mitad de toda la energía eólica nueva se agregó fuera de los mercados tradicionales de Europa y América del Norte, principalmente impulsada por el auge continuo en China e India. A finales de 2015, China tenía instalados 145 GW de energía eólica. En 2015, China instaló cerca de la mitad de la capacidad de energía eólica agregada del mundo

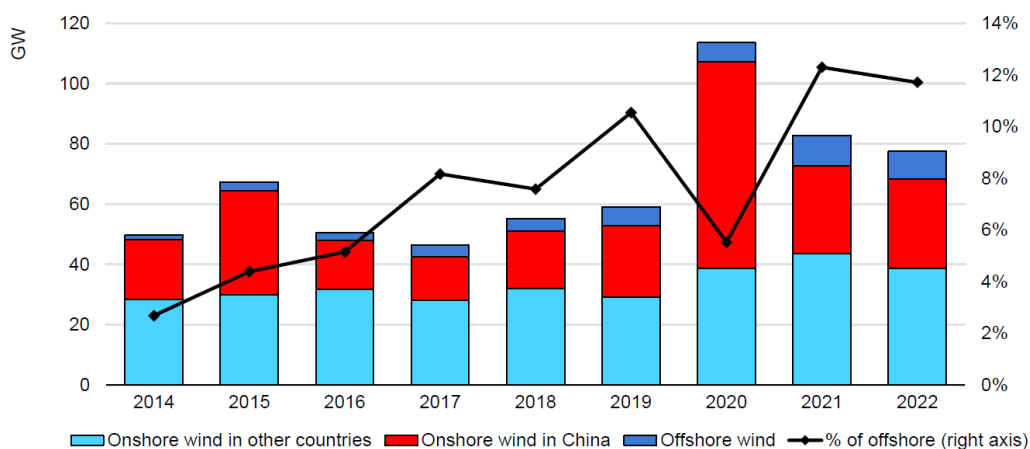


Figura 5. Annual wind capacity additions, 2014-2022 (Fuente: IEA<sup>10</sup>)

Con 80 GW, se espera (IEA, [5].) que el mercado eólico de 2021 sea un 30% más débil que el de 2020, aunque aún supere significativamente las adiciones de 2019, [4]. Por otro lado, se espera un crecimiento ligeramente menor en tierra y en alta mar en 2022. Habiendo alcanzado un récord del 10% en 2019, la participación en alta mar de las adiciones eólicas totales disminuyó en 2020, pero se prevé que repunte a un récord del 12% en 2021-2022 (Figura 5).

En el mercado de eólica terrestre, se instalaron 86,9 GW, un aumento del 59% en comparación con 2019.

En el mercado offshore, en 2020 se pusieron en marcha 6,1 GW en todo el mundo, lo que convierte a 2020 en el segundo mejor año de la historia. China instaló la mitad de toda la nueva capacidad eólica marina mundial en un año récord. Se registró un crecimiento constante en Europa con los Países Bajos a la cabeza, seguido de Bélgica, Reino Unido, Alemania y Portugal. Las nuevas instalaciones eólicas marinas restantes en 2020 fueron compartidas por EE.UU. y Corea del Sur. La capacidad eólica marina total, a finales de 2020, superaba los 35 GW, lo que representa el 4,8% de la capacidad eólica acumulada global total.

La Agencia Internacional de la Energía (AIE), en su “World Energy Outlook” correspondiente a 2021, prevé incrementos muy considerables de la potencia instalada de energía eólica, ascendiendo a 1.603 GW en 2030, 2.357 GW en 2040 y 2.995 GW en 2050 a nivel mundial, de acuerdo con el escenario más conservador (“Stated Policies”<sup>11</sup>). De esta forma:

<sup>10</sup> <https://iea.blob.core.windows.net/assets/18a6041d-bf13-4667-a4c2-8fc008974008/RenewableEnergyMarketUpdate-Outlookfor2021and2022.pdf>

<sup>11</sup> El Escenario Políticas Declaradas (Stated Policies Scenario), incorpora las intenciones y objetivos políticos actuales. En el Escenario Políticas Declaradas, la demanda de energía aumenta un 1% al año hasta 2040. Las fuentes de bajas emisiones de CO<sub>2</sub>, lideradas por la solar fotovoltaica (FV), representan más de la mitad de este crecimiento y el gas natural, impulsado por el creciente comercio del gas natural licuado (GNL), representa otro tercio. La demanda de petróleo se estabiliza en la década de 2030 y el uso del carbón se acerca a su declive. Algunas partes del sector energético, encabezadas por la electricidad, sufren transformaciones rápidas.

- Se incrementaría la generación de electricidad hasta los 8.805 TWh, alcanzándose una penetración del 19% en 2040.
- La potencia instalada aumentaría en un 303% entre 2020 y 2050. **En 2030**, se alcanzaría una potencia de **1.603 GW**, un 116% superior a la actual (743 GW), y **en 2040, 2.357 GW** (un 217% superior a la actual).

En el **escenario** más ambicioso, el **de emisiones netas cero para 2050<sup>12</sup>**, el Net Zero Emissions, se alcanzaría una potencia de **8.265 GW en 2050**, con una generación de 24.785 TWh, lo que supone una **penetración del 35% a nivel mundial en 2050**.

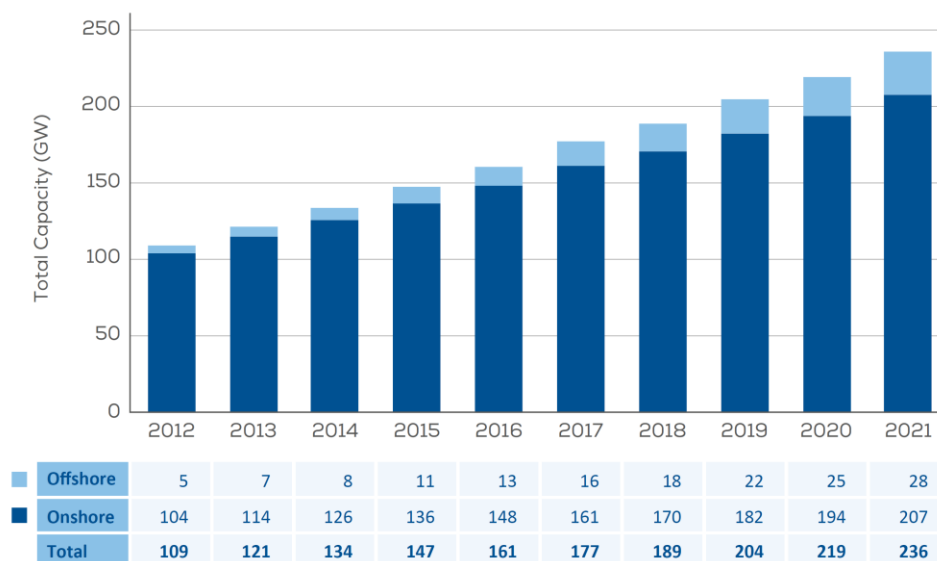
Se plantea también un **escenario** intermedio, el “**Announced Pledges**”, en el que se alcanzaría una potencia de **4.633 GW en 2050**, con una **generación de 14.384 TWh**, lo que supone una penetración del 26% a nivel mundial.

## 1.2. Situación y Perspectivas de la Eólica en la UE

WindEurope, [7]. : A finales de **2021** la **capacidad de energía eólica instalada en Europa era de 236 GW**. El 12% de esta cifra es offshore. En la UE-27 la capacidad total ha alcanzado los 189 GW. La UE-27 cuenta con el 55% de toda la capacidad eólica marina de Europa.

**En 2021**, la energía eólica en Europa aseguró volúmenes de **12,4 GW a través de subastas** de energía renovable en siete países. Esto es significativamente más alto que los 8 GW otorgados en 2020, pero por debajo de los 15 GW asignados en 2019. La energía eólica terrestre aseguró 10,4 GW, mientras que la eólica marina obtuvo 2 GW.

The growth of total wind energy capacity in Europe, 2012-21



<sup>12</sup> Este escenario propone un camino totalmente alineado con el Acuerdo de París, consistente en mantener el aumento de las temperaturas globales “muy por debajo de los 2 °C... y proseguir con los esfuerzos para limitarlo a 1,5 °C”

Figura 6. Crecimiento de la capacidad total de energía eólica en Europa, 2012-21 (Fuente: WindEurope, [7]).

El 64% de la capacidad total de energía eólica instalada en Europa (finales de 2021) se distribuye en cinco países: Alemania (64 GW), España (28 GW), Reino Unido (27 GW), Francia (19 GW) y Suecia (12 GW). Otros siete países (Italia, Turquía, Países Bajos, Polonia, Dinamarca, Portugal y Bélgica) tienen más de 5 GW instalados cada uno. Seis países adicionales tienen más de 3 GW de capacidad instalada: Irlanda, Grecia, Noruega, Finlandia, Austria y Rumania, [7]. .

Total wind installations by country

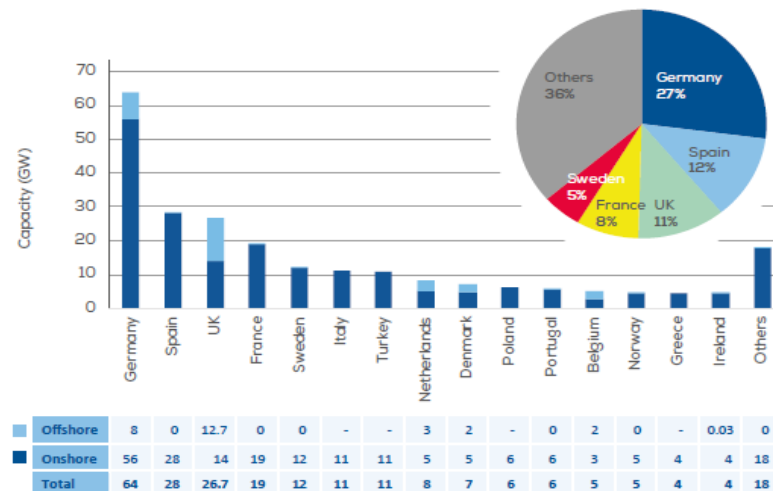


Figura 7. Instalaciones eólicas totales por país, en Europa,(Fuente: WindEurope, [7]).

En relación a la generación de electricidad, la energía eólica cubrió el 15% de la demanda en la UE-27 + Reino Unido en 2021. Esto es un 1,4 % más bajo que los niveles vistos en 2020 y similar a la parte de la demanda de energía eólica satisfecha en 2019. La demanda de energía en 2021 volvió a los niveles vistos antes de la desaceleración económica de la pandemia. Solo España e Italia, dentro de los principales países productores de energía eólica, generaron más energía eólica que en años anteriores, aunque las nuevas incorporaciones de capacidad fueron muy modestas [7].

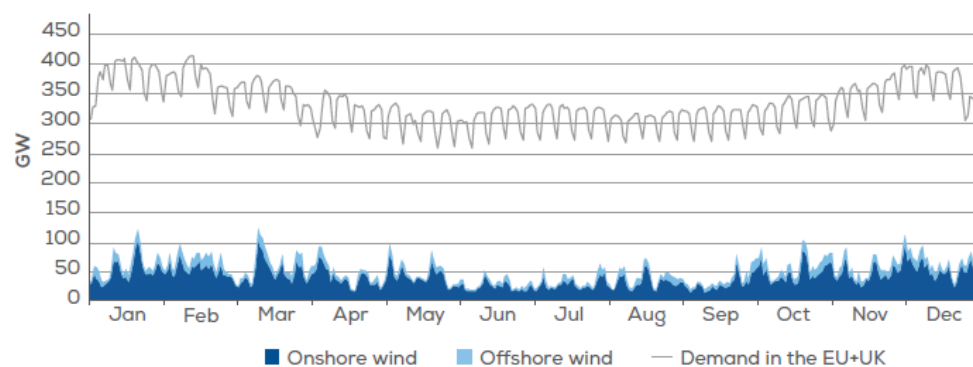


Figura 8. Demanda de energía y generación de energía eólica en la UE-27 y el Reino Unido en 2021 (GW) (Fuente: WindEurope, [7]).

Las centrales eólicas en Europa produjeron 437 TWh de electricidad en 2021 y cubrieron el 15% de la demanda eléctrica<sup>13</sup> (12,2% la terrestre y 2,8% la eólica marina).

Los 17 GW que Europa instaló en 2021 (11 GW en la UE-27) apenas representan la mitad de lo que la UE debería estar construyendo para estar en camino de cumplir sus objetivos de Clima y Energía para 2030. Se espera que la UE-27 construya un promedio de 18 GW de nuevos parques eólicos entre 2022-26, pero se necesitarían construir 32 GW al año para cumplir con el nuevo objetivo de energía renovable del 40% de la UE.

**TAMAÑO DE AEROGENERADOR:** El tamaño y el tipo de turbinas instaladas en Europa, en 2021, variaron significativamente entre países. Los aerogeneradores terrestres más potentes se instalaron en Turquía, con una potencia nominal media de **5,1 MW**. Grecia tuvo la calificación de potencia promedio más baja de 2,6 MW. Según los datos disponibles de 14 países, **la potencia nominal promedio ponderada de las turbinas en tierra fue de 4 MW**.

**En 2021, la capacidad nominal promedio de las turbinas marinas recién instaladas fue de 8,5 MW**, frente a los 8,3 MW en 2020. El Reino Unido tuvo la calificación de potencia promedio más alta de 9,3 MW.

La tendencia sigue siendo hacia mayores tamaños: según los últimos datos (Feb, 2022, [7].) la potencia nominal promedio de las turbinas para eólica terrestre, ordenadas en 2021, alcanzó los 4,9 MW y en offshore, la media alcanzó los 11,2 MW.

### 1.3. La Energía Eólica en España

Tras un período sin apenas adiciones de nueva capacidad en el sector eólico (entre 2012 y 2016), las **subastas de nueva capacidad renovable** que se celebraron en 2016 y 2017, adjudicaron un total de **4.610 MW eólicos** puestos en operación entre 2018 y 2020. Estas subastas supusieron la reactivación del desarrollo y ejecución de proyectos en el sector eólico, si bien la industria española se mantuvo activa (a pesar del impacto, en la componente productiva del sector, de la moratoria renovable a principios de 2012), fabricando en España y exportando incluso el 100% en algunos periodos. Actualmente (2021), el sector sigue manteniendo unas elevadas tasas de exportación, siendo un año más un referente a nivel nacional.

---

<sup>13</sup> . La energía eólica es por definición variable. Es normal ver fluctuaciones anuales en los factores de capacidad eólica que afectarán la participación de la demanda. En 2021, a pesar de que marzo tuvo una generación eólica más baja en general, la energía eólica logró una producción diaria récord el 11 de marzo (2.936 GWh) correspondiente a una producción promedio de 103 GW o alrededor del 61% de la capacidad produciendo al máximo durante todo el día. Y más adelante en el año, la energía eólica cubrió el 18% de la demanda de electricidad en Europa durante todo el cuarto trimestre (octubre a diciembre). El mes más fuerte para la generación en 2021 fue octubre, con la energía eólica cubriendo el 19% de la demanda durante todo el mes. Esto va en contra de las afirmaciones infundadas de que los bajos niveles de energía eólica fueron los responsables del aumento de los precios de la electricidad en la segunda mitad del año, [7].

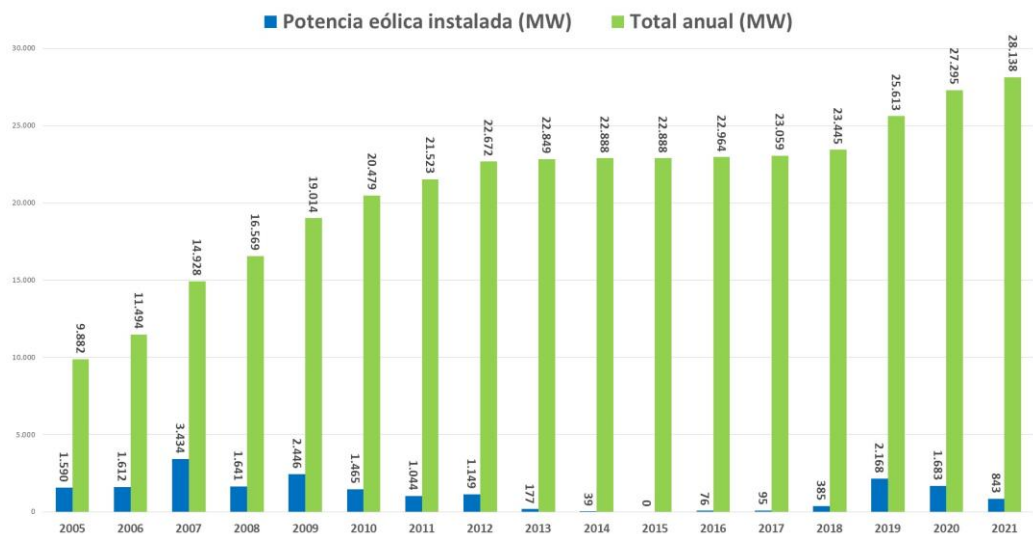


Figura 9. Evolución anual de la capacidad de energía eólica instalad en España (Fuente AEE<sup>14</sup>)

A 31 de diciembre de 2021, España contaba 28.138 MW de potencia eólica instalada, lo que representa un 15% del total de la UE y el segundo lugar por capacidad eólica total, después de Alemania (AEE, [8]. )

La generación eólica ha mantenido su importancia en el mix eléctrico de España durante todo el periodo 2013-2020, en torno al 20%. A lo largo del periodo 2005-2020, la generación acumulada ascendió a 683 TWh. **2020 ha supuesto el año con la mayor generación eólica de la historia, ascendiendo a 54.899 GWh**, un 23% de cobertura de la demanda. De esta manera, en 2021, la energía eólica fue la segunda tecnología en el mix energético, sólo por detrás de la nuclear.

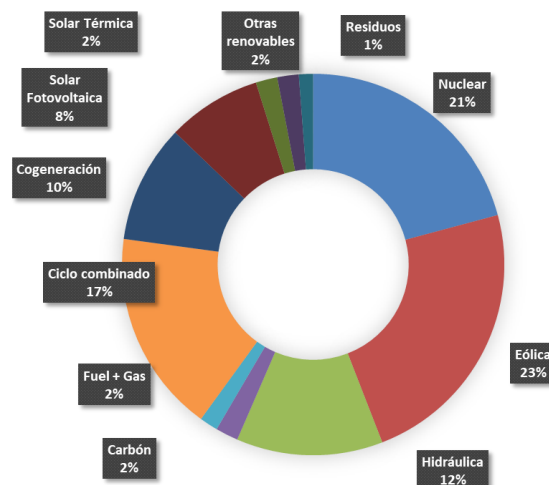


Figura 10. Contribución relativa de las diferentes fuentes de energía a la generación eléctrica en España en 2021 (Fuente: REOLTEC)

<sup>14</sup> <https://aeolica.org/sobre-la-eolica/potencia-instalada-y-generacion/>



En 2021, la energía eólica fué la primera fuente de generación eléctrica en España, con más del 23% del total de la producción en 2021. Además, España es un referente mundial en desarrollo de la energía eólica. Ocupa el quinto puesto, tras China, Estados Unidos, Alemania e India.

Los 28.138 MW eólicos que hay en España (2021) están repartidos en 1.298 parques eólicos en más de 1.000 municipios de 16 comunidades autónomas, con una distribución de capacidad por CCAA como la mostrada en Figura 11

CCAA	Potencia Instalada 2021	Potencia Acumulada a Cierre 2021 (MW)	Cuota de Mercado sobre el Acumulado (%)	TOTAL PPEE
Castilla y León	155,45	6.404,43	23%	272
Aragón	275,66	4.435,44	16%	176
Castilla La Mancha	68,7	3.954,84	14%	151
Galicia	68,9	3.866,64	14%	182
Andalucía	43,5	3.521,95	13%	163
Navarra		1.302,80	5%	58
Cataluña		1.271,20	5%	47
Comunidad Valenciana		1.238,78	4%	39
Asturias	126	645,45	2%	25
Canarias	104,4	557,82	2%	100
La Rioja		446,62	2%	14
Murcia		261,96	1%	14
País Vasco		153,25	1%	7
Extremadura		39,38	0%	1
Cantabria		35,30	0%	3
Baleares		3,68	0%	46
Total	842,61	28.139,51		1298

Figura 11. Distribución de la capacidad eólica por CCAA en España en 2021 (Fuente: REOLTEC)

El fuerte incremento en la actividad eólica de los últimos años, la instalación de nueva potencia (2.242 MW en 2019, 1.720 MW en 2020 y 842 MW en 2021), y una estimación de 2.637 MW anuales como mínimo entre 2022 y 2025 para cumplir con el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima entre 2021 y 2030, supone que el número de parques eólicos en España crecerá de forma progresiva y ordenada.

“Respecto a la eólica marina se ha dado un paso decisivo tras la aprobación de la Hoja de Ruta de Eólica Marina,[1]. , que tiene entre sus objetivos principales consolidar a España como un hub internacional de fabricación y desarrollo de tecnología eólica marina flotante, siendo ya el primer desarrollador de prototipos del mundo” (AEE)

## 1.4. Argumentos Básicos para Apoyar el Despliegue de la Energía Eólica

Los argumentos de la Asociación Empresarial Eólica (AEE) para situar a “la eólica como apuesta estratégica para España<sup>15</sup>”:

<sup>15</sup> <https://aeeolica.org/sobre-la-eolica/la-eolica-y-sus-ventajas/>

- “La eólica es una fuente de energía inagotable y autóctona que abasteció de electricidad al **23%** de España en 2021
- “Los **28.138 MW** eólicos que hay en España están repartidos en **1.298 parques eólicos en más de 1.000 municipios** → Es el motor de las comunidades rurales en las que se instala”<sup>16</sup>.
- “La eólica ha sido la **1ª tecnología** en el sistema eléctrico peninsular en 2021 y la **primera** por potencia instalada → es una tecnología clave en nuestro mix energético”
- “España es uno de los primeros países del mundo en integración de la eólica en red → **cerca de 13.800 MW** eólicos participan en los servicios de ajuste del sistema eléctrico (datos de octubre 2019)”
- España es el **quinto país del mundo por potencia eólica** instalada tras China, Estados Unidos, Alemania e India y el **segundo en Europa**”
- “El sector eólico es clave para cumplir el objetivo europeo de un **40%** del consumo de energía procedente de fuentes renovables en 2030”.

#### LA EÓLICA CONTRIBUYE A LA GENERACIÓN DE EMPLEO Y DE UN SECTOR INDUSTRIAL SÓLIDO:

- “**27.690 personas** trabajan en el sector en España → La eólica crea cinco veces más empleo que las tecnologías convencionales”
- “Los puestos de trabajo en la eólica son de **calidad y de gran estabilidad** → de los 27.690 empleos que hay en España, el 70% son cualificados”
- “El sector eólico español tiene un fuerte entramado industrial con empresas pioneras y líderes mundiales → La industria eólica en España cuenta con más de **250 centros de fabricación situados en 16 de las 17 CCAA**”

#### LA EÓLICA COMO IMPULSO ECONÓMICO PARA EL PAÍS:

- “La eólica representa el **0,30% del PIB** español y genera, además de los económicos, una diversidad de beneficios sociales y medioambientales que contribuyen a un impacto macroeconómico del sector eólico muy positivo (aunque se descuenten las actuales subvenciones a la producción)”

<sup>16</sup> Los parques eólicos generan actividad industrial en el territorio, derivada de la construcción y por las actividades de mantenimiento de los parques. Esto permite que, en los municipios donde se sitúan parques eólicos, se hayan podido desarrollar planes industriales basados en la cadena de valor de la actividad eólica. Esto ha dado lugar a la creación de empleos directos e indirectos, y al nacimiento de nuevas empresas de distinto tipo en zonas rurales.

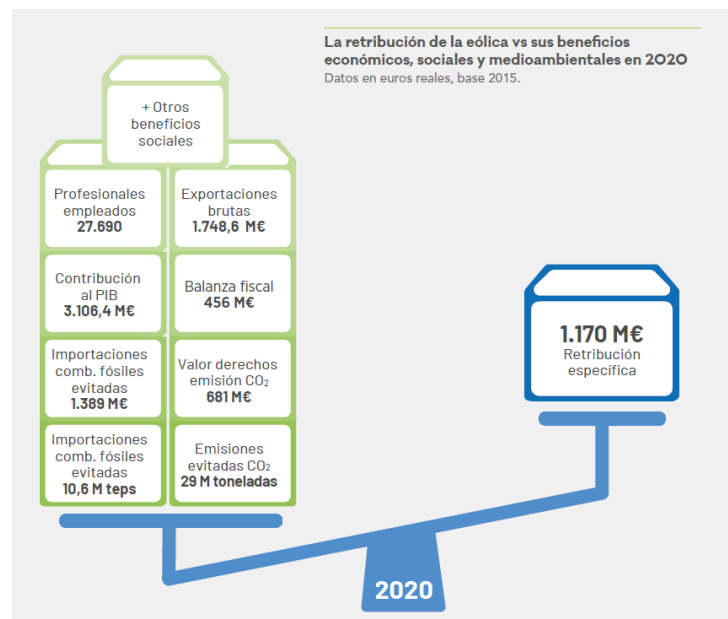


Figura 12. Balance macroeconómico del sector eólico en España en 2020 (fuente AEE-Deloitte, [8]).

- “La industria eólica **exporta tecnología por unos 1.748,6 millones de euros al año**”
- “El sector eólico cuenta con una potente cadena de valor que ha llevado a España a ser el **tercer exportador de aerogeneradores del mundo**”
- “España es el sexto país del mundo y el tercero en Europa en **patentes eólicas**: el sector invierte alrededor de **108 millones de euros al año en I+D**”

#### LA EÓLICA COMO GARANTÍA DE SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL:

- “La eólica no contamina y frena el agotamiento de combustibles fósiles, contribuyendo a frenar el cambio climático → La eólica evita la importación de **10,6 millones de toneladas** equivalentes de petróleo (tep)”
- “Es una tecnología líder en evitar emisiones de CO<sub>2</sub> → La eólica evita la emisión de **28,7 millones de toneladas de CO<sub>2</sub>**”
- “La electricidad generada con la eólica le ahorró a España alrededor de **1.389 millones de euros** en importaciones de combustibles fósiles”

#### LA EÓLICA COMO FUENTE DE ENERGÍA BARATA:

- “**Contribuye a bajar los precios de la electricidad** al desplazar tecnologías de combustión más caras en el mercado”

- “El efecto reductor de la eólica en el mercado eléctrico español, en 2020, fue de 5,26 €/MWh, ligeramente menor que en 2019, debido a la reducción de la demanda causada por la COVID-19, y por la reducción de los precios del gas natural. La generación eólica ha supuesto en 2020 **un beneficio para los consumidores españoles<sup>17</sup>**”.
- “El uso de la eólica en lugar de combustibles fósiles ha supuesto ahorros para el sistema valorados en **26.281 millones de euros** en el periodo 2012-2020, debido a la reducción en el precio del pool del mercado eléctrico”

## 1.5. Potencialidades de la Energía Eólica frente a la Transición Energética

Todo parece indicar que la energía eólica va a seguir siendo la principal apuesta en nueva capacidad de generación eléctrica de aquí al 2030, tanto en Europa como en muchas otras regiones, incluidas EEUU y China.

Según IRENA, [2], se pueden lograr más del 90% de las reducciones de emisiones de CO<sub>2</sub> relacionadas con la energía, de aquí a 2050, con una estrategia: i) acelerando el despliegue de las energías renovables; ii) una profunda electrificación del sistema; iii) una mayor eficiencia energética.

Entre todas las opciones de tecnología de bajas emisiones de carbono, el **despliegue acelerado de la energía eólica junto con la electrificación profunda contribuiría a reducir más de una cuarta parte** de emisiones totales necesarias (unas 6,3 gigatoneladas de dióxido de carbono, Gt CO<sub>2</sub>, anualmente) en 2050. La energía eólica terrestre y marina generaría más de un tercio (35 %) de las necesidades totales de electricidad, convirtiéndose en la principal fuente de generación para 2050.

**En España**, el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030 (PNIEC), considera a la energía eólica como una tecnología fundamental a la hora de lograr alcanzar el 74% de la generación eléctrica renovable en 2030. De hecho, reconoce a la eólica como una de las tecnologías que generan electricidad a un precio más bajo. **El PNIEC espera alcanzar los siguientes objetivos:**

- **40.633 MW de potencia eólica en 2025.** Esto supone **un ritmo de instalación de 2.637 MW anuales**, entre 2021 y 2025. Por otro lado, la generación será de 92.926 GWh, esto es un 30,2% de la generación total.

---

<sup>17</sup> Para un consumidor medio con Tarifa AT1 y un consumo de 1.500 MWh anuales, el ahorro a lo largo de 2020 ha sido de 7.886 € (descontados los incentivos a la eólica incluidos en su factura eléctrica). Es decir, si no se hubiesen puesto en marcha los 27.446 MW eólicos existentes, la electricidad le habría costado 7.886 € más al año. En total, la eólica generó un ahorro neto (una vez descontados los incentivos) a los consumidores eléctricos de 71 millones de euros

- **50.333 MW de potencia eólica en 2030**, que representaría el 31.4% de la potencia total prevista a 2030 (de 160.837 MW). Esto implica un **ritmo de instalación de 1.980 MW anuales** entre 2026 y 2030. La generación eléctrica mediante energía eólica deberá alcanzar en 2030 los 119.520 GWh, lo que supone un 34,5% del total de generación en España.

## 1.6. Tipos de Apoyo que reivindica el sector de la Energía Eólica

**Según REOLTEC en 2018:** “En relación a la disponibilidad de recursos financieros e instrumentos, indicar que España dedica menos recursos públicos que los países competidores como Dinamarca, EEUU y Alemania, por ejemplo, por lo que consideramos dos aspectos clave:”

- “el efecto tractor de la regulación energética: consideramos que se debía reservar una parte de las **subastas** de 2017 **para soluciones innovadoras** que, gracias a la existencia de una financiación, le hubiera dado cobertura de riesgo. Las subastas deberían darse de forma sostenida y organizada, ya que la aparición repentina de 4.000 MW hace que las empresas corran, porque se dedican a vender máquinas, sin tiempo para terminar de poner a punto nuevas soluciones. La previsión de un escenario de 1.000 MW/año permitiría ir mejorando y que la reducción de costes esté ligada a innovaciones tecnológicas y no a presión sobre la cadena de suministro. Consideramos que las subvenciones deberían ser más altas, y que debería haber un mayor control y transparencia en su asignación”.
- “En cuanto a la financiación privada hay una gran competencia por la reducción de costes, subrayando que en España se dedica mucho menos dinero privado a la I+D+i que en otros países. Siendo temas menores, los casos de éxito en la colaboración entre universidades, centros de investigación y empresas habría que difundirlos, caso del apoyo de los centros tecnológicos a la industria para poner a punto las soluciones de reducción de costes o de mejora del control. En REOLTEC lo que podemos hacer es conseguir que haya una mayor integración entre los centros de investigación y las universidades, siendo uno de los talones de Aquiles la disociación que hay entre ellos”.
- “Las **PYMEs** con enfoque tecnológico están demandando apoyos (hay algunas que tienen muy buenas soluciones de utillajes, mejora de materiales, reducción del peso de las máquinas, etc.)”
- “**Efectos no financieros: la cobertura de riesgos.** El riesgo de pérdida de producción ligada a la colocación de máquinas demasiado avanzadas debería tener una cierta cobertura con las compañías de seguros y con los bancos. Siempre está subyacente la idea de que tiene que haber dinero público de por medio, pero con unas fórmulas más imaginativas que la pura subvención de capital para abaratar la inversión.”

**Actualmente, según la AEE,**[8]. “la regulación desarrollada en estos últimos años es, en general, positiva y favorable para el sector<sup>18</sup>. En concreto, **el Real Decreto-ley 23/2020**, de 23 de junio, por el que se aprueban medidas en materia de energía y en otros ámbitos para la reactivación económica, **el Real Decreto 960/2020**, de 3 de noviembre, por el que se regula el régimen económico de energías renovables para instalaciones de producción de energía eléctrica, junto con el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030, contemplan muchas de las reivindicaciones del Sector Eólico”.

“ En diciembre de 2020, la **Orden TED/1161/2020**, de 4 de diciembre, reguló la primera subasta de energías renovables, que incluía 1.000 MW de energía eólica para 2020, y establecía un calendario con 1.500 MW anuales en el periodo 2021-2025. En septiembre de 2021, se publicó la Resolución de 8 de septiembre de 2021, de la Secretaría de Estado de Energía, por la que se convoca la segunda subasta para el otorgamiento del régimen económico de energías renovables al amparo de lo dispuesto en la Orden TED/1161/2020. Como resultado, el día 19 de octubre se celebró una segunda subasta, en la que se adjudicaron 2.258 MW de potencia eólica”.

El sector es consciente de que las inversiones han vuelto al sector eólico, tanto en lo que se refiere a nueva potencia instalada como a nuevos desarrollos de cara al futuro, con el objetivo de cumplir con los objetivos del PNIEC a 2030, en los que la eólica está llamada a ser una de las tecnologías protagonistas (APPA Renovables, [9]). No obstante, sigue habiendo reivindicaciones, tales como:

- Sigue siendo importante y necesaria **una planificación a largo plazo**, buscando **desarrollos razonables y competitivos**, que permita **aprovechar la riqueza nacional en recursos renovables** y el **liderazgo tecnológico** de nuestras compañías. Es vital consensuar una estrategia de transición energética que se plasme en un marco regulatorio estable con una retribución predecible. De esta forma, se generará **riqueza, empleo e industria nacional** alrededor del sector eólico.
- Como se propone en el PNIEC es necesario el desarrollo de nuevas convocatorias de subastas para la **asignación de un régimen retributivo específico**, que deberán suponer, **al menos, 3.000 MW de potencia renovable cada año hasta 2030**.
- También se deberían elaborar **programas específicos de apoyo** a tecnologías en desarrollo, como la energía **eólica marina flotante**, creando un calendario de subastas específico con un volumen de potencia reducido, que permita desarrollar **proyectos piloto** de demostración. Estos programas deberían contar, cuando sea necesario, con financiación pública.

---

<sup>18</sup> En palabras de REOLTEC: “De alguna forma, nuestra visión de futuro a veces se ve superada por la realidad, aunque sí consideramos que la posición del sector eólico español se debe ver consolidada y reforzada por el apoyo público a las empresas y centros tecnológicos que en estos momentos están trabajando en España”.

## 2. POSICIONAMIENTO Y PERSPECTIVAS SOCIO-ECONÓMICAS DE LAS TECNOLOGÍAS DE ENERGÍA EÓLICA

### 2.1. Economía y Empleo

El sector eólico español incluye a un conjunto de empresas que cubren toda la cadena de valor de la generación eólica, desde la fabricación de componentes<sup>19</sup>, la construcción de parques eólicos, la gestión (en tiempo real con sistemas informáticos líderes en el mundo), la operación y mantenimiento, etc..

Las perspectivas del sector y de la I+D+i que este arrastra son muy halagüeñas a corto medio-plazo. Con la nueva potencia eólica subastada en enero y en octubre de 2021, **3.256 megavatios** deberán ser puestos en operación **antes de octubre de 2024**. Con esta nueva capacidad eólica instalada, se aumentará la generación renovable actual en más de un 8%, además los proyectos adjudicados a la eólica supondrán una inversión superior a 2.500 millones de euros, ayudando a mantener los más de 27.600 empleos del sector.

#### 2.1.1. Contribución al PIB del sector eólico en España

La contribución total del Sector Eólico al PIB en 2020 fue de 3.106,4 millones de euros en 2020, según la AEE y Deloitte ([8]. o de 3.165 M€ según APPA Renovables, [9]. , de los que 1.899 millones, el 60%, correspondieron a su contribución directa y 1.266 millones, el 40%, a la aportación indirecta.

En conjunto, este sector aporta al PIB el 0,30% del PIB español (datos de 2020) repartido por 16 comunidades autónomas. Los fabricantes tienen más de 220 instalaciones ubicadas en casi todo el país, (AEE).

El sector eólico disminuyó su contribución total al PIB un 20,8% en 2020. Esta disminución de la contribución al PIB, se debió principalmente a la crisis sanitaria motivada por la pandemia que sufrimos a nivel mundial y que paralizó casi por completo, y durante muchos meses, gran parte de la actividad industrial, llevando a mínimos el precio del mercado eléctrico mayorista. Esta desaceleración redujo el PIB al haberse ralentizado la actividad, suponiendo además un retraso en la legalización y ejecución de los proyectos.

<sup>19</sup> . España juega un papel importante en la fabricación eólica mundial, albergando varias operaciones del gigante verde Siemens Gamesa Renewable Energy. La compañía Siemens Gamesa ha instalado más de 100 GW de turbinas eólicas en tierra y en alta mar en todo el mundo.

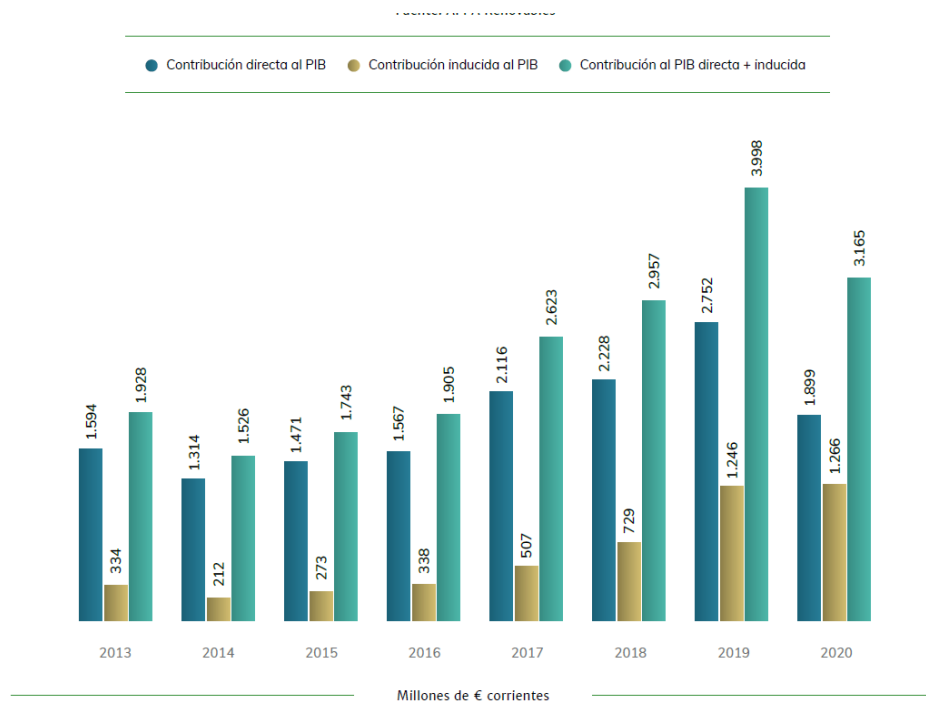


Figura 13. Evolución anual de la contribución del sector eólico al PIB español (Fuente: APPA Renovables, [9]. )

Según la estimación de REOLTEC (realizadas en 2018)<sup>20</sup> la evolución anual y perspectivas a 2030 de la contribución al PIB asociada a la fabricación de aerogeneradores y a los servicios se muestra en la Figura 14.

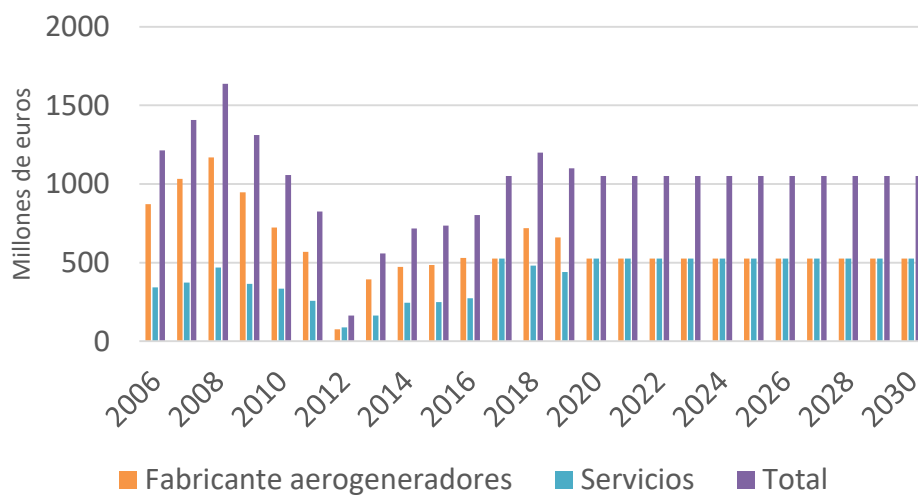


Figura 14 Evolución anual y perspectivas a 2030 de la contribución al PIB del sector eólico. (Estimaciones realizadas en 2018. Fuente REOLTEC)

<sup>20</sup> Para este cálculo REOLTEC ha tomado como valores para el cálculo los que tienen que ver con la fabricación y los servicios de la industria, excluyendo el valor del PIB que se daría por la venta de electricidad. Se ha partido de los datos que tiene la asociación, comparándolos con los estudios sobre energías renovables que realizó APPA, [10].



En 2007 y 2008 se dió la mayor aportación al PIB, tanto en fabricación de aerogeneradores como en servicios, coincidiendo con el período de mayor instalación de potencia eólica, descendiendo ambos aspectos en los siguientes años.

### 2.1.2. Creación de empleo

A finales de 2020, la energía eólica daba empleo a 27.690<sup>21</sup> personas en España (15.226 empleos directos y 12.464 empleos indirectos), según la AEE. En su mayoría se trata de puestos de trabajo de calidad y de gran estabilidad

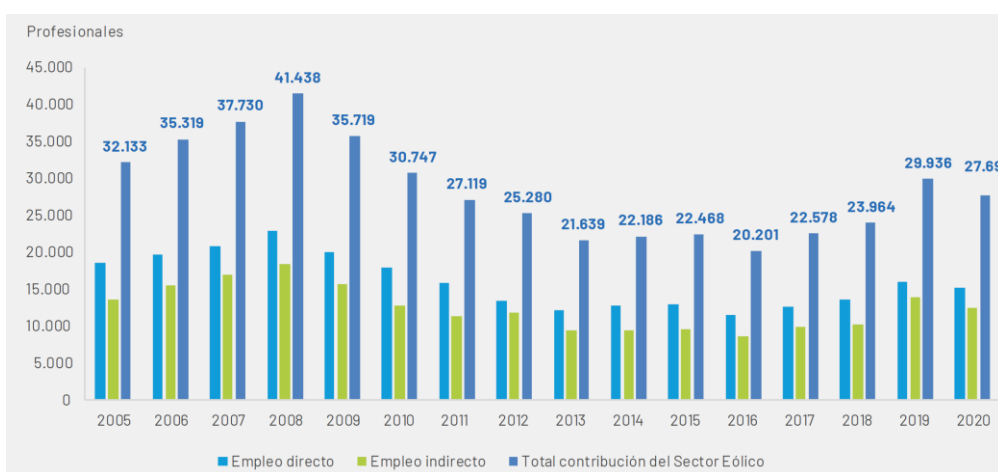


Figura 15. Evolución del empleo directo e indirecto del Sector Eólico en España (Fuente: AEE-Deloitte, [8]).

Según la estimación<sup>22</sup> de REOLTEC la evolución anual y **perspectivas<sup>23</sup> a 2030** del empleo asociado al sector eólico se muestra en la Figura 16 (Estas estimaciones se realizaron en 2108, cuando aun no se había constatado el impulso que supondrá para el empleo el desarrollo del PNIEC).

<sup>21</sup> Adicionalmente, y según la Asociación Empresarial Eólica, si se calcula el impacto inducido en el empleo, considerando los sueldos y salarios recibidos por los empleados directos e indirectos del Sector Eólico, el empleo inducido en 2020 alcanza las 7.199 personas, siendo el empleo total de 34.890 personas[8].

<sup>22</sup> Para esta estimación REOLTEC ha tomado como valores para el cálculo los que tienen que ver con la fabricación y los servicios de la industria, excluyendo el valor del PIB que se daría por la venta de electricidad. Se ha partido de los datos que tiene la asociación, comparándolos con los estudios sobre energías renovables que realizó APPA, [10].

<sup>23</sup> La estimación del empleo se ha hecho contando con que para cada 1 MW de potencia que se fabrique son necesarias 7 personas; para la instalación de cada MW se necesitan 3,5 personas, y para el mantenimiento de 1 MW serían 0,1 personas (son datos propios de las empresas del sector). El mantenimiento tiene menor carga laboral, pero su ventaja es que es una carga constante, dándose la tendencia al alargamiento de la vida de los parques, apuntando a un período de 30 años

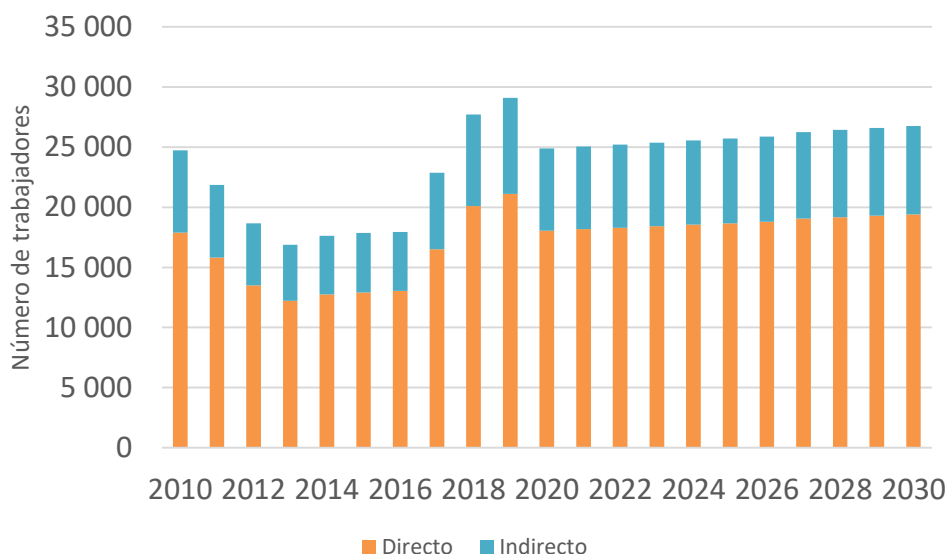


Figura 16. Evolución y perspectivas de la generación de empleo del sector eólico en España (Estimaciones realizadas en 2018. Fuente: REOLTEC)

### 2.1.3. Costes de las tecnologías de Energía Eólica

A través de innovaciones tecnológicas y economías de escala, en 2020 la energía eólica continuó aumentando su competitividad en todo el mundo.

Según IRENA<sup>24</sup>, a nivel global:

- “El **coste medio** ponderado global de la electricidad de los nuevos **parques eólicos terrestres en 2019** fue de **0,053 USD/kWh** con valores dependientes de país/región de entre 0,051 USD/kWh y 0,099 USD/kWh, según la región. Los costes **para los proyectos más competitivos** están en los **USD 0,030/kWh**, sin apoyo financiero”.


“**Se prevé que los costes continúen disminuyendo**, sin que aún se observe una desaceleración en la disminución de los precios de los aerogeneradores; debido a avances continuos en la tecnología de turbinas (cada vez con mayores rendimientos energéticos y, por lo tanto, mayores factores de capacidad), **por economías de escala y por reducciones de costes de operación y mantenimiento**”.

- “**La eólica marina**, con un despliegue de alrededor de 28 GW en 2019 en comparación con la eólica terrestre con 594 GW, fue **relativamente más cara que la eólica terrestre**, pero los costes han disminuido desde el pico en 2014 a **0,115 USD/kWh en 2019**, aunque el coste promedio ponderado en 2019 en Dinamarca fue de USD 0,087/kWh”.

<sup>24</sup> <https://www.irena.org/costs/Power-Generation-Costs/Wind-Power>.

Las reducciones de costes han sido impulsadas por la **creciente madurez de la industria**; la creciente competitividad del mercado impulsada **por subastas competitivas**<sup>25</sup> tanto en mercados establecidos como nuevos; afianzamiento de **cadena de suministro maduras, economías de escala**; y por los **avances en la tecnología de turbinas** eólicas que impulsan factores de mayor capacidad y reducen los costes de instalación. En eólica marina también se han conseguido reducciones de costes a pesar de la creciente complejidad de los proyectos ubicados más lejos de la costa, en aguas más profundas y con condiciones meteorológicas y oceanográficas más duras.

En España, en la mayoría de los casos, la energía eólica aun sigue recibiendo algún tipo de incentivo. Por ejemplo, las últimas subastas (en 2021) incluyen una subvención máxima de entre 20 y 37 €/MWh, según el mecanismo de “contrato por diferencia”<sup>26</sup>, lo que sitúa el apoyo a la generación eólica en España en valores medios en la UE (Figura 17).

	Country	MW AWARDED	TYPE OF AUCTION	SUPPORT MECHANISM	PRICE IN €/MWH
	France	540	Technology-specific	Feed-in-premium (floating)	61 €/MWh
	Germany	691	Technology-specific	Feed-in-premium (floating)	52 - 60 €/MWh
		1,110	Technology-specific	Feed-in-premium (floating)	57 - 60 €/MWh
		1,494	Technology-specific	Feed-in-premium (floating)	52 - 59 €/MWh
	Italy	41	Technology-neutral	Contract for difference	69 €/MWh
		296	Technology-neutral	Contract for difference	69 €/MWh
		393	Technology-neutral	Contract for difference	68 - 69 €/MWh
	Poland	300	Technology-neutral	Contract for difference	40 - 54 €/MWh
		460	Technology-neutral	Contract for difference	31 - 58 €/MWh
	Russia	1,851	Technology-neutral	Contract for difference	20 - 59 €/MWh
Spain	1,000	Technology-neutral	Contract for difference	20 - 29 €/MWh	
	98	Technology-specific	Investment subsidy	Not Available	
		2,200	Technology-neutral	Contract for difference	28 - 37 €/MWh


	Country	MW AWARDED	TYPE OF AUCTION	SUPPORT MECHANISM	PRICE IN €/MWH
	Germany	958	Technology-specific	Zero-subsidy bid	0
	Denmark	1,000	Technology-specific	Contract for difference	0 €/MWh

Figura 17. Subastas y licitaciones de esquemas de apoyo a la energía eólica en 2021 (Fuente: WindEurope, [7]. )

<sup>25</sup> Por ej. el verano de 2020, un consorcio de Shell y Eneco ganó la tercera licitación de energía eólica marina **sin subsidio** en los Países Bajos. Otro ejemplo: en Latinoamérica, dado que la energía eólica ya tenía precios muy competitivos, las **subastas privadas o PPA bilaterales** ya han surgido como un mecanismo alternativo a las subastas gubernamentales para impulsar el crecimiento. Finalmente, según BloombergNEF, en 2020 y a pesar de los impactos de la crisis del COVID y los problemas en las cadenas de suministro mundiales, se firmaron 6,5 GW de energía eólica a través de **PPA corporativos** a nivel mundial

<sup>26</sup> **Mecanismo: Feed-in-premium (flotante):** instrumento basado en el precio mediante el cual a los generadores de energía renovable elegibles se les paga un precio superior que es un pago adicional al precio mayorista. La prima flotante se calcularía como la diferencia entre un precio mayorista promedio y un precio garantizado previamente definido. Efectivamente funciona como precio “suelo”, garantiza siempre un ingreso mínimo. **Mecanismo Contratos por diferencias:** Similar a la prima flotante. Sin embargo, bajo los contratos por diferencia, si el precio mayorista sube por encima del precio garantizado, los generadores están obligados a devolver la diferencia entre el precio garantizado y el precio mayorista.

Según REOLTEC en su estimación de 2018<sup>27</sup>, la evolución del coste ponderado de la electricidad (LCOE) eólica terrestre en España disminuiría desde los 47 €/MWh en 2018 a los **45 €/MWh en 2030**<sup>28</sup>. En esta estimación se ha asumido una tendencia a la estabilización del precio a partir de 2020 porque ya se habrá realizado la optimización tanto de la tecnología como de las máquinas.

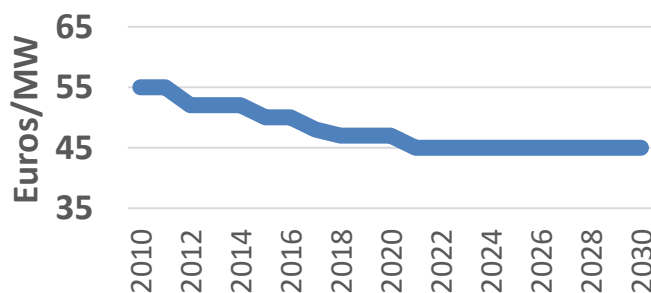


Figura 18. Estimación de la evolución del coste ponderado de la electricidad eólica terrestre en España (Estimación con datos de 2018. Fuente REOLTEC)

Estas estimaciones habrán de ser revisadas a la luz de enorme impulso al despliegue de capacidad previsto para el cumplimiento del PNIEC (con incrementos anuales promedio de 2200 MW /año).

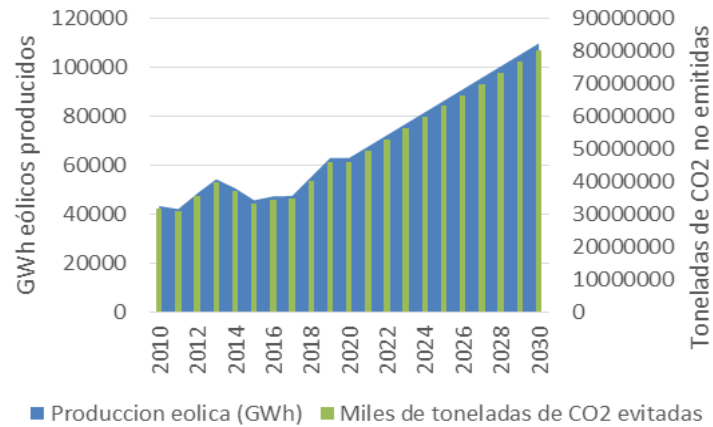
#### 2.1.4. Contabilidad de las externalidades de la Energía Eólica

Una de las principales razones económicas detrás del despliegue mundial de la energía eólica es su validez para **mitigar las externalidades negativas de las tecnologías eléctricas convencionales, en particular las emisiones de CO<sub>2</sub> de la generación con combustibles fósiles.**

<sup>27</sup> Estimación del LCOE (coste ponderado de la electricidad) en base a los siguientes datos: Para el año 2012 para el siguiente caso tipo: Inversión: 1071 €/kW; Costes de operación y mantenimiento: 19 €/MWh; Horas: 2400; Tasa de descuento: 5,1%; Sin financiación externa; Para el gap de años entre 2017 y 2020 se toman los parámetros retributivos de las instalaciones que se instalarán tras las subastas de 2017 y para las que se considera una inversión de 1.200.000 Euros/MW, 3000 horas equivalentes de funcionamiento, una vida útil de 25 años y una tasa de descuento de 7,398%. Para el cálculo se utilizó la [calculadora de NREL](#)

<sup>28</sup> El precio medio ponderado de las últimas subastas (en 2021) en España ha sido de **30,18 €/MWh** para la tecnología eólica (Fuente: MITERD)

El cálculo para España realizado por REOLTEC asume que por cada kWh de generación eólica se evitan 0.73 gr/CO<sub>2</sub> que se corresponderían con el mix eléctrico actual. La estimación realizada por REOLTEC<sup>29</sup>, en 2018, preveía alcanzar un ahorro de emisiones de 80.3 millones de toneladas de



CO<sub>2</sub>, en 2030 (

Figura 19).

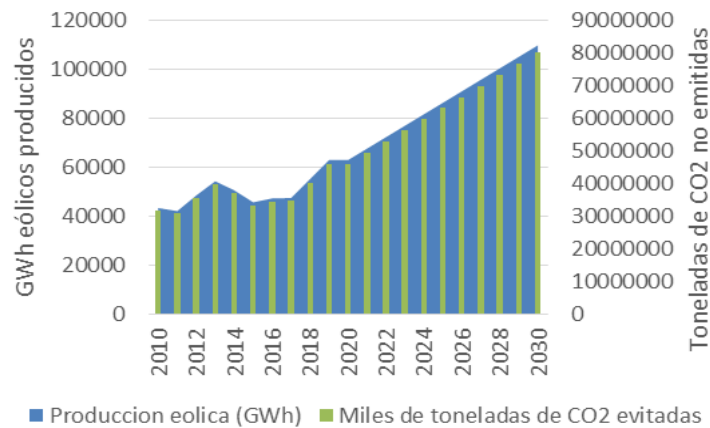


Figura 19. Estimación de evolución del ahorro anual en emisiones de CO<sub>2</sub> debido a la generación con energía eólica en sustitución de generación con energía fósil (Fuente: REOLTEC)

La monetización o estimación de los costes externos asociados a la generación de energía es un proceso complejo<sup>30</sup>. Para analizarlos en detalle, es necesario estimar con precisión el **coste de cada daño o impacto medioambiental causado** por contaminantes individuales asociados a la tecnología en todo el ciclo de vida.

<sup>29</sup>. Dicho parámetro se ha extraído de la información del Grupo Intergubernamental de Expertos para el Cambio Climático. Para el cálculo dicho parámetro se ha pasado a euros y se ha multiplicado por la energía eólica producida para cada año. El porcentaje de cuota se extrae sobre el valor del PIB anual.

<sup>30</sup> Las turbinas eólicas pueden reducir la calidad de la vida humana a través del ruido y los impactos visuales, y amenazar la vida silvestre. La electricidad eólica variable puede imponer costos adicionales dentro del sistema eléctrico. A nivel local y nacional, el empleo, la producción y la seguridad del suministro eléctrico pueden verse afectados

Un modo simple de valorar los beneficios relativos no interiorizados en el coste de la electricidad eólica es comparar las externalidades asociadas a la generación eólica con las de la generación de un mix convencional a la que sustituyen:

- La estimación de REOLTEC asume un coste de las externalidades asociadas a la generación eólica de 0,12 cUSD/kWh, lo que induce un **coste de las externalidades de la generación eólica de 65.8 M€ en 2020**.
- Una revisión bibliográfica de las externalidades asociadas a un mix de generación como el español nos conduce, [15]. , a un coste unitario de unos 7.5 c€/kWh, lo que representaría un coste total de unos 4.151 M€ en externalidades si la generación eólica (de 54.900 GWh en 2020) se produjese con tecnologías convencionales (al mix actual). Por tanto, la estimación del ahorro por externalidades asociadas al mix convencional menos las asociadas a la generación eólica nos conduce a una estimación de un **ahorro de unos 4.000 M€ en 2020 y de unos 7.000 M€ en 2030** (según la estimación de REOLTEC, en 2018, sobre evolución de la producción) **en coste de externalidades**.

### 2.1.5. Posicionamiento Tecnológico

Las empresas españolas de la cadena de valor de la energía eólica son un ejemplo de **sector líder en innovación y tecnología**. En España **destaca el desarrollo de la energía eólica terrestre**. Se está avanzando tanto en el terreno de aerogeneradores de mayor potencia unitaria para optimizar el impacto sobre el terreno, como en el incremento de la eficiencia y las mejoras en la integración en red. También hay líneas de investigación abiertas para resolver el problema del almacenamiento de energía y las redes inteligentes, y más concretamente, las relacionadas con el coche eléctrico. Estas líneas permitirán un mayor potencial de penetración a la energía eólica (AEE).

La experiencia adquirida durante los más de 20 años de implementación de eólica terrestre, y las importantes capacidades de la industria española, ya han permitido tanto al sector eólico como naval **participar con éxito en proyectos de eólica marina** en todo el mundo, exportando componentes y servicios en toda la cadena de valor.

España está a la vanguardia en I+D+i en desarrollos de proyectos eólicos marinos. Junto a las capacidades experimentales existentes, en los últimos años, se ha desarrollado una fuerte industria vinculada a la energía **eólica marina**, aprovechando las fuertes sinergias de esta industria con la industria naval y la del petróleo y gas, y empresas especializadas en la construcción de buques. Adicionalmente, a partir de su amplia experiencia en desarrollar trabajos en alta mar, se han creado empresas especializadas en realizar trabajos de mantenimiento de este tipo de instalaciones.

## 2.1.6. Valor anual esperado del Mercado Español

En conjunto, la contribución directa del Sector Eólico al PIB de España en 2020 ascendió a 1.778,5 millones de €<sub>2015</sub>. Si bien la contribución de cada subsector ha sido diferente [8]:

- En el caso de los Productores/Promotores, supusieron una contribución directa al PIB de 898,7 millones de €<sub>2015</sub>.
- Los Fabricantes de Equipos y Componentes, tuvieron una contribución directa al PIB ascendió en 2020 a 527,7 millones de €<sub>2015</sub>,
- El sector de los Proveedores de Servicios ha alcanzado los 343,7 millones de €<sub>2015</sub>.
- El sector de Estructuras *.Offshore*, por su parte, ha presentado en 2020 una contribución de 8,4 millones de €<sub>2015</sub>.

La evolución estimada por REOLTEC (en 2018) del mercado español a 2030 se recoge en la (Figura 20)<sup>31</sup>.

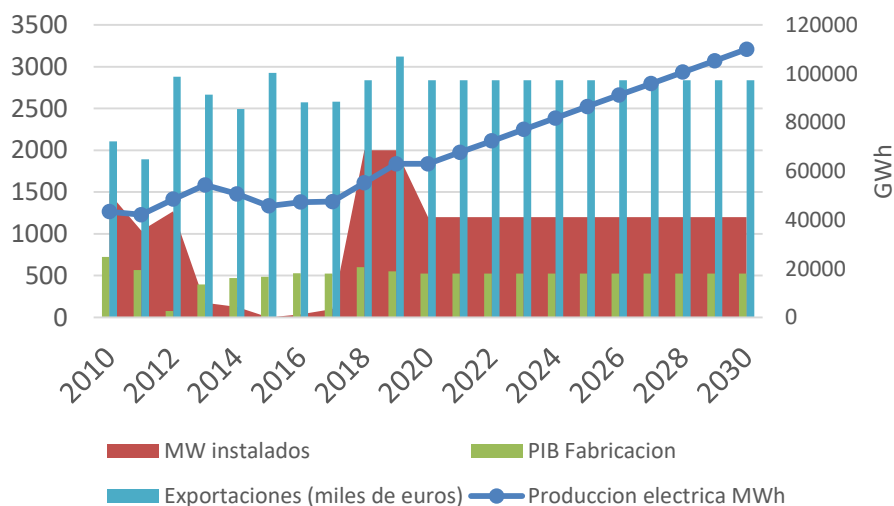


Figura 20. Valor anual esperado del mercado español (Estimación de 2018 por REOLTEC)

Por otro lado, según (AEE, [8]. en 2020, las exportaciones de la industria eólica española supusieron 1.748,6 millones de €<sub>2015</sub>, frente a unas importaciones de 1.026,7 millones de €<sub>2015</sub>. España es el tercer exportador neto del mundo de aerogeneradores, sólo superada por Dinamarca y Alemania, y cuarto en exportaciones brutas.

La mayor parte de estas exportaciones se correspondieron con la venta de bienes y servicios (1.645,4 millones de €<sub>2015</sub>), mientras que el resto (103,1 millones de €<sub>2015</sub>) se corresponde con la exportación de electricidad.”

<sup>31</sup> Se han representado, a modo de contraste, los MW ya instalados y los que se prevé que se instalen en los próximos años, y también el PIB que hay por fabricación. El gráfico recoge la potencia que se va a instalar con carácter anual, con una estimación de crecimiento para el período 2020-2030 de alrededor de 10.000 – 12.000 MW.

Las empresas del sector eólico que trabajan en España son todas de carácter internacional, por lo que se prevé un nivel constante de exportaciones considerando que se mantenga el mismo nivel de instalación.

### 2.1.7. Valor anual esperado del Mercado Mundial

Según "Wind Electricity Global Market Report 2022"<sup>32</sup> - Se espera que el mercado mundial de la electricidad eólica crezca de \$89,66 mil millones en 2021 a \$104,18 mil millones en 2022 a una tasa de crecimiento anual compuesto (CAGR, por sus siglas en inglés) del 16,2 %. El crecimiento se debe principalmente a que las empresas reorganizaron sus operaciones y se recuperaron del impacto de COVID-19, que anteriormente había llevado a medidas de contención restrictivas que involucraron distanciamiento social, trabajo remoto y el cierre de actividades comerciales que resultaron en desafíos operativos. Se espera que el mercado alcance los 184.970 millones de dólares en 2026 con una CAGR del 15,4 %

Según la IEA<sup>33</sup>: En 2020, la generación eléctrica eólica terrestre aumentó en 144 TWh (+11%). El crecimiento de la generación eólica marina ascendió a 25 TWh (+29%) en 2020, con adiciones de capacidad de 6 GW, la misma que en 2019. En total, las instalaciones eólicas generaron 1592 TWh de electricidad en 2020, un 12% más que en 2019.

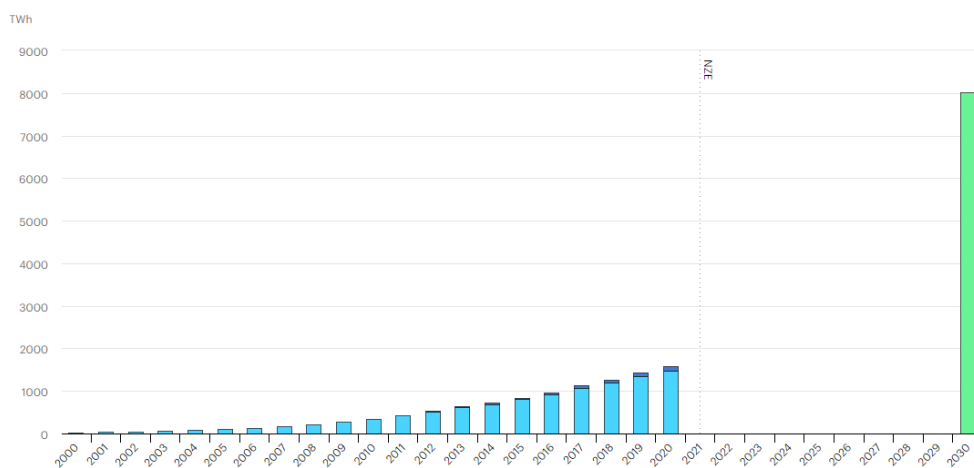


Figura 21. Generación eólica en el Escenario Cero Neto, 2000-2030 (Fuente IEA<sup>34</sup>)

Para alcanzar los 8000 TWh requeridos en 2030 bajo el Escenario de Emisiones Netas Cero para 2050, la generación **debe aumentar en un promedio de 18% por año durante 2021-2030**. También es necesario aumentar las **adiciones de capacidad anual a 310 GW de energía eólica terrestre y 80 GW de energía eólica marina**.

#### Principales empresas a nivel global (2021):

<sup>32</sup> [https://www.reportlinker.com/p06193693/?utm\\_source=GNW](https://www.reportlinker.com/p06193693/?utm_source=GNW)

<sup>33</sup> <https://www.iea.org/reports/wind-power>

<sup>34</sup> <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/wind-power-generation-in-the-net-zero-scenario-2000-2030>



Ltd., Berkshire Hathaway Energy, Pattern Energy, IBERDROLA Renewables, EON Climate & Renewables, Alstom, ABO-Wind, Vattenfall, A2 Sea, Tradewind Energy, Geronimo, ReGen Powertech, Leitwind, Doosan Heavy Industries & Construction, Northland Power Inc., Duke Energy Corporation, Electricité de France S.A., American Electric Power (USA), Orsted A/S, DeWind Inc., Dongfang Electric Corporation Limited, Enel Green Power S.p.A., Wind World (India) Limited, Eurus Energy Holdings Corporation and Guodian United Power Technology Company Limited.

Hay tres empresas que, aunque su matriz no es española o 100% española, si tienen grandes centros de fabricación de componentes eólicas en España y se encuentran entre las 20 primeras de la Unión Europea: Siemens-Gamesa; Vestas y Nordex-Acciona.

## 2.2. Grado de Madurez de la Energía Eólica

La energía eólica es, junto con la energía solar fotovoltaica, la energía renovable más madura y desarrollada y, por lo general, con un coste económico menor que las tecnologías convencionales<sup>35</sup> (AEE). Superada la barrera de madurez económica, los esfuerzos se centran en mejorar sus prestaciones relacionadas con la flexibilidad, integración en la red y prestación de servicios a la red eléctrica.

Una parte de las esperanzas de disrupción en tecnologías eólicas están asociadas al desarrollo de la **eólica marina**<sup>36</sup> tanto cimentada como flotante.

La evolución hacia la madurez tecnológica de las soluciones flotantes a nivel internacional permitirá que el despliegue de la eólica marina se lleve a cabo también en aguas españolas. En este contexto, diversas empresas españolas están desarrollando tecnologías flotantes que se encuentran en diferentes fases de avance, entre TRL-4 a TRL-6, y que aspiran a alcanzar el estado pre-comercial en los próximos años.

En este subsector (de la **eólica marina flotante**) la estimación de la evolución del TRL<sup>37</sup> realizada por REOLTEC es desde un TRL-4 en 2018 para evolucionar a un TRL-7 en 2030.

<sup>35</sup> Las últimas subastas en España (2021) incluyen una retribución máxima de entre 20 y 37 €/MWh según el mecanismo de Contrato por Diferencia

<sup>36</sup> De las 27 soluciones flotantes identificadas actualmente a nivel mundial, 7 son patentes españolas lo que demuestra el gran potencial de las empresas españolas en el desarrollo de diseños innovadores y disruptivos en plataformas flotantes

<sup>37</sup> TRLs: 'Technology Readiness Levels' / "Niveles de Madurez de una Tecnología". Se consideran 9 niveles que se extienden desde los principios básicos de la nueva tecnología hasta llegar a sus pruebas con éxito en un entorno real: TRL 1: Principios básicos observados y reportados. / TRL 2: Concepto y/o aplicación tecnológica formulada. / TRL 3: Función crítica analítica y experimental y/o prueba de concepto característica. / TRL 4: Validación de componente y/o disposición de los mismos en entorno de laboratorio. / TRL 5: Validación de componente y/o disposición de los mismos en un entorno relevante. / TRL 6: Modelo de sistema o subsistema o demostración de prototipo en un entorno relevante. / TRL 7: Demostración de sistema o prototipo en un entorno real. / TRL 8: Sistema completo y certificado a través de pruebas y demostraciones. / TRL 9: Sistema probado con éxito en entorno real. (Fuente: MINCOTUR).

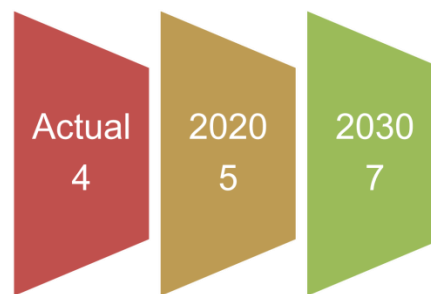


Figura 22. Estimación de la evolución de la madurez tecnológica para la energía eólica marina flotante (estimación de 2018. Fuente: REOLTEC)

## 2.3. Capacidad en ciencia, tecnología e innovación

Según los datos del MEIC hay **29 entidades que trabajan en investigación**, contando OPIs, centros tecnológicos y universidades:

Ciemat, CENER, Gaiker, Eurecat, Fundación Tekniker-IK4, TecNALIA, ITE (Instituto Tecnológico de la Energía), Centro de Apoyo a la Innovación Tecnológica (CTMA), CIDETEC-IK4, CEIT-IK4, CIRCE, AIMEN. AICIA, AIMPLAS, CARTIFF, CTC, AZTERLAN IK4, LORTEK IK4, IKERLAN, Universidad Politécnica de Madrid, Universidad de Vigo, Universidad de Las Palmas, ITER e ITC de Islas Canarias, Universidad de Navarra. Universidad Carlos III de Madrid, Universidad de Valladolid, Universidad de Sevilla, Universidad de Mondragón, Universidad de Zaragoza.

Por otro lado hay diez **centros de homologación y certificación** en tecnologías de generación eólica:

TECNALIA, SGS TECNOS, LAULAGUN BEARINGS, CENER, AEROBLADE, ESTEYCO SAP, UL, WIND 1000, APPLUS, AENOR

El número estimado<sup>38</sup> de **trabajadores en organismos y agentes de I+D** en tecnologías de generación eólica es de unos **900**.

### 2.3.1. Financiación obtenida por la tecnología

Según la AEE, [8]., en 2020, el esfuerzo de la industria eólica española en I+D alcanzó el 4,03% de su contribución al Producto Interior Bruto, esto es, 71,7 millones de €<sub>2015</sub>.

La financiación pública para I+D en tecnologías eólicas ha pasado de unos 25 M€ en 2010 a unos 15 M€ en 2019 según estimaciones<sup>39</sup> de REOLTEC.

<sup>38</sup> Directorio de centros tecnológicos y centros de apoyo a la innovación tecnológica (<https://sede.micinn.gob.es/inforct>). Datos de REOLTEC y AEE

<sup>39</sup> Asociación de datos de las aportaciones de financiación de origen tanto nacional como internacional, incluyendo la aportación total independientemente de si se trata de subvención o de crédito.

### 2.3.2. Patentes españolas en Energía Eólica

A nivel internacional, España se sitúa como **sexta potencia mundial en materia de propiedad intelectual** generada (patentes) en torno al sector eólico, sólo por detrás de Estados Unidos, Alemania, Japón o China. En el periodo comprendido entre **2004 y 2019, las empresas españolas han publicado 1.207 patentes relacionadas con la tecnología eólica**, (AEE, [8]. ).

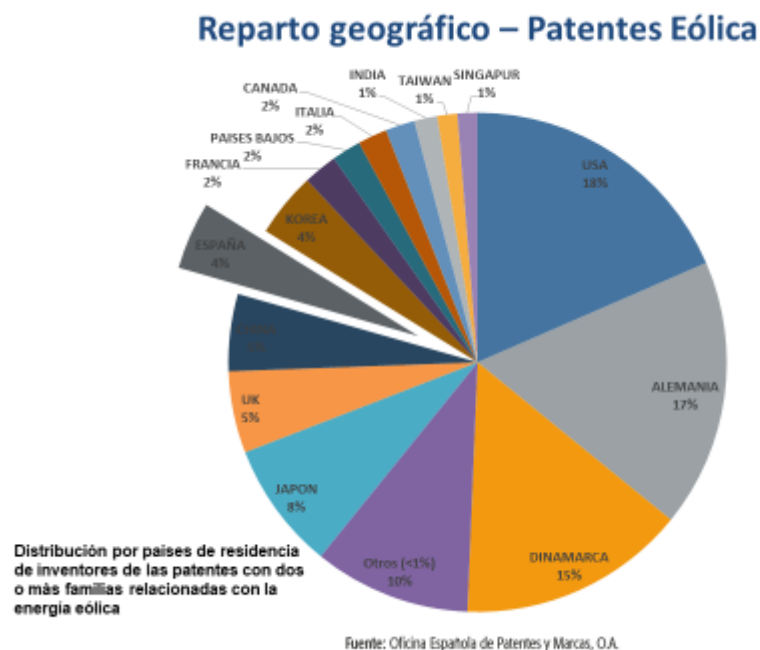


Figura 23. Distribución mundial de la generación de papetentes relacionadas con la energía eólica (Fuente: REOLTEC)

Según REOLTEC el nº de patentes aportadas en España en el campo de la eólica en 2015 fue de 85 y en 2016 de 44<sup>40, 41</sup>.

La distribución de solicitudes de patentes por comunidades autónomas (CCAA) en España esta asociada a la existencia de centros de I+D en tecnologías de generación eólica en su territorio.

<sup>40</sup> Hay una caída de las patentes, lo que no significa que haya correlación directa con la caída de la actividad investigadora de innovación. Resaltar que no todo lo que se patenta tiene entidad, así como que algunas cosas no patentadas tienen recorrido tecnológico. La crisis ha limitado la capacidad financiera de las empresas para presentar patentes y luego mantenerlas, pero sí es cierto que se aprecia una caída de la actividad de patentes por parte de las entidades españolas.

<sup>41</sup> Enlavces de la web de la Organización Mundial de la Propiedad intelectual donde aparece la relación de patentes publicadas en energía eólica para 2015 y 2016: <http://cip.oepm.es/ipcpub/#lang=es&menulang=ES&refresh=page&notion=scheme&version=20160101&ymbol=F03D>; <http://cip.oepm.es/ipcpub/#lang=es&menulang=ES&refresh=page&notion=scheme&version=20160101&ymbol=H02S001012>.

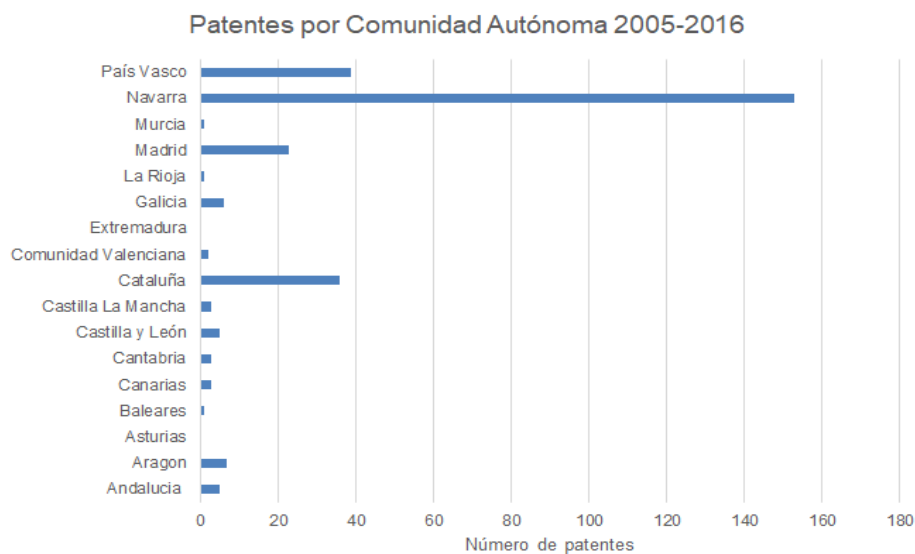


Figura 24. Número de patentes en generación eólica distribuidas por CCAA (Fuente: REOLTEC)

### 3. RETOS GLOBALES Y DE I+D+I EN ENERGÍA EÓLICA

Según REOLTEC (en 2018), la tecnología eólica en tierra está marcada por tres factores o retos globales:

- **Necesidad de reducir los costes de generación.** La consecución de este objetivo tiene incidencia en el aumento del diámetro de las máquinas. Otro área de desarrollo para este objetivo es la digitalización de los parques para simular su comportamiento, adelantarse a las condiciones de funcionamiento operativo en función del recurso, etc.
- **Integración en red:** La regulación potencia-frecuencia y el aporte de inercia son importantes para la integración de la eólica en la red<sup>42</sup>. Se trata de aportar servicios que en estos momentos aporta la generación convencional (los códigos de red cada vez son más exigentes)<sup>43</sup>.

<sup>42</sup> España es el primer país del mundo en que la eólica participa en los mercados de ajuste o mercados de regulación potencia-frecuencia, lo que despierta interés en otros países. La experiencia está siendo positiva y somos un referente, aunque no tiene, de momento, unas implicaciones técnicas importantes. REOLTEC insiste cada vez más en que los parques colaboren en estos servicios de ajuste.

<sup>43</sup> En España, por ejemplo, se ha aplicado el reglamento europeo 2016/631 que establece requisitos tanto en funcionamiento permanente como en funcionamiento perturbado, tanto para el control de tensión como para el control de frecuencia, y hay un debate abierto con REE sobre la capacidad que deben tener los generadores eólicos de ayudar a recuperar tensión en el momento que aparece un hueco, siendo este un caso específico de la eólica

- **Alargamiento de vida de los parques eólicos:** se están superando la vida de diseño de los aerogeneradores, que viene determinada por las cargas de fatiga que soportan las máquinas. Por lo general, los parques eólicos en España soportan un viento menos intenso de lo calculado, sobreestimando el viento. Pero, en cambio, desde el punto de vista de la turbulencia es al contrario: se subestima la turbulencia, lo que hace que en algunos lugares las máquinas estén en situación de reemplazo, aunque, por lo general, la tendencia es al alargamiento de vida. Tiene, entre otras implicaciones: la digitalización de los parques eólicos.

La otra cara de la moneda es la **repotenciación**: en aquellos sitios donde se han subestimado las cargas, es recomendable cambiar las máquinas antiguas por otras nuevas. Por otro lado, en España hay mucha potencia instalada que está llegando al final de su vida útil y se tiende a la instalación de generadores de mayor potencia y tamaño. Técnicamente, el proceso no conlleva mucha carga tecnológica, excepto la parte de la **economía circular: reciclado y reutilización de componentes**.

### 3.1. Retos de I+D+i en Tecnologías de Energía Eólica

#### En eólica terrestre:

Se necesita avanzar en el desarrollo de **soluciones innovadoras para la energía eólica terrestre, que incrementen su gestionabilidad y reduzcan sus costes**. Esta necesidad plantea dar respuesta a cuestiones que hoy en día todavía no han aflorado, como son:

- **el aporte de inercia:** qué respuesta deben tener los aerogeneradores cuando hay una variación brusca de potencia.
- **el arranque desde cero:** cuando se produce un apagón cómo son capaces los aerogeneradores de que aparezca tensión y frecuencia y que la red se mantenga

Además, hay retos en **en temas horizontales/transversales** tales como:

- A nivel de integración en red se está trabajando en la **adecuación de las máquinas a códigos de red** cada vez más exigentes para poder participar en los servicios de ajuste. También se está trabajando en conexiones a red en continua de alto voltaje, HVDC,
- la **incorporación de sistemas de almacenamiento,**
- desarrollo de **torres meteorológicas automontables,**
- hibridación con otras renovables (como la fotovoltaica) para maximizar el uso de los puntos de conexión a red,
- la digitalización de los parques y aerogeneradores para mejorar la gestionabilidad y la operación, buscando la optimización de los procedimientos de mantenimiento tanto predictivo como operativo, y tendiendo cada vez más a una operación de carácter remoto
- el **reciclado de todos los componentes y materiales** que componen un aerogenerador. (Hasta ahora las palas no son elementos altamente reciclables. Se han buscado soluciones pero el material que las compone no garantizaría, en caso de ser usado para nuevas palas, la resistencia que inicialmente tenía dicho material),

- Se debería trabajar en el desarrollo de **nuevos materiales para palas**.
- A nivel de **tren de potencia** trabajar en la **reducción de etapas de multiplicación y garantizar la fiabilidad**,
- innovar en aquellas actividades que tienen mucho impacto en el sector como puede ser la operación y mantenimiento para garantizar la seguridad de las máquinas,
- También deberían **desarrollarse revestimientos** para limitar el impacto en los radares y en las telecomunicaciones, para lo cual habría que trabajar en colaboración con el sector de telecomunicaciones, el aeronáutico y militar,
- **innovar en la logística** debido a la tendencia a instalar máquinas de mayor tamaño, lo que es un reto logístico a la hora de desplazar todos los materiales,
- Aunque no sea una línea prioritaria de investigación, el aspecto medioambiental es muy importante, por lo que hay que seguir trabajando en la predicción del impacto visual, acústico y radioeléctrico y el impacto en la zona.



Figura 25. Evolución de las prioridades de I+D+i en eólica terrestre según REOLTEC (2018)

### En eólica marina:

Se deberá continuar desarrollando avances técnicos para **reducir los costes de la energía eólica marina**, centrándose **sobre todo en la energía eólica marina flotante**.

En España no tenemos plataforma continental, lo que nos avoca al desarrollo de soluciones de eólica flotante competitiva, teniendo como reto a corto plazo el desarrollo de proyectos de soluciones de sustentación flotante<sup>44</sup> (ya que la máquina que se ponga encima puede ser una máquina comercial).

Entre los **retos de I+D+i para eólica marina** están:

- **reducción del coste** de producción (LCOE).

<sup>44</sup> Como preceñetes solo hay un parque eólico flotante a nivel mundial, por lo que se tendría que seguir trabajando en el desarrollo de estructuras flotantes

- desarrollar **técnicas de montaje** que causen un impacto medioambiental limitado
- el **aumento de potencia de los aerogeneradores**
- **mejoras en los sistemas de control y monitorización** para que sea más fácil llevar a cabo el mantenimiento en caso de fallo.
- el **desarrollo de revestimientos**, ya que los parques marinos están sometidos a la corrosión y a vientos muy extremos,
- la **logística para reducción de tiempos** afecta tanto a on-shore como a off-shore. En eólica marina hay que tener en cuenta no sólo el coste de desplazamiento y montaje de los aerogeneradores, sino que también hay que tener en cuenta la ventana temporal para poder llevarlo a cabo, lo que encarece mucho los costes, por lo que habría que optimizar tanto la logística de operación y mantenimiento como la de instalación.

### 3.1.1. Agendas Estratégicas de I+D+i

En 2021, dentro del “Marco Estratégico de Energía y Clima” se ha publicado la “**Hoja de Ruta de la Eólica Marina y Energías del Mar**” [1]. , que revisa las fortalezas y la cadena de valor industrial y de la I+D+i del sector en España y en la que se fijan los objetivos a 2030. Entre los objetivos se plantea:

- “Convertir a España en un ‘hub’ de referencia para el desarrollo y prueba de nuevas soluciones ‘offshore’ estableciendo un marco flexible y ágil ‘plug&play’ mediante el refuerzo de las plataformas de ensayo existentes, el desarrollo de un marco de tramitación atractivo para nuevas plataformas de ensayo y, especialmente, el intercambio de prototipos dentro de las condiciones de contorno de las plataformas, todo ello acompañado del ecosistema de I+D+i del que forman parte los centros tecnológicos del país.
- “En concreto, el marco a desarrollar aspira a ser líder en el ámbito europeo en cuanto a los plazos de autorización para la prueba de nuevos prototipos”.
- “Adicionalmente, se acompaña de un marco de apoyo que busca incrementar de manera significativa el presupuesto de inversión pública en I+D+i en el ámbito de la energía eólica marina y las energías del mar, dedicando al menos **200 millones de euros públicos en el periodo 2021-2023** para la innovación tecnológica en este ámbito, en función de la madurez de los proyectos y las propuestas que presenten los distintos agentes”.

Atendiendo al estado del arte actual, se establece como **objetivo de desarrollo de la eólica marina flotante en España a 2030 la horquilla entre 1 GW y 3 GW** de nueva capacidad.

	Objetivos Hoja de Ruta	Referencias 2030
Eólica marina	1 – 3 GW	5 – 30 GW flotante a nivel global. <sup>42</sup> 7 GW flotante a nivel europeo. <sup>43</sup> 60 GW (fijo y flotante) a nivel europeo. <sup>44</sup>

La **componente 7 de Plan de Recuperación Transformación y Resiliencia** pretende específicamente **promover la investigación y la innovación, así como el despliegue de la eólica marina** y de las energías marinas en España, a través de la actualización de las principales medidas regulatorias para establecer unas condiciones de contorno óptimas para la correcta evolución de la economía azul.

“Dentro del PRTR, España se ha comprometido con Europa al cumplimiento de los siguientes **hitos relacionados con el despliegue de la energía eólica marina** y las energías del mar en España, para el periodo 2021-2023, que han de entenderse como límites temporales máximos para su cumplimiento:”

Número	Medida	Hito	Nombre	Tiempo		Descripción de cada Hito y Objetivo
				Trimestre	Año	
I12	C7.R4	Hito	Hoja de Ruta de la energía eólica marina y otras energías del mar.	T4	2021	Publicación de la Hoja de Ruta de la Energía eólica marina y otras energías del mar.
I13	C7.R4	Hito	Entrada en vigor de las medidas reglamentarias identificadas en la Hoja de Ruta de la energía eólica marina y otras energías del mar.	T2	2023	Entrada en vigor de las principales medidas reglamentarias identificadas en la Hoja de Ruta de la energía eólica marina y otras energías del mar, para promover la investigación y la innovación, así como apoyar el despliegue de tecnologías flotantes. Medidas clave: <ul style="list-style-type: none"> <li>• La aprobación definitiva de los planes de ordenación del espacio marítimo,</li> <li>• La mejora de la coordinación de la planificación de la red y de la estrategia marina y la actualización del marco reglamentario.</li> </ul>
I16	C7.I1	Hito	Nuevos proyectos, tecnologías o instalaciones de infraestructuras de energías renovables marinas.	T3	2023	Al menos seis avances adjudicados que fomenten nuevos proyectos, tecnologías o instalaciones de infraestructuras de energías renovables marinas. Los seis avances deben contribuir a la ejecución de proyectos de energías renovables marinas en España. Los avances podrán incluir a PyMes con actividades de energías renovables marinas que reciban subvenciones, préstamos o inversiones en capital, participen en la contratación pública precomercial, así como subvenciones concedidas directamente a proyectos marinos de energías renovables o a un prototipo de una nueva tecnología de producción o un despliegue de energías renovables marinas.

Las medidas que recoge la Hoja de Ruta de la eólica marina y las energías del mar, cuya implementación implicaría el cumplimiento de los hitos del PRTR específicos mencionados en la tabla anterior son las siguientes:



Hitos y Objetivos del Plan de Recuperación Transformación y Resiliencia	Medidas en la Hoja de Ruta para el desarrollo de la eólica marina y energías del mar en España
I13 (C7.R4): Entrada en vigor de las principales medidas reglamentarias identificadas en la Hoja de Ruta de la energía eólica marina y otras energías del mar.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Medida 3.1. Definición y aprobación en los POEM de la zonificación para el desarrollo de parques eólicos marinos.</li> <li>• Medida 3.2. Elaboración y publicación de visores geográficos con información relativa al recurso eólico marino y de las Energías del Mar en España y a las zonas establecidas en los POEM.</li> <li>• Medida 3.3. Coordinación del marco de acceso y conexión y nuevos modelos de gestión de las redes eléctricas.</li> <li>• Medida 3.4. Adecuación del marco administrativo de autorización de instalaciones renovables marinas.</li> </ul>
I16 (C7.I1): Nuevos proyectos, tecnologías o instalaciones de infraestructuras de energías renovables marinas.	<p>Las medidas aquí listadas facilitarán la implementación del hito, pero no son una condición indispensable para el cumplimiento del mismo.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Medida 1.1. Desarrollo y refuerzo de plataformas de ensayos.</li> <li>• Medida 1.2. Programas de desarrollo tecnológico.</li> </ul>

45

En particular, **la Medida 1.1 (Desarrollo y refuerzo de plataformas de ensayos) tiene por objetivo**. “Consolidar y potenciar la posición de liderazgo de España en cuanto a capacidades e infraestructuras para la I+D+i y demostración de soluciones tecnológicas innovadoras relacionadas con las energías renovables marinas, incluyendo ‘instalaciones híbridas renovables marinas’”. **Y para su consecución, se propone:**

- El refuerzo de las capacidades de ensayos de las infraestructuras de I+D+i existentes en España relacionadas con eólica marina y energías del mar,
- Implementación de nuevas plataformas de ensayos para prototipos y proyectos precomerciales de eólica marina y de energías del mar, apoyándose también en las infraestructuras portuarias existentes e incluyendo ubicaciones en emplazamientos marinos con aguas profundas.ç

La **Medida 1.2 (Programas de desarrollo tecnológico)** incluye entre sus **objetivos** el “Desarrollo tecnológico de instalaciones precomerciales y prototipos eólicos marinos tanto para tecnología flotante como de cimentación fija , subestructuras flotantes y dispositivos de energías del mar, atracción de ensayos reales de estas tecnologías a las plataformas marinas de pruebas en España y desarrollo de mercado para nuevas tecnologías”. Y para su consecución prevé:

- **“Mecanismos e instrumentos de impulso y acompañamiento a los proyectos de desarrollo tecnológico, enfocados a la atracción de proyectos piloto, de I+D+i y precomerciales con nuevos conceptos tecnológicos en el ámbito de las energías renovables marinas, para su implantación en las costas españolas”.**
- “En el marco del PRTR se prevé movilizar al menos 200 millones de euros de presupuesto público en apoyo al desarrollo tecnológico de las tecnologías renovables marinas en el periodo 2021-2023, en función de participación de los distintos agentes, la madurez de los proyectos y de las iniciativas de I+D+i susceptibles de acogerse a esta línea de actuación.

<sup>45</sup> POEM: Planes de Ordenación del espacio Marítimo

## 3.2. Iniciativas Tecnológicas Prioritarias (ITPs) Identificadas por REOLTEC

REOLTEC ha identificado tres líneas prioritarias de I+D+i o Iniciativas Tecnológicas Prioritarias (ITPs):

- La reducción del coste de la eólica marina a través del desarrollo de sistemas
- La participación en la operación del sistema eléctrico
- Los nuevos sistemas de mantenimiento.

### 3.2.1. ITP-1:- La instalación de aerogeneradores tanto sobre el fondo marino como flotantes. Reducción del LCOE: nuevos materiales y reducción de los actuales.

<b>Descripción:</b>	Esta ITP está centrada en la reducción de costes incrementando la fiabilidad de los parques eólicos situados fuera de la costa teniendo en cuenta que la localización, la evacuación de la producción eléctrica y la cimentación/sistema de flotación, así como las complicaciones de la construcción en el mar el uso de buques de gran tamaño dificulta el desarrollo de esta tecnología.
<b>Objetivos Generales:</b>	El principal objetivo es el desarrollo de sistemas flotantes que se puedan emplear en profundidades mayores alcanzando unos costes similares a la de las estructuras fijas y mejorando los lugares potenciales de ubicación.  Adicionalmente, habrá que trabajar en el desarrollo de cables submarinos para facilitar la integración de la energía en la red, así como los transportes. La otra línea de innovación marina sería el desarrollo de un procedimiento de montaje mejorado de los aerogeneradores para la reducción de costes, intentando desarrollar un sistema de montaje terrestre que reduzca la peligrosidad y facilite el montaje.
<b>Oportunidades detectadas para el desarrollo de la ITP en Andalucía y en España</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Existe un gran potencial de energía renovable sin explotar procedente del mar, que dependerá del incremento de capacidad técnica y de investigación.</li> <li>• Andalucía fue la primera CA donde se inició la tramitación de parques eólicos en el golfo de Cádiz, se podría aprovechar las iniciativas en la zona de Trafalgar para impulsar algún proyecto piloto.</li> <li>• Dada la experiencia anterior sería interesante arrancar con algún proyecto que simule el comportamiento de los peces y permita seleccionar los mejores emplazamientos.</li> <li>• Desarrollo de las zonas costeras y creación de empleo, tanto en los parques eólicos como en las industrias asociadas.</li> <li>• España cuenta con el know how y la capacidad de posicionarse competitivamente en el mercado mundial cuenta además con prestigiosas instalaciones de ensayo como PLOCAN, CEHIPAR, IHC y BIMEP.</li> </ul>
<b>Horizonte Temporal:</b>	2025
<b>Recursos Financieros necesarios para su desarrollo:</b>	Mecanismos de apoyo financiero para el desarrollo de proyectos de demostración pre-comercial, invirtiendo en fondos comunitarios como el FEDER que permitan la construcción viable de este tipo de proyectos.
<b>Aspectos No Financieros, Legales y Regulatorios Necesarios:</b>	<p>Coordinación entre organismos públicos y la industria para fomentar un entorno regulatorio que genere confianza en los inversores.</p> <p>Las cuestiones más importantes serían la mejora de la tramitación administrativa, facilitando trámites y reduciendo plazos, así como fomentar la normalización de procedimientos técnicos y de certificación para el desarrollo de estándares internacionales offshore.</p>

### 3.2.2. ITP-2: Integración en red: cumplimiento de los códigos de red y participación activa y flexible en la operación del sistema eléctrico.

**Descripción:** Mejora de las prestaciones técnicas y operativas de los generadores eólicos, soluciones híbridas e incorporación del almacenamiento para garantizar la correcta operación del sistema con una mayor penetración renovable sin que ello suponga un incremento del coste

**Objetivos Generales:** El objetivo general es conseguir la adaptación de las máquinas eólicas a lo dispuesto en los nuevos códigos de red garantizando una operación flexible, así como el suministro de red sin que ello aumente el coste de las máquinas ni afecte a la vida útil de sus componentes y materiales.

La actividad de I+D+i se centrará en evaluar cómo la participación en la seguridad del sistema eléctrico afecta a los componentes del aerogenerador para de esta manera conseguir materiales y configuración de equipos que sean capaces de responder a los requerimientos del sistema con robustez y flexibilidad sin que ello afecte de forma notoria al coste de inversión de las máquinas.

De forma complementaria se van a ensayar distintas soluciones que combinen tecnologías renovables y sistemas de almacenamiento que contribuyan a dar firmeza a la aportación renovable sujeta siempre a la variabilidad del recurso.

**Oportunidades detectadas para el desarrollo de la ITP en Andalucía y en España**

- Refuerza la cooperación de PYMES con grandes fabricantes y también con centros tecnológicos.
- Compromiso de la UE de instar a los distribuidores y gestores de redes de distribución eléctrica a incrementar la cooperación interterritorial en el comercio transfronterizo y para el desarrollo de mercados de ajuste eficaces.
- Desarrollo técnico y operativo de aplicación práctica en los territorios insulares que puedan posteriormente trasladarse a terceros países.
- La parte oriental de Andalucía se caracteriza por una falta de infraestructura de interconexión y la presencia de diferentes tecnologías renovables, lo que permite la realización de experiencias piloto de gestión de las plantas e incorporación del almacenamiento.

**Horizonte Temporal:** El horizonte temporal lo marca la necesidad de desarrollo de un código de red español que se adapte y enmarque en la normativa de referencia y que garantice y establezca a nivel de conexión a la red de las instalaciones de producción de electricidad, instalaciones de consumo y de distribución de energía y las instalaciones de transporte HVDC que se conectan al sistema eléctrico

Para lograr los objetivos marcados en los horizontes de 2020 y 2030 será necesario no sólo el incremento de la potencia renovable instalada ente la que se cuenta la eólica, además de todo lo anterior, se hace necesaria la mejora de las conexiones con los parques para garantizar la total integración con la red y una óptima respuesta en los servicios de ajuste.

**Recursos Financieros necesarios para su desarrollo:** Se deben aprovechar los fondos de desarrollo regional FEDER que tienen una importante intensidad de ayuda en el caso de Andalucía.

**Aspectos No Financieros, Legales y Regulatorios Necesarios:** Los propios fabricantes de aerogeneradores junto con los grandes operadores de parques eólicos españolas están participando en la redacción de los nuevos códigos de red. Por ello, se considera que a nivel regulatorio se está avanzando en la dirección correcta para establecer un marco suficientemente sólido que ayude al cumplimiento de los objetivos establecidos en los marcos de los horizontes 2020 y 2030.

### 3.2.3. ITP-3: Aerogeneradores. Nuevos sistemas de mantenimiento, incremento de disponibilidad y alargamiento de vida.

<b>Descripción:</b>	Desarrollo de soluciones innovadoras orientadas a mantener la producción y llegar a 40 años de vida útil con los menores cambios posibles de los equipos ahora operativos.
<b>Objetivos Generales:</b>	<p>Mejora de la disponibilidad de las máquinas y de sus sistemas de control para optimizar la operación y mantenimiento y alargar la vida de los componentes a través del análisis de datos que aumente predictibilidad y robustez. Para su consecución las líneas prioritarias de desarrollo serían las siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Digitalización de los aerogeneradores para predecir el comportamiento de las máquinas.</li> <li>• Desarrollo de sensores con mayor durabilidad.</li> <li>• Estandarización de componentes que permita su intercambio</li> <li>• Desarrollo de procedimientos de diagnóstico precoz de fallos</li> <li>• Métodos de logística innovadores.</li> </ul>
<b>Oportunidades detectadas para el desarrollo de la ITP en Andalucía y en España</b>	<p>El parque eólico en España tiene una madurez elevada. En 2020 el 46% de los parques superará los 15 años y el 43% tendrá entre 10 y 15 años. En Andalucía hay alrededor de 100MW que se instalaron con anterioridad a 2001. La situación en Dinamarca y Alemania es similar o incluso tiene parques de mayor edad.</p> <p>A esto hay que sumarle el aumento progresivo de energía eólica previsto para suplir la disminución de potencia de otras potencias basadas en combustibles fósiles.</p> <p>La confluencia entre el alargamiento de vida de las máquinas existentes junto con el aumento esperado de potencia supone el marco perfecto para la evolución de los procedimientos en la operación y mantenimiento de los parques eólicos.</p> <p>Por otro lado, en Andalucía coexisten tecnologías antiguas de incluso fabricantes desaparecidos con parques nuevos, sería por lo tanto conveniente avanzar en el alargamiento de vida de los primeros para ir planteando soluciones de repotenciación en base a la experiencia de los nuevos parques.</p>
<b>Horizonte Temporal:</b>	<p>El mercado es claramente prometedor por las razones expuestas y teniendo en cuenta que en España en 2020 habrá 2300 MW de potencia con más de 20 años y en 2025 se multiplicarán por 5 alcanzando casi los 10000 MW.</p> <p>En base a esta información, el primer plazo temporal a marcar sería hasta 2020 y el segundo hasta 2025.</p>
<b>Recursos Financieros necesarios para su desarrollo:</b>	<p>Apoyo vía subvención o créditos preferenciales a las soluciones que demuestren que se puede alargar la vida de las instalaciones mejorando o manteniendo tasas de disponibilidad próximas al 90%. Se podría estimar que esta línea estaría en el entorno de 30-40M€.</p> <p>Atraer inversores que aporten entre el 10-30% del valor inicial de la turbina garantizando la estabilidad del OPEX hasta al menos el año 30 de operación.</p> <p>Una vez más hay que aprovechar los fondos FEDER.</p>
<b>Aspectos No Financieros, Legales y Regulatorios Necesarios:</b>	Regulación y estandarización de las actividades de diagnóstico, operación y mantenimiento en todos los países para que facilite las mismas, así como la formación e introducción de personal cualificado en el sector eólico. Hay que tener en cuenta que superados los 20 años de vida útil se pierde la certificación del diseño lo cual tiene implicaciones legales y jurídicas.

## 4. RESUMEN DE LA EVALUACIÓN DEL GEVAL

El Grupo de Evaluación del Comité de Estrategia de ALINNE (GEVAL) se reunió el 7 de marzo de 2018 con REOLTEC para realizar un ejercicio de subjetividad compartida que permitiera definir su opinión sobre el posicionamiento tecnológico español en tecnologías de generación eólica, el valor intrínseco de éstas a nivel global y nacional, las bases de la I+D+i de esta materia en España, así como las barreras a afrontar para el desarrollo y despliegue en el mercado.

La plataforma REOLTEC expuso, mediante presentación ante el GEVAL (**Apéndices II y III**) su visión sobre la situación y perspectivas de tres áreas tecnológicas de generación eólica (tanto en tierra u “onshore” como en localización marina u “offshore”), así como sus valoraciones sobre Indicadores solicitados por ALINNE para estas áreas tecnológicas cuyos resultados habían sido remitidos previamente a la reunión por REOLTEC a ALINNE (**Apéndice I**).

En la reunión, REOLTEC expuso y respondió de manera exhaustiva a las cuestiones del GEVAL relacionadas con los indicadores comunes del ejercicio APDTE (5 indicadores cuantitativos y 2 de posicionamiento tecnológico) además de todas aquellas cuestiones aclaratorias suscitadas por los participantes en la reunión.

Adicionalmente se llevó a cabo el ejercicio de subjetividad compartida, siguiendo la metodología de cuestiones con votación presencial de las alternativas a las 40 cuestiones comunes (de este ejercicio APDTE sobre 13 áreas tecnológicas) cuyos resultados se recogen en el **Apéndice IV**.

El conjunto de la información facilitada por REOLTEC (previamente y durante la reunión) junto con las opiniones de GEVAL y la revisión de los documentos que se incluyen en las referencias son la base de este documento de análisis sobre el potencial de desarrollo de las tecnologías de generación eólica en España, con especial atención a los retos de I+D+i y una valoración del despliegue comercial presente y futuro.

El GEVAL reconoce que la generación eólica muestra niveles de desarrollo muy competitivos en su versión de eólica en tierra y se ha convertido en una tecnología clave para la descarbonización del sistema eléctrico en España y que va a seguir siendo la principal apuesta en nueva capacidad de generación eléctrica de aquí al 2030.

La generación de electricidad con energía eólica representa ya entorno al 22% de la generación total en España y se espera que (tras el parón de 2012-2017) la puesta en operación de la nueva capacidad eólica proyectada en el PNIEC eleve su contribución relativa en el mix de generación a niveles del 35% de la electricidad en 2030.

Por otro lado, el GEVAL asume que la eólica marina está acelerando su desarrollo tecnológico e industrial, haciendo viable a medio plazo su implantación en España gracias a soluciones de eólica marina flotante.

Tras la presentación y discusión establecidas entre el GEVAL y los representantes de REOLTEC, una mayoría del GEVAL, en sus votaciones, opina que la industria española ya “tiene un amplio mercado” (66.7%) o “tiene un nicho de mercado interesante” (22.2%) para la fabricación de componentes asociados a las tecnologías de generación eólica.

Una mayoría (55.6%) de los miembros de GEVAL reconoce a las tecnologías de generación eólica ha generado un desarrollo de tejido empresarial muy significativo, con ventas superiores a 5.000 M€/año o (según el 40%) con ventas entre 500 y 5.000 M€/año.

Existió acuerdo mayoritario (64.7%) en que existen mas de 10 empresas españolas o filiales españolas de empresas internacionales asociadas a las tecnologías de generación eólica con adecuado posicionamiento. La cuota de mercado nacional integrada de los últimos 10 años para las empresas anteriores, alcanza, en opinión del 47% del GEVAL, mas del 50% del mercado, mientras que 35% de GEVAL opta por la opción de una cuota de mercado entre 10% y 50%.

Ha habido opinión unánime en el GEVAL en que existen “empresas españolas capaces de dar respuesta en el corto y largo plazo a los desarrollos tecnológicos necesarios”, aunque la tecnología no esté del todo desarrollada (como en la eólica flotante), con el fin de llevarlos a la cadena productiva”.

La visión de futuro del GEVAL sobre las tecnologías de energía eólica es optimista, como demuestra su opinión afirmativa (94.4% de los votos) sobre la cuestión de si ya existen en España empresas preparadas para dar respuesta a los retos tecnológicos y sobre la cuestión de “creación esperada de nuevas empresas industriales españolas (incluidas nuevas ramas de actividad en industrias ya existentes) asociadas a la tecnología”: Para el año 2022 las respuestas del grupo dan un valor medio de creación de 8 nuevas empresas, y en el periodo 2022-2030 (las votaciones de GEVAL) prevén más de 11 nuevas empresas.

La visión positiva anterior es corroborada por el GEVAL al estimar que las empresas españolas del sector alcanzarían para el período 2021-2030 cuotas de mercado nacional por encima del 30% y en torno al 15% en el mercado internacional. En este punto REOLTEC resalta que “teniendo en cuenta al mercado chino, el resultado de esta valoración es alto”.

Mayoritariamente (50% de los votos), el GEVAL considera que las tecnologías de energía eólica merecen atraer un mayor apoyo de las políticas públicas de I+D+i, concentrándolo en “proyectos de desarrollo tecnológico de colaboración público-privada, a realizar por consorcios de empresas y agentes de I+D”, un 11% opta por la opción de concentrar mayor apoyo en “proyectos de investigación realizados por agentes de I+D” y un 33% por la opción de atraer apoyo a los “proyectos de innovación empresarial”.

El GEVAL estima que el mercado de las tecnologías de generación eólica será en 2022 de entre 500 y 2000 M€/año para la tecnología española, considerando mercado nacional e internacional. Para el periodo 2022-2030 la opinión de GEVAL opta por un crecimiento de mercado a valores anuales del entorno de los 2000 M€ o mayores, dando cuenta de la confianza de este grupo en la evolución positiva del mercado doméstico e internacional.

La importancia de los mercados exteriores de las tecnologías de energía eólica para la industria española en 2022, se dirige principalmente a Europa y Latinoamérica ambos igualados con un 53 % del total de los votos asignados por GEVAL (opciones no excluyentes). En la perspectiva del periodo 2022-2030 se estima un predominio de Latinoamérica como principal mercado (100% de los votos) seguido del mercado Europeo (85% de los votos).

Al preguntar al GEVAL sobre la orientación preferente para establecer alianzas estratégicas en terceros países **para potenciar la innovación**, se identificó a Europa como la principal región con un 100% de los votos, seguida de Asia con un 92 % y de América del Norte y Latinoamérica, ambas igualadas con un con un 67 %.

La región de mayor interés para establecer alianzas estratégicas para la conquista del **mercado** por las empresas españolas dedicadas a generación eólica, en opinión mayoritaria de GEVAL es Latinoamérica (100% de votos no excluyentes) seguida de Europa (85%) y de América del Norte (69%).

El GEVAL opina que las tecnologías de generación eólica “merecen que el país concentre un mayor esfuerzo inversor, el apoyo de otras políticas y la generación de normativa e instrumentos adecuados para que España disponga de una ventaja diferencial a medio plazo”, aunque con alguna reserva sobre su evolución, lo que ratifica la opinión mayoritaria de que el país tiene ante sí una importante oportunidad en este campo. Considerando las circunstancias anteriores, así como el potencial de actividad y empleo de estas tecnologías, GEVAL opina “si, claramente”, con un 84% de sus votos (frente al 10.5 % que opta por “si, con alguna reserva sobre su evolución”) que estas tecnologías Si deben disponer de más recursos públicos dedicados a la innovación que otras tecnologías energéticas.

Sobre la cuestión a GEVAL de si se considera oportuno que la generación eólica disponga de mas recursos dedicados a la innovación que otras tecnologías, un 74% opina que si, un 10% opina que no y un 16% opta por la opción “indiferente”.

Sobre la cuestión de si las tecnologías de generación eólica se enfrentan a “retos de aceptación social”, solo un 20 de GEVAL piensa que si o que es “dudoso”, mientras que un 84% piensa que no.

Las opciones elegidas para abordar problemas de aceptación social se reparten entre la “necesidad de desarrollar normativa y legislación” (42%), la necesidad de “información al público” (26%) y el desarrollo de “proyectos de demostración locales” (26%).

La plataforma tecnológica y las empresas dedicadas a las tecnologías de generación eólica han identificado las barreras regulatorias que deben reformarse para la acelerar su implantación y un 94 % de los miembros del GEVAL opina que es factible que se realicen estas reformas a corto plazo.

Las plantas de demostración son elementos clave para superar las etapas de investigación y avanzar de forma eficaz hacia la innovación, siendo crucial un plan eficaz y eficiente de plantas de demostración, identificando las mismas, y las fórmulas realistas para su financiación. La información suministrada por REOLTEC en este ámbito es considerada suficiente por el 89 % del GEVAL.

Por la naturaleza y tamaño de los proyectos de demostración necesarios, se ha preguntado al GEVAL si estos son viables para ser desarrollados en España en el corto plazo. La respuesta mayoritaria ha sido positiva, con un 17 % de votos sin reservas, un 53% de votos que consideran “conveniente combinar capacidades nacionales de I+D+i, existentes o nuevas, con externas, para maximizar el beneficio industrial en España” y un 28% considera que es mejor buscar colaboraciones multinacionales para su desarrollo en Europa.

El GEVAL considera mayoritariamente que en España “hay una base sólida de investigación en las tecnologías de generación eólica analizadas, competitiva a nivel internacional, con personal muy cualificado, con instalaciones experimentales punteras y grupos de renombre”; sin embargo, se anima a mejorar dicha base con aportaciones especiales para mantenerla y a potenciar la colaboración entre centros y grupos de investigación para alcanzar masas críticas, o una focalización de esfuerzos adecuada.

Se considera que las infraestructuras de I+D+i necesarias para el desarrollo de estas tecnologías en España se encuentran repartidas por igual dentro y fuera de España (en opinión del 50%) o que ya “existen en España las infraestructuras de I+D necesarias, o que pueden existir en un plazo razonable sin un coste apreciable”, en opinión del 33%.

En opinión de algo mas de la mitad de GEVAL (76%) , la capacidad de los centros de I+D+i en tecnologías de energía eólica SI recoge las áreas de homologación y certificación adecuadamente mientras que el 24% opina que la capacidad de los centros de I+D+i aun NO recogen adecuadamente las necesidades de homologación y certificación y que es necesario que se desarrollen.

Para una “adecuada organización de la I+D+i en estas tecnologías, que favorezca la consecución de los objetivos”, en opinión del 69% de GEVAL “estaría justificado crear líneas de priorización o programas de financiación” y el 25% opina que “deberían proponerse cambios en los planes de acción y coordinación”. La mayoría de GEVAL (65%) considera que los apoyos a la I+D+i en estas tecnologías son mas “generales” (65%) que prioritarios (35%).

La opinión del GEVAL coincide con la posición de REOLTEC en cuanto a que los desarrollos tecnológicos en el sector de la generación eólica, llevados a cabo en España por empresas y centros de investigación, son conocidos y valorados fuera de nuestro país. En lo que respecta a los centros de I+D+i del país, son bien conocidos, apreciados por contratistas extranjeros.



Como en otros campos de la investigación de nuestro país, la actual capacidad de transferir conocimiento desde la Ciencia y la Tecnología al mercado se considera aceptable por un 73% de GEVAL, mientras que se considera más una asignatura pendiente (en opinión del 28%). No obstante, la penetración de los nuevos desarrollos tecnológicos en el mercado, en opinión del 89% de GEVAL, “requerirá de apoyos públicos vía instrumentos de financiación y empuje privado”.

La Plataforma tecnológica REOLTEC, ha identificado y definido Iniciativas Tecnológicas Prioritarias (ITPs), que identifican, con probabilidad de éxito, productos o servicios con potencial mercado y creación de actividad económica, lo cual sería muy deseable para defender la importancia de estas tecnologías para la economía del país, claramente defendida por el GEVAL a lo largo de este ejercicio.

El GEVAL considera mayoritariamente (72%) “que sería útil, para acelerar la entrada en el mercado de estas tecnologías, que la Administración defina líneas prioritarias y propuestas de financiación específicas para estas tecnologías después de consultar con los expertos”.

Finalmente, a la pregunta de si se considera que las tecnologías de energía eólica pueden ser claves para la transición energética en el marco de la UE, la respuesta del GEVAL fue mayoritariamente (89%) afirmativa sin matices y afirmativa “aunque limitada a un papel de apoyo en la transición energética” en un 11%.

## 5. REFERENCIAS Y CONTRIBUCIONES

### 5.1. Contribuciones y Expertos Participantes

#### Redactor(es) del Anexo:

Félix M. Téllez

#### Contribución y Revisión desde la PTE-REOLTEC, Ciemat y ALINNE:

Alberto Ceña (REOLTEC)

Elena Velázquez (REOLTEC)

Ramón Gavela

Jose Ignacio Cruz (CIEMAT)

Luis Arribas (CIEMAT)

#### Miembros de GEVAL-ALINNE que han participado en el ejercicio de análisis de este ANEXO:

Sara Muñoz (ACS), Pablo Fernández (ALINNE), M<sup>a</sup> Luisa Revilla (CDTI), Ruth Yagüe (CDTI), Enrique Soria (CIEMAT), Félix Avia (CIEMAT), José Ignacio Cruz (CIEMAT), Maximiano Bernabé (CNH2), Miguel Ángel Bañares (CSIC), Ingvar Hallste (GAS NATURAL FENOSA), Javier Alonso (GAS NATURAL FENOSA), José Luis García (GAS NATURAL FENOSA), Pedro Martínez Cid (IBERDROLA), Diego García (IMDEA Energía), Lorena Prado (MAPAMA-OECC), Ana Lancha (MEIC), Lourdes Armesto (MEIC), Luis Eduardo Ruiz (MINETAD), Unai Búrdalo (REE) y Juan Avellaner (SOLPLAT).

#### Secretaría Técnica de ALINNE:

Felix Téllez (CIEMAT), Jorge de Berenguer (CIEMAT)

### 5.2. Agradecimientos

Las actividades de ALINNE cuentan con **patrocinio público y privado**. Desde el sector público colaboran: **CIEMAT, CRUE, CSIC, IDAE, M<sup>o</sup> de Ciencia, Innovación y Universidades (Agencia Estatal de Investigación, Dirección General de Política de la I+D+i y Dirección General de Industria y de la PYME), M<sup>o</sup> para la Transición Ecológica (Subdirección General de Eficiencia Energética y Oficina Española de Cambio Climático) y la Universidad de Zaragoza**. Desde el sector privado se cuenta con la participación de ocho empresas: **ACS-SCE; ALBUFERA ENERGY STORAGE; ESTEYCO; GEOTER; IBERDROLA; NATURGY; REE y SIEMENS-GAMESA**.

Actualmente, estas actividades cuentan, además, con la financiación pública del proyecto **“Red de Excelencia ENE2017-90816-REDE”**

### 5.3. Referencias Bibliográficas

- [1]. MITECO (2021, Jun) "[Hoja de Ruta para el desarrollo de la Eólica Marina y de las Energías del Mar en España](#)"
- [2]. MINCOTUR (2019): "[Agenda sectorial de la Industria Eólica](#)"
- [3]. IRENA (2019, Oct), "[Future of Wind. Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects](#)"
- [4]. IEA-ETSAP and IRENA (2016, Marzo); "[Wind Power. Technology Brief](#)"
- [5]. GWEC (2021, marzo); "[Global Wind Report 2021](#)"
- [6]. IEA (2021, dic). "[Renewables 2021. Analysis and forecast to 2026](#)"
- [7]. Wind Europe (2022, feb). "[Wind energy in Europe. 2021 Statistics and the outlook for 2022-2026](#)", windeurope.org
- [8]. AEE-Deloitte (2021), "[Estudio Macroeconómico del impacto del sector eólico en España 2020](#)"
- [9]. APPA Renovables (2021), "[Estudio del Impacto Macroeconómico de las Energías Renovables en España-2020](#)"
- [10]. APPA Renovables (2017) "[Estudio del Impacto Macroeconómico de las Energías Renovables en España](#)"
- [11]. IEA (2019): [Offshore Wind Outlook 2019](#).
- [12]. COM(2020) 741 final, de 19.11.2020 "[Una estrategia de la UE para aprovechar el potencial de la energía renovable marina para un futuro climáticamente neutro](#)"
- [13]. Ocean Energy Systems-OES-IEA (2017) [An International Vision for Ocean Energy](#)
- [14]. APPA (2014). "[Impactos Ambientales de la Producción Eléctrica, Análisis de Ciclo de Vida de ocho tecnologías de generación eléctrica](#)"
- [15]. Andrzej Bieleck, Sebastian Ernst, Wioletta Skrodzka, Igor Wojnicki (2020) "[The externalities of energy production in the context of development of clean energy generation](#)". Environmental Science and Pollution Research (2020) 27:11506–11530.

### 5.4. Abreviaturas

€ <sub>2015</sub>	Euros a nivel de precios de 2015
AEE	Asociación Empresarial Eólica
APPA	Asociación de Empresas de Energías Renovables
ETSAP	Energy Technology Systems Analysis Programme
EWEA	European Wind Energy Associatio
GEVAL	Grupo de Evaluación (por subjetividad compartida) de ALINNE
GW, GWh, kW, kWh	Gigavatio, gigavatio-hora, kilovatio, kilovatio-hora
GWEC	Global Wind Energy Council
IEA	International Energy Agency
IRENA	International Renewable Energy Agency
LCOE	Coste ponderado de (producción de) la electricidad.

	(del inglés: Levelized Cost of Electricity)
PIB	Producto Interior Bruto
POEM	Planes de Ordenación del Espacio Marítimo
PPA	Power Purchase Agreement
PRTR,	Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia
PTE	Plataforma Tecnológica Española de ámbito Energético
REOLTEC	Plataforma Tecnológica Española en tecnologías de generación eólica
USD	Dólar de Estados Unidos de América

## 5.5. Apéndices

- **Apéndice I:** Valoración **Indicadores** solicitados por ALINNE sobre **Generación Eólica**. (libro Excel, 15 hojas de datos + 4 hojas de introducción/explicación. Fecha: 12/03/2018)
- **Apéndice II** Presentación de la PTE REOLTEC ante GEVAL (criterios 1 a 5), 07/03/2018:
- **Apéndice III** Presentación de la PTE REOLTEC ante GEVAL (criterios 6 y 7), 07/03/2018:
- **Apéndice IV:** Resultados del ejercicio de subjetividad compartida de GEVAL sobre las 40 cuestiones (comunes a todas las tecnologías) y notas de la reunión realizado tras la presentación de REOLTEC. 07/03/2018

## Historial de Cambios

*(Este historial solo aparecerá en el Borrador)*

Version	Fecha	Modificado por	Cambio realizado
0	4/6/2019	ALINNE (FT)	Plantilla y propuesta contenidos del Anexo (Inclusion de los resúmenes de las ITPs de REOLTEC).
1	15/12/2021	ALINNE (FT)	Borrador Sección 1
2	11/03/2022	ALINNE (FT)	Borrador informe completo, actualización de información y datos, ...
3	26/03/2022	Ramón Gavela	Revisión de calidad del documento
3b	28/03/2022	Ignacio Cruz (Ciemat)	Algunas correcciones en Sección 1 y revisión de calidad del documento
3c	28/03/2022	Alberto Ceña (REOLTEC)	Algunas actualizaciones de datos y gráficas y revisión del documento
3d	29/03/2022	Luis Arribas (Ciemat)	Matizaciones en Sección 2.2 y revisión de calidad del documento