

Renovables 2050

Un informe sobre el potencial de las energías renovables en la España peninsular



GREENPEACE

Greenpeace Madrid

San Bernardo, 107. 28015 Madrid
Tel.: 91 444 14 00 - Fax: 91 447 15 98
informacion@greenpeace.es

Greenpeace Barcelona

Ortigosa, 5 - 2º 1º. 08003 Barcelona
Tel.: 93 310 13 00 - Fax: 93 310 51 18

Autores: José Luis García Ortega y Alicia Cantero
Diseño y maquetación: De••Dos, espacio de ideas

Greenpeace es una organización independiente política y económicamente.

Hazte soci@ llamando al 902 100 505 o en www.greenpeace.es

Este informe ha sido impreso en papel reciclado postconsumo y blanqueado sin cloro certificado Ángel Azul, con el objeto de preservar los bosques, ahorrar energía y evitar la contaminación de mares y ríos.

NOVIEMBRE 2005

Índice

1. Presentación	04
2. Hipótesis y metodología	06
3. Los principales resultados del estudio	08
3.1. Resultados por tecnologías	08
1. Geotérmica	09
2. Hidráulica	10
3. Biomasa	11
4. Olas	12
5. Eólica marina	13
6. Eólica terrestre	14
7. Chimenea solar	15
8. Solar fotovoltaica integrada en edificios	16
9. Solar fotovoltaica con seguimiento	17
10. Solar termoeléctrica	18
3.2. Síntesis de resultados	19
Recursos renovables totales disponibles	19
Comparación con el Plan de Energías Renovables	20
Cobertura de la demanda eléctrica: propuesta de mix de generación	21
Cobertura de la demanda de energía total: propuesta de mix	22
3.3. Resultados por CC.AA.	24
Aragón y Asturias	25
Cantabria y Castilla-La Mancha	26
Castilla y León y Cataluña	27
Extremadura y Galicia	28
Madrid y Murcia	29
Navarra y País Vasco	30
La Rioja y Valencia	31
4. Conclusiones del informe y demandas de Greenpeace	32
Conclusiones	32
Qué pide Greenpeace	33
5. Anexo	34
Glosario de términos	34

1. Presentación

Greenpeace ha encargado al Instituto de Investigaciones Tecnológicas de la Universidad Pontificia Comillas un análisis técnico de la viabilidad de un sistema de generación eléctrica, en la España peninsular, con la máxima contribución posible de energías renovables. El análisis tiene en cuenta los principales condicionantes en cuanto a disponibilidad de recursos, restricciones ambientales y de otros tipos sobre usos del suelo, acoplamiento entre demanda y capacidad de generación y capacidad de transporte de la red eléctrica. Los resultados se presentarán en sucesivos informes bajo la denominación genérica de “Revolución Energética”.

En este documento se muestran los principales resultados del informe “Renovables 2050. Un informe sobre el potencial de las energías renovables en la España peninsular”; el primero de este proyecto que realiza el análisis más detallado publicado hasta la fecha en nuestro país de escenarios de desarrollo de las distintas tecnologías renovables. El informe proporciona unos techos de potencia y generación de estas tecnologías, reflejando de forma clara las diversas restricciones tanto en disponibilidad de recurso energético como en la de usos del suelo.

Como metodología, en primer lugar se elaboran escenarios de población y demanda energética para el año 2050 en la España peninsular, basándose en los ya publicados por otras instituciones. A partir de ahí, en comparación con el desarrollo actual y previsto de cada una de las tecnologías

renovables, se analiza cuál podría ser su situación y actuaciones en el año 2050. Finalmente, se desarrolla cuál podría ser la máxima contribución posible de cada una de ellas en términos de potencia instalada y de generación de electricidad, imponiendo criterios ambientales, sociales y tecnológicos sobre el tipo de suelos disponibles.

Por otro lado, a escala europea, Greenpeace también ha desarrollado análisis específicos. En este ámbito, el instituto alemán DLR ha realizado para Greenpeace Internacional un escenario, publicado con el título de “Energy Revolution: a sustainable pathway to a clean energy future for Europe”. Este escenario demuestra que es factible la reestructuración del sistema energético para cumplir ambiciosos objetivos ambientales, y marca una transición para la sustitución de las energías convencionales por renovables, de forma que éstas últimas podrían ya aportar la mitad de la cesta energética para mediados de siglo.

Por qué este proyecto

Nuestro sistema energético está en una encrucijada. El consumo masivo de combustibles fósiles, que son nuestra principal fuente de energía, está provocando un cambio climático que ya se está dejando sentir. De continuar por este camino, es altamente probable que superemos los límites de la Naturaleza, lo que puede provocar que ya no sea posible para la mayoría de las especies adaptarse a un cambio tan intenso y rápido, mientras millones de personas van a

sufrir las condiciones de un medio ambiente inhabitable en forma de hambrunas, inundaciones, sequía....

Mientras tanto, los gobiernos y las empresas energéticas siguen decidiendo inversiones multimillonarias sin tener en cuenta esta realidad, prolongando durante décadas un modelo energético insostenible. Incluso, surgen continuamente "cortinas de humo" (el mal llamado carbón "limpio", construcción de nuevas centrales nucleares o prolongación de vida de las actuales, mito del futuro reactor de fusión nuclear, hidrógeno obtenido con energías sucias, sumideros de carbono, captura y almacenamiento de CO₂, etc.) que presentan falsas soluciones al cambio climático, mientras esconden otros graves impactos ambientales y absorben masivos recursos económicos vitales para las verdaderas soluciones.

La única solución real al cambio climático reside en la sustitución completa de los combustibles fósiles por energías renovables, junto a un uso más eficiente de la energía. Sin embargo, cada vez que se presenta este planteamiento surgen cuestiones fundamentales: ¿son suficientes las renovables para cubrir la demanda energética de la sociedad? ¿necesitamos desarrollar otras fuentes de energía que cubran las supuestas limitaciones de las renovables?

La respuesta a estas preguntas va a condicionar toda una serie de decisiones políticas y económicas cruciales que se van a tomar en los próximos meses y años en nuestro país y en el ámbito de la Unión Europea, y que van a influir decisivamente en la capacidad de la humanidad de evitar un cambio climático peligroso:

- La próxima directiva de energías renovables, que deberá fijar objetivos sobre la aportación de estas energías a la cesta energética de cada uno de los países de la UE en el horizonte 2020.
- El Plan Nacional de Asignación de emisiones para el periodo 2008-2012, que determinará la voluntad de nuestro país de cumplir el compromiso del Protocolo de Kioto.

- La negociación internacional, que comienza en la primera reunión de los países firmantes del Protocolo de Kioto que se celebra en Montreal desde finales de noviembre de 2005, para fijar nuevos objetivos de reducción de emisiones para más allá de 2012, los cuales deberán ser mucho más profundos que los actualmente establecidos en Kioto.
- La revisión de la planificación energética prometida por el presidente del Gobierno, que debe establecer qué demanda energética se prevé abastecer en los próximos años y, para ello, qué infraestructuras energéticas serán necesarias, y si éstas se seguirán basando en la construcción masiva de centrales térmicas o en una aceleración de la inversión en renovables.
- El debate nuclear, que debería concretar cómo va el Gobierno a cumplir su promesa de abandono de la energía nuclear y hacer frente a las presiones de las grandes compañías que pretenden alargar la vida útil de las viejas nucleares.
- La reforma del sector eléctrico, teniendo en cuenta las propuestas del Libro Blanco para orientarlo hacia la sostenibilidad.
- El papel que puedan tener los consumidores para poder elegir electricidad limpia.

El objetivo de este proyecto es averiguar si las renovables son suficientes para cubrir la demanda energética de la sociedad o si, por el contrario, necesitamos desarrollar otras fuentes de energía que cubran las supuestas limitaciones de las renovables. En definitiva, se trata de verificar si es posible encontrar la solución al cambio climático mediante la sustitución completa de los combustibles fósiles por energías renovables, junto a un uso más eficiente de la energía.

2.

Hipótesis y metodología

El estudio parte de las siguientes **hipótesis**:

· **Población peninsular española en 2050:**

38,32 millones de habitantes, repartidos espacialmente en la misma proporción que en el año 2003.

· **Demanda de energía eléctrica:** 20 kWh/habitante-día, lo que da una demanda eléctrica peninsular de 280 TWh/año en 2050. Esta cantidad se obtiene de extrapolar escenarios conservadores de la UE, descontando de la demanda final el uso de una cierta cantidad de energías renovables en origen (80% de la demanda eléctrica para agua caliente gracias al uso de solar térmica y calderas de biomasa; 80% de la demanda de calefacción eléctrica gracias al uso de arquitectura bioclimática, solar térmica, calderas de biomasa y mejor aislamiento de edificios; 60% de la demanda de refrigeración eléctrica gracias al uso de solar térmica con máquinas de absorción y técnicas bioclimáticas), pero sin incorporar ahorros debidos a gestión de la demanda.

· Mismo reparto en 2050 que en 2003 de la proporción de demanda eléctrica per capita de cada comunidad autónoma respecto a la media española.

· Misma demanda eléctrica per capita en todas las provincias de una misma comunidad autónoma.

· Modulación horaria de la demanda eléctrica peninsular en 2050 igual a la de 2003, sin tener en cuenta las mejoras que se podrían lograr mediante gestión de la demanda para facilitar la penetración de tecnologías renovables.

· **Demanda de energía final:** 109 kWh/habitante-día, lo que suponen 1.525 TWh/año.

Además, se han tomado hipótesis específicas para cada tecnología.

En cuanto a la **metodología** seguida, se trata de determinar los techos de potencia y generación para cada tecnología, entendiendo por tales el potencial técnicamente desarrollable en la tecnología considerada a la vista de los recursos disponibles e imponiendo las limitaciones técnicas pertinentes al desarrollo del recurso.

Las unidades empleadas para expresar los techos de potencia han sido los gigavatios (GW, equivalentes a mil megavatios o mil millones de vatios), mientras los techos de generación se expresan en teravatios-hora (TWh, equivalentes a mil millones de kilovatios-hora). La razón de emplear estas unidades tan “grandes” y no muy habituales es que facilitan la expresión de las cantidades tan elevadas de techos que se obtienen como resultado.

Para calcular los techos de potencia, hemos desarrollado diseños de las distintas tecnologías, evaluado sus actuaciones en las distintas regiones geográficas, e impuesto restricciones tecnológicas y de disponibilidad de terreno, mediante una herramienta SIG (Sistema de Información Geográfica). La estimación de los techos de generación se ha obtenido a partir de los techos de potencia, empleando factores de capacidad evaluados para los distintos emplazamientos considerados.

Para evaluar la disponibilidad de terreno para cada tecnología renovable según los usos del

terreno, se ha usado una base de datos del Ministerio de Fomento que clasifica todo el suelo según corresponda a:

- Zonas urbanas.
- Zonas industriales, comerciales y de transportes.
- Zonas de extracción minera, vertederos y de construcción.
- Zonas verdes artificiales, no agrícolas.
- Tierras de labor.
- Cultivos permanentes.
- Praderas.
- Zonas agrícolas heterogéneas.
- Bosques.
- Espacios de vegetación arbustiva y/o herbácea.
- Espacios abiertos con poca o sin vegetación.
- Zonas húmedas continentales.
- Zonas húmedas litorales.
- Aguas continentales.
- Aguas marinas.

Para cada uno de estos grupos y sus subgrupos de terrenos, se ha asignado su viabilidad o no para la instalación de cada una de las tecnologías renovables consideradas, o el porcentaje que podría utilizarse en su caso.

Se han incorporado también **restricciones ambientales, que suponen excluir el uso del 28% del territorio peninsular** (en algunas comunidades autónomas llega a suponer el 40% de su territorio). Con carácter general, las áreas excluidas son las siguientes:

- Red Natura 2000: Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEPA) + Lugares de Interés para la Conservación (LIC).
- Zonas asociadas a Espacios Naturales Protegidos, declarados y en proceso formal de declaración por el Estado y las Comunidades Autónomas.

El mapa nos muestra el total de espacios cuyo uso se ha excluido por motivos ambientales.

Mapa 1 Total de espacios excluidos para los techos de potencia y generación por motivos medioambientales (LIC+ZEPA+ENP).

Fuente Ministerio de Medio Ambiente



3.

Los principales resultados del estudio

3.1. Resultados por tecnologías

Vamos a presentar los principales resultados del estudio. En primer lugar, veremos por separado para cada una de las tecnologías consideradas cuánto es el recurso disponible, en términos absolutos, repartido por comunidades autónomas y en comparación con la demanda eléctrica proyectada para 2050.

En general, se ha adoptado un enfoque conservador, es decir, se ha considerado la mejor tecnología actualmente existente para la conversión de cada uno de los recursos renovables en electricidad, incluyendo mejoras tecnológicas sólo cuando parezca obvio que estarán disponibles para el año 2050.

La geotérmica es la energía existente en el subsuelo, que está más caliente según se avanza en profundidad.

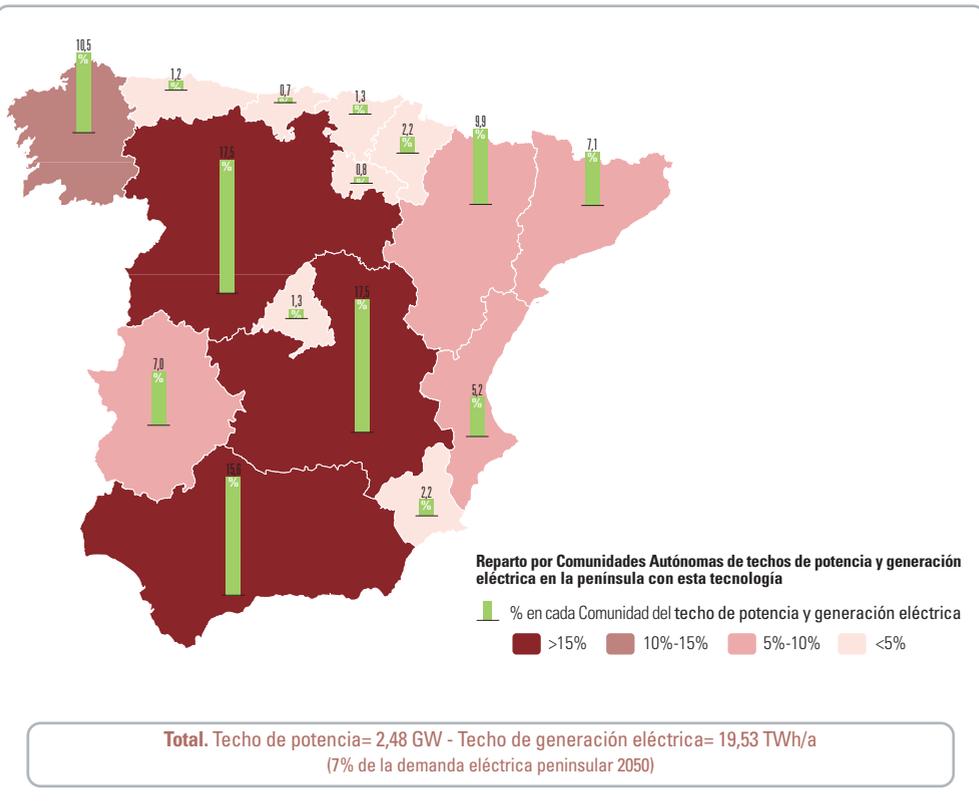
La tecnología considerada es la de roca seca caliente, para la que no se necesita disponer de acuíferos, sino que se inyecta un fluido a presión para que fisuren las rocas en la profundidad deseada, reciba el calor de las rocas y lo transporte a la superficie, donde se con-

vierte ese calor en electricidad, como en una central térmica convencional.

Hemos asumido que se utiliza como fluido de trabajo el n-pentano, con un nivel térmico de las rocas de 180°C y un rendimiento del 11%.

Geotérmica. Techo de potencia y de generación eléctrica con esta tecnología y distribución por CC.AA.

Geotérmica



Se podrían instalar 2.480 MW de potencia eléctrica basada en la energía geotérmica, y se podrían generar 19,53 TWh al año, lo que permitiría cubrir un 7% de la demanda eléctrica peninsular proyectada en 2050. Al ser una energía que está disponible de manera permanente, su contribución puede ser muy útil para la regulación del sistema eléctrico, además de poderse aprovechar para usos no eléctricos. Como vemos en el mapa, el mayor potencial se ubica en las dos Castillas y Andalucía.



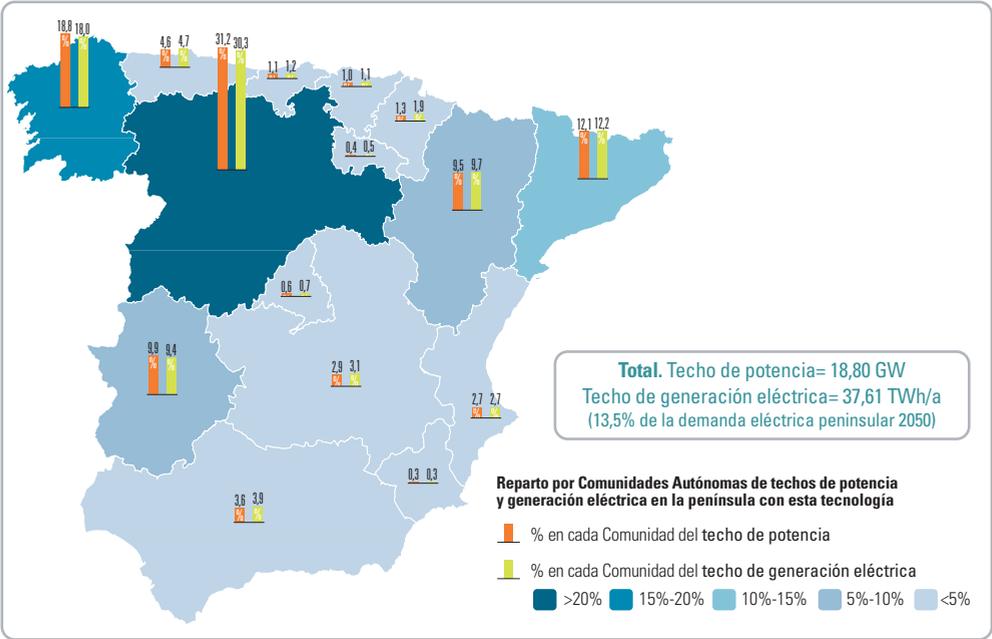
2

La hidráulica es la energía procedente de los saltos de agua, que tradicionalmente se ha aprovechado para generar electricidad mediante una turbina.

Para este estudio no hemos considerado aumentos de potencia de gran hidráulica, debido al impacto ambiental de los embalses. Por tanto, se ha tomado como potencial realizable el mismo objetivo que se adoptó en

el Plan de Fomento de las Energías Renovables. Para el cálculo de la electricidad producible se ha considerado un año hidráulico ligeramente seco (sin utilizar reservas interanuales) o seco (si se utilizan).

Hidráulica. Techo de potencia y de generación eléctrica con esta tecnología y distribución por CC.AA.



Hidráulica



▶ La potencia hidroeléctrica podría alcanzar 18.800 MW, que podrían generar 37,61 TWh al año, lo que permitiría cubrir un 13,5% de la demanda eléctrica peninsular proyectada en 2050. Al ser una energía almacenable, su contribución puede seguir siendo muy útil para la regulación del

sistema eléctrico. Como vemos en el mapa, el mayor potencial se ubica en Castilla y León.

Este potencial hidroeléctrico se ha analizado diferenciando entre la minihidráulica (instalaciones de potencia inferior a 10 MW) y las centrales de potencia superior a 10 MW:

- La potencia hidroeléctrica en instalaciones minihidráulicas podría alcanzar 2.280 MW, que podrían generar 6,91 TWh al año, lo que permitiría cubrir un 2,5% de la demanda eléctrica peninsular proyectada en 2050. El mayor potencial se ubica en Castilla y León, Cataluña y Aragón.
- La potencia hidroeléctrica en instalaciones de potencia superior a 10 MW podría alcanzar 16.571 MW, que podrían generar 30,71 TWh al año, lo que permitiría cubrir un 11% de la demanda eléctrica peninsular proyectada en 2050. El mayor potencial se ubica en Castilla y León.



© Greenpeace

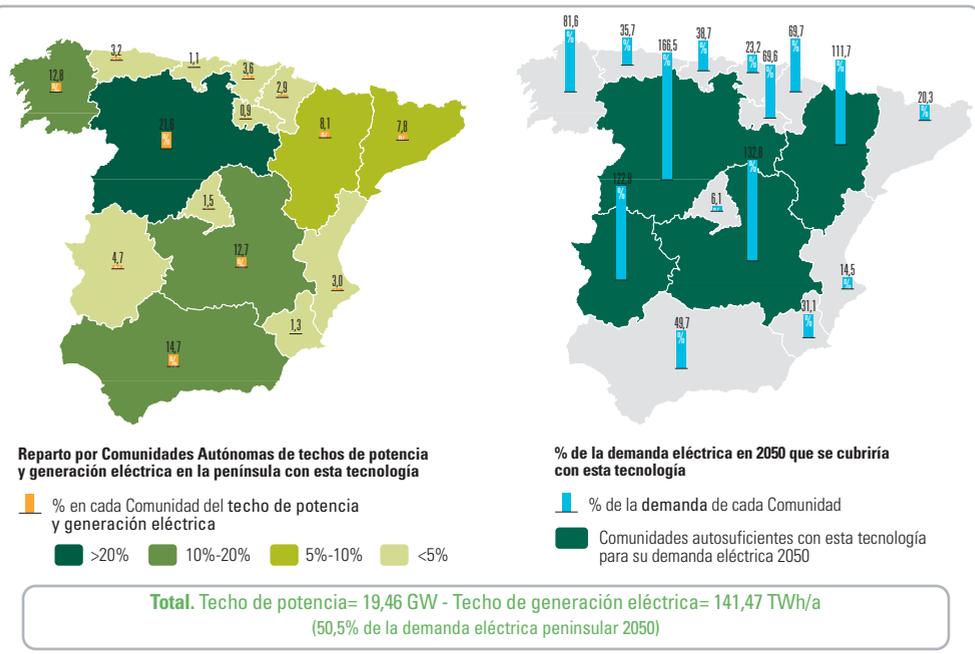


La biomasa es la energía de la materia orgánica, procedente de residuos (forestales, agrícolas, ganaderos, de la industria agroalimentaria o urbanos, éstos convertidos en biogás) o de cultivos energéticos. En el estudio se ha evaluado, además, el potencial de los cultivos forestales de rotación rápida y el monte bajo.

La tecnología considerada es la de una central de turbina de gas de elevadas prestaciones, que utiliza como combustible el gas de gasógeno procedente de la gasificación de la biomasa, sea cual sea la procedencia de ésta. El rendimiento energético total de conversión de la biomasa en electricidad sería del 32,95%.

Con este esquema, además, el agua caliente residual de la central se podría aprovechar para aplicaciones de cogeneración destinadas a cubrir demandas de baja temperatura, como agua caliente sanitaria, calefacción y refrigeración mediante equipos de absorción.

Biomasa. Techo de potencia y de generación eléctrica con esta tecnología, distribución por CC.AA. y porcentaje de la demanda eléctrica que se cubriría en 2050.



Se podrían instalar 19.460 MW de potencia eléctrica basada en la biomasa, y se podrían generar 141,47 TWh al año, lo que permitiría cubrir un 50,5% de la demanda eléctrica peninsular proyectada en 2050. Al ser una energía almacenable, su contribución puede ser muy útil para la regulación del sistema eléctrico, además de poderse aprovechar para usos no eléctricos. Como vemos en el mapa, el mayor potencial se ubica en Castilla y León. Es de destacar que Castilla y León, Castilla-La Mancha, Extremadura y Aragón podrían generar con biomasa una cantidad de electricidad superior a su propia demanda eléctrica proyectada en 2050.

Este potencial de biomasa se ha analizado realizando dos cálculos diferentes, con terrenos de distinta pendiente admisible. Los resultados mostrados en el mapa corresponden a

una pendiente máxima del 10%. Si la pendiente máxima admisible se restringe al 3% para cultivos forestales y 4% para monte bajo, aún se podrían instalar 15.200 MW, que generarían 109,8 TWh/año, equivalentes al 39,2% de la demanda eléctrica peninsular en 2050.

Los resultados de biomasa desglosados por aplicaciones son:

- **Monte bajo:** 2.310 MW, 172 TWh/a (6,1% de la demanda peninsular 2050), con pendiente de hasta el 10%. Mayor potencial en Galicia y Castilla y León.
- **Cultivos forestales de rotación rápida:** 5.130 MW, 38,2 TWh/año (13,6 % de la demanda peninsular 2050), con pendiente de hasta el 10%. Mayor potencial en Castilla y León y Galicia.
- **Cultivos energéticos:** 4.735 MW, 35,22 TWh/año (12,6 % de la demanda eléctrica 2050). Mayor potencial en Castilla y León.
- **Residual y biogás:** 7.280 MW, 50,85 TWh/a (18,2% de la demanda eléctrica 2050). Mayor potencial en Andalucía.

4

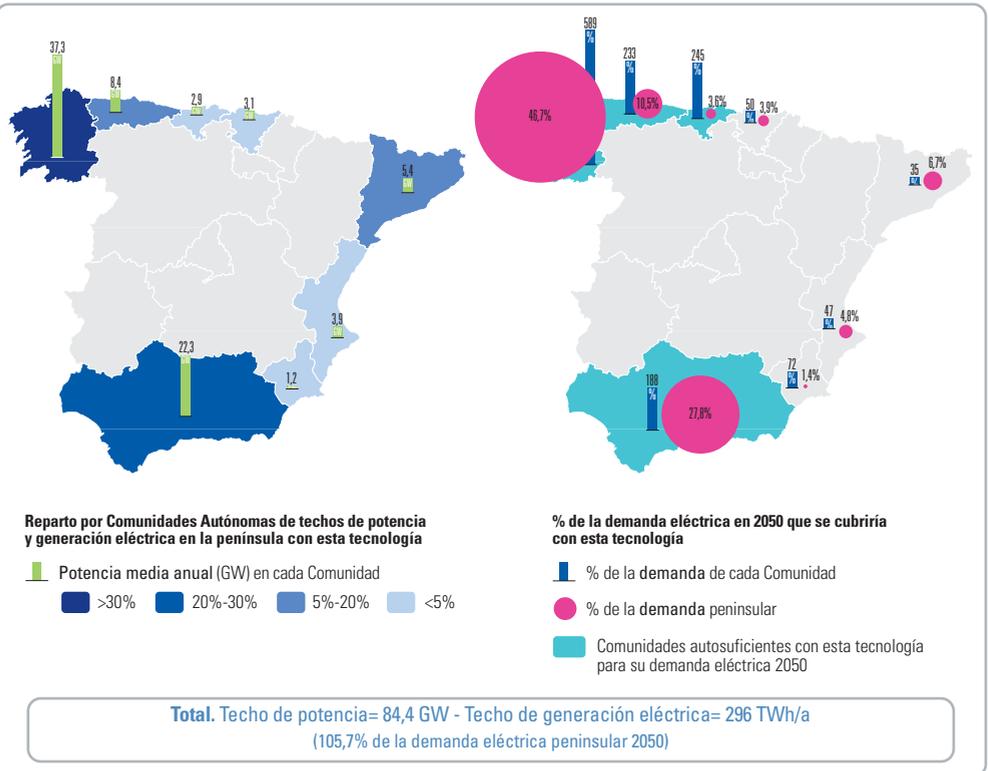
Olas

La energía mecánica de las olas se puede aprovechar para su conversión en electricidad, aunque aún no se encuentra en fase comercial en nuestro país. Sin embargo, dada la gran extensión costera de la península, hemos considerado interesante evaluar su potencial, aunque de manera aproximada, debido a la escasez de datos.

Hemos considerado aprovechable sólo un 90% del potencial disponible a lo largo de una franja entre 5 y 30 km de distancia a la costa, en una línea paralela a la misma, distribuyendo los sistemas intercalados de

forma que no exista una barrera continua. Parte de las infraestructuras serían compartidas con las destinadas a la eólica marina, pues ambas pueden coexistir en un mismo emplazamiento.

Olas. Techo de potencia y de generación eléctrica con esta tecnología, distribución por CC.AA. y porcentaje de la demanda eléctrica que se cubriría en 2050.



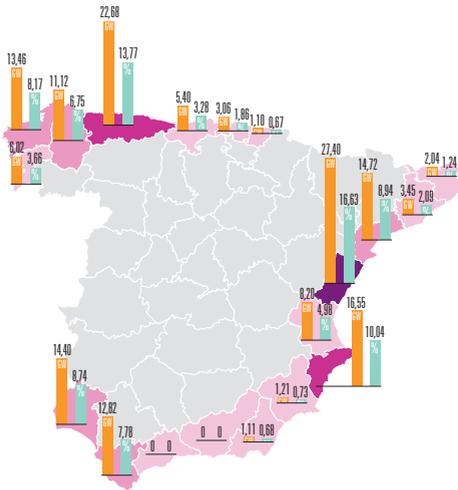
▶ Se podrían instalar 84.400 MW de potencia eléctrica basada en la energía de las olas, y se podrían generar 296 TWh al año, lo que permitiría cubrir un 105,7% de la demanda eléctrica peninsular proyectada en 2050. Como vemos en el mapa, el mayor potencial se ubica en Galicia.

La energía eólica marina convierte la fuerza del viento en electricidad, mediante aerogeneradores situados en el mar.

La tecnología considerada es la de un aerogenerador de operación a velocidad de rotación variable, con cambio de paso individualizado para cada pala. La máquina elegida tendría 4,5 MW, con 114 m de diáme-

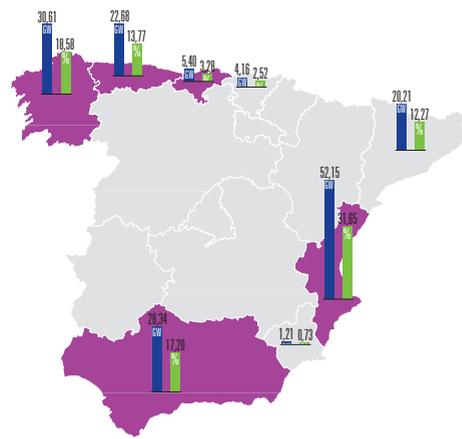
tro y altura de buje de 120 m. Se considera una densidad de potencia instalada de 5,6 MW/km², a una distancia entre 5 y 40 km de la costa y profundidad de hasta 100 m.

Eólica marina. Techo de potencia (en GW) y generación eléctrica (en % del total) con esta tecnología y distribución por provincias y CC.AA.



Reparto por provincias de techos de potencia y generación eléctrica en la península con esta tecnología

- Techo de potencia en cada provincia (GW)
- % en cada provincia del techo de generación eléctrica
- >15%
- 10%-15%
- 5%-10%
- <5%



Reparto por Comunidades Autónomas de techos de potencia y generación eléctrica en la península con esta tecnología

- Techo de potencia en cada Comunidad (GW)
- % en cada Comunidad del techo de generación eléctrica
- Comunidades autosuficientes con esta tecnología para su demanda eléctrica 2050

Total. Techo de potencia= 164,76 GW - Techo de generación eléctrica= 334 TWh/a (119,3% de la demanda eléctrica peninsular 2050)



▶▶ Se podrían instalar 164.760 MW de potencia eléctrica basada en la energía eólica marina, y se podrían generar 334 TWh al año, lo que permitiría cubrir un 119,3% de la demanda eléctrica peninsular proyectada en 2050. Como vemos en el mapa, el mayor potencial se ubica en Castilla. Es de destacar que Galicia, Asturias, Cantabria, Valencia y Andalucía podrían generar con eólica marina una cantidad de electricidad superior a su propia demanda eléctrica proyectada en 2050.



6

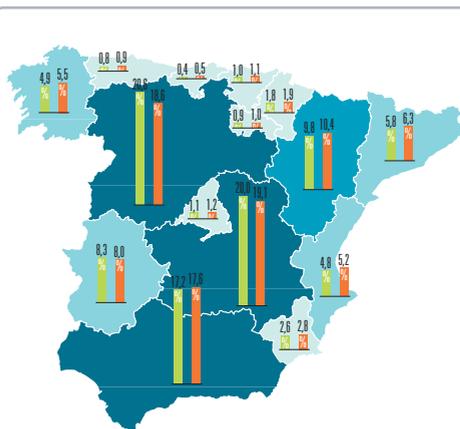
Eólica terrestre

La energía eólica terrestre convierte la fuerza del viento en electricidad, mediante aerogeneradores situados en tierra. Analizamos dos tipos de terreno, según la orografía: llano y accidentado.

La tecnología considerada es la de un aerogenerador tripala de transmisión directa (sin multiplicación de velocidad), con operación a velocidad variable y control de paso individualizado para cada pala, y bajas velocidades de arranque (2-2,5 m/s). Las máquinas elegidas tendrían, respectivamente, 2,05 MW (con 71 m de diámetro y altura de buje de 80 m) en terreno

llano y 810 kW (con 48 m de diámetro y altura de buje de 65 m) en terreno accidentado, en parques eólicos de 15 aerogeneradores, por lo que el tamaño de parque sería de 30,75 MW en terreno llano y 12,15 MW en terreno accidentado. Se considera una densidad de potencia instalada de 3,84 MW/km² en terreno llano y 3,04 MW/km² en terreno accidentado.

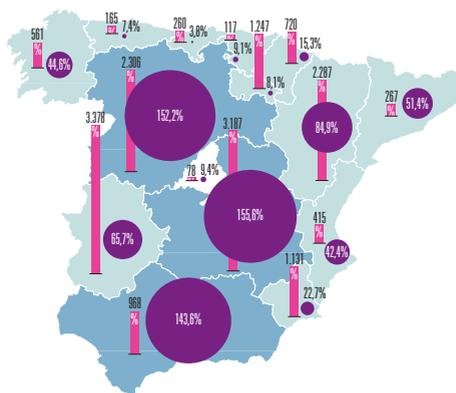
Eólica terrestre. Techo de potencia y de generación eléctrica con esta tecnología, distribución por CC.AA. y porcentaje de la demanda eléctrica que se cubriría en 2050.



Reparto por Comunidades Autónomas de techos de potencia y generación eléctrica en la península con esta tecnología

- % en cada Comunidad del techo de potencia
- % en cada Comunidad del techo de generación eléctrica
- >15%
- 10%-15%
- 5%-10%
- <5%

Total. Techo de potencia= 915 GW
Techo de generación eléctrica= 2.285 TWh/a
 (816,1% de la demanda eléctrica peninsular 2050)



% de la demanda eléctrica en 2050 que se cubriría con esta tecnología

- % de la demanda peninsular
- % de la demanda de cada Comunidad
- Comunidades autosuficientes con esta tecnología para su demanda eléctrica 2050
- Comunidades que podrían generar toda la demanda eléctrica peninsular con esta tecnología



▶ Se podrían instalar 915.000 MW de potencia eléctrica basada en la energía eólica terrestre, y se podrían generar 2.285 TWh al año, lo que permitiría cubrir en más de ocho veces la demanda eléctrica peninsular proyectada en 2050. Como vemos en el mapa, el mayor potencial se ubica en las dos Castillas y Andalucía. Es de destacar que cada

una de éstas podría generar con eólica terrestre una cantidad de electricidad superior a toda la demanda eléctrica peninsular proyectada en 2050. Además, todas las comunidades, con la única excepción de Madrid, podrían generar con eólica terrestre una cantidad de electricidad superior a su propia demanda eléctrica proyectada en 2050.

Este potencial de eólica terrestre se ha analizado realizando dos cálculos diferentes, con dos métodos diferentes. Los resultados mostrados en el mapa corresponden al método más fiable¹, que resulta en un mayor potencial. Con la otra aproximación², se generarían 1.902 TWh/año, equivalentes al 679% de la demanda eléctrica peninsular en 2050.

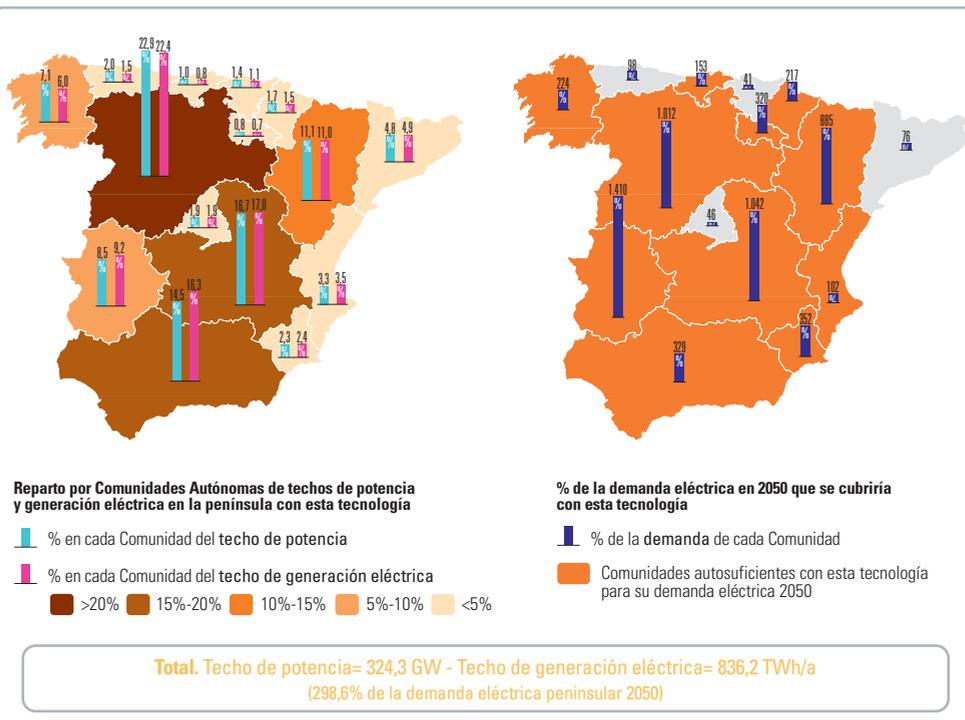
¹Consistente en asumir que los emplazamientos medios asociados a terreno llano y accidentado en toda la península quedan adecuadamente representados por dos únicas distribuciones de Weibull.
²Consistente en adoptar los valores de los factores de capacidad globales registrados en 2003 por CC.AA.

Una central de chimenea solar consiste en una gran colector solar plano que, a modo de invernadero, convierte la radiación solar total en energía térmica. En el centro del colector se sitúa una chimenea de gran altura, por la que asciende por convección natural el aire caliente, accionando una turbina situada en el interior de la chimenea para generar electricidad. Funciona las 24 horas del día, gracias a la energía almacenada en el suelo y a la protección de pérdidas que proporciona el colector.

La tecnología considerada requeriría un mínimo de cuatro km² por central, con una densidad de potencia instalada de 4,5 MW/km².

Consideramos terrenos de pendiente inferior al 2% con cualquier orientación y hasta el 7% con orientaciones de SE a SW.

Chimenea solar. Techo de potencia y de generación eléctrica con esta tecnología, distribución por CC.AA. y porcentaje de la demanda eléctrica que se cubriría en 2050.



▶▶ Se podrían instalar 324.300 MW de potencia eléctrica basada en chimeneas solares, y se podrían generar 836,2 TWh al año, lo que permitiría cubrir en cerca de tres veces la demanda eléctrica peninsular proyectada en 2050. Como vemos en el mapa, el mayor potencial se ubica en las dos Castillas y Andalucía. Es de destacar que Galicia, Cantabria, La Rioja, Navarra, Aragón, Valencia, Murcia, Castilla-La Mancha, Castilla y León, Extremadura y Andalucía podrían generar con chimeneas solares una cantidad de electricidad superior a su propia demanda eléctrica proyectada en 2050.



8

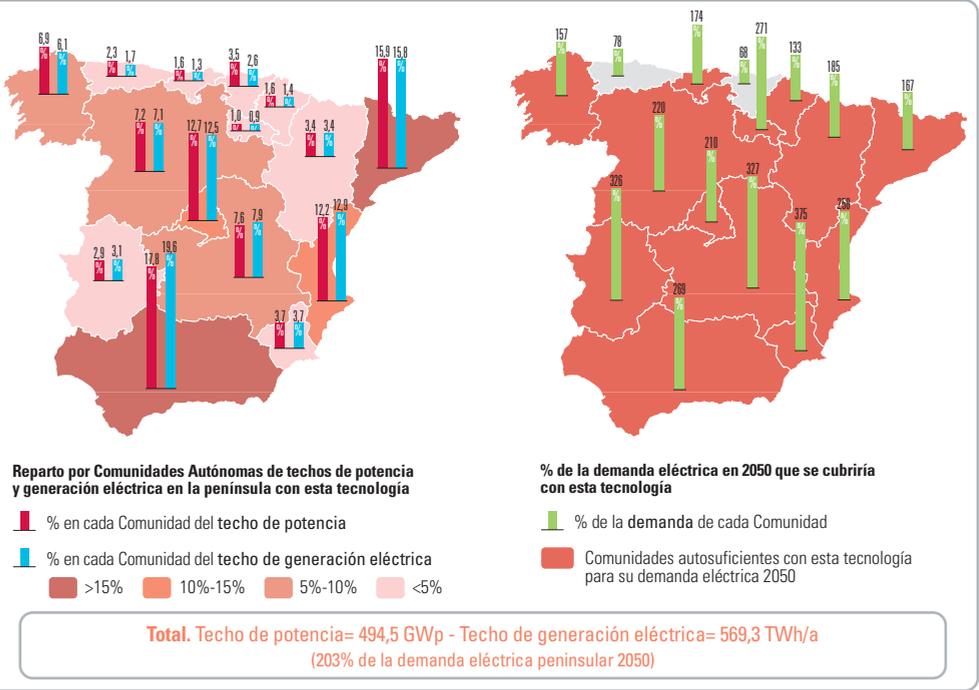
Solar fotovoltaica integrada en edificios

La energía solar fotovoltaica convierte directamente la luz que recibimos del sol en electricidad, gracias al efecto fotoeléctrico del silicio que compone los módulos fotovoltaicos. Se conectan a la red eléctrica de distribución a través de un inversor, que transforma la corriente continua procedente del módulo en electricidad con las mismas características que la de la red.

La tecnología considerada es la de un módulo fotovoltaico cuyas prestaciones medias a lo largo de su vida útil (40 años en el horizonte 2050) coinciden con las de un módulo nuevo de los actuales de elevado rendimiento. Hemos considerado dos tipos de sistemas: los integrados en edificios y las solares fotovoltaicas con seguimiento. Con las aplicaciones inte-

gradadas en la edificación se consigue la máxima cercanía entre la generación y el consumo de electricidad (generación distribuida), además de no competir en el uso del suelo con ninguna otra tecnología ni uso. Consideraremos distintos factores de utilización según los módulos se sitúen en cubierta o en fachadas de diferentes orientaciones (S, SE, SW, E, W).

Solar fotovoltaica integrada en edificios. Techo de potencia y de generación eléctrica con esta tecnología, distribución por CC.AA. y porcentaje de la demanda eléctrica que se cubriría en 2050.



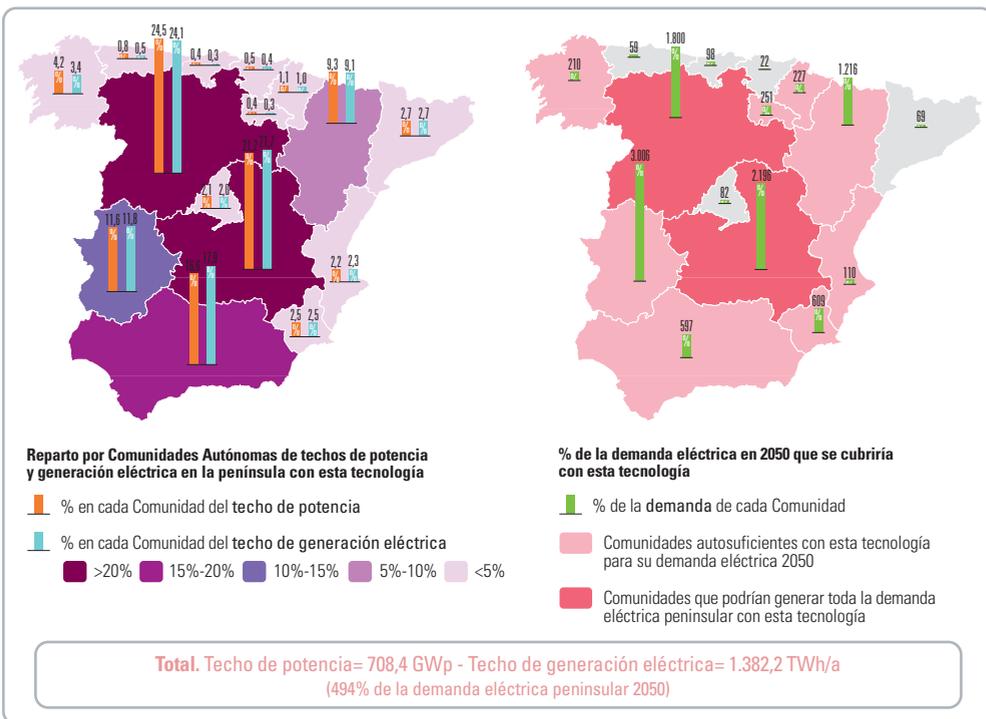
Se podrían instalar 494.500 MWp de potencia fotovoltaica integrada en edificios, y se podrían generar 569,3 TWh al año, lo que permitiría cubrir más del doble de la demanda eléctrica peninsular proyectada en 2050. Como vemos en el mapa, el mayor potencial se ubica en Andalucía y Cataluña. Es de destacar que todas las comunidades, excepto Asturias y el País Vasco, podrían generar con fotovoltaica integrada en edificios una cantidad de electricidad superior a su propia demanda eléctrica proyectada en 2050.

La energía solar fotovoltaica con seguimiento se consigue con agrupaciones de generadores fotovoltaicos, con un mecanismo que permite seguir el "movimiento" del sol de este a oeste, con lo que consiguen un mayor rendimiento. Son una alternativa interesante para aquellas personas o entidades que, no disponiendo de espacio para integrar una instalación fotovoltaica en su edificio, desean sin embargo invertir en energía solar fotovoltaica para generar energía limpia.

Las densidades de ocupación de terreno y de potencia dependerán de la latitud, asegurando que a finales de enero no exista sombreado en las direcciones SE

y SW. Consideramos terrenos con pendiente inferior al 3% en cualquier orientación, y hasta el 10% con orientaciones de SE a SW.

Solar fotovoltaica con seguimiento. Techo de potencia y de generación eléctrica con esta tecnología, distribución por CC.AA. y porcentaje de la demanda eléctrica que se cubriría en 2050.



Se podría conseguir 708.400 MWp de potencia fotovoltaica en instalaciones de energía solar fotovoltaica con seguimiento, y se podrían generar 1.382,2 TWh al año, lo que permitiría cubrir en cerca de cinco veces la demanda eléctrica peninsular proyectada en 2050. Como vemos en el mapa, el mayor potencial se ubica en las dos Castillas. Es de destacar que cada una de estas comunidades autónomas podría generar con energía solar fotovoltaica con seguimiento una cantidad de electricidad superior a toda la demanda eléctrica peninsular proyectada en 2050. Además, Extremadura, Aragón, Murcia, Andalucía, La Rioja, Navarra, Galicia y Valencia, podrían generar con

esta energía una cantidad de electricidad superior a su propia demanda eléctrica proyectada en 2050.



10

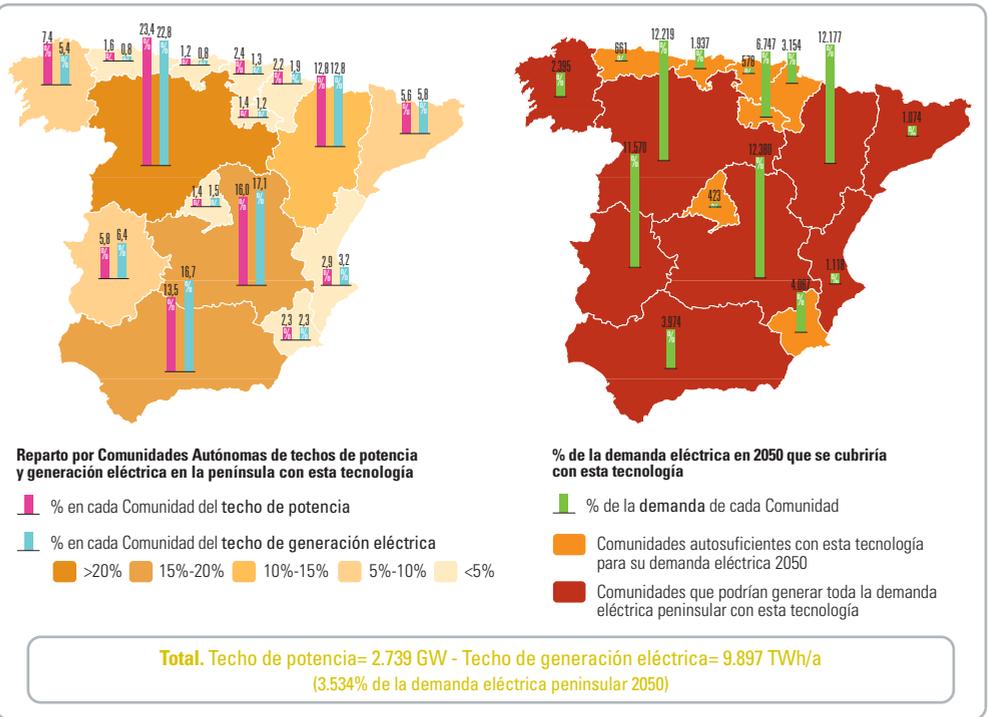
Solar termoeléctrica

Una central solar termoeléctrica utiliza un campo de espejos para concentrar la radiación solar directa, consiguiendo calentar un fluido a altas temperaturas. Con esta fuente caliente se genera electricidad como en una central térmica convencional.

La tecnología elegida para este análisis, que pretende ser representativo del conjunto de tecnologías termosolares, es la de una central de colectores cilíndrico-parabólicos con orientación N-S, utilizando agua como fluido de trabajo, con refrigeración seca (de forma que

la disponibilidad de agua no sea una restricción) mediante aerocondensadores y disponiendo de un tanque de almacenamiento con capacidad para 15 horas, lo que permite disponer de una abundante y estable capacidad de generación.

Termosolar. Techo de potencia y de generación eléctrica con esta tecnología, distribución por CC.AA. y porcentaje de la demanda eléctrica que se cubriría en 2050.



▶▶ Se podrían instalar 2.739.000 MW de potencia eléctrica en centrales termosolares, y se podrían generar 9.897

TWh al año, lo que permitiría cubrir en más de treinta y cinco veces la demanda eléctrica peninsular proyectada en 2050. Como vemos en el mapa, el mayor potencial se ubica en Castilla y León.



Es de destacar que tanto esta comunidad como las de Castilla-La Mancha, Andalucía, Aragón, Extremadura, Cataluña, Galicia y Valencia podrían generar, cada una de ellas, con centrales termosolares una cantidad de electricidad superior a toda la demanda eléctrica peninsular proyectada en 2050. Además, todas las comunidades peninsulares podrían generar con centrales termosolares una cantidad de electricidad superior a su propia demanda eléctrica proyectada en 2050.

3.2. Síntesis de resultados

Recursos renovables totales disponibles

En los siguientes gráficos se muestran los techos de potencia y generación peninsulares de las distintas tecnologías consideradas en este proyecto, así como los porcentajes de cobertura de la demanda eléctrica peninsular y demanda energética total proyectadas para 2050.

Hay que destacar la gran capacidad de generación de las tecnologías renovables en su conjunto, con algunas de ellas alcanzando por sí mismas un techo de generación superior, y en algunos casos muy superior, a las demandas, tanto de electricidad proyectada para 2050 (280 TWh/año) como de energía total (1.525 TWh/año).

Si sumáramos todos los techos de las diferentes tecnologías obtendríamos un máximo del techo total de generación basado en renovables de 15.798 TWh/año. Las intersecciones a descontar por coincidir emplazamientos serían muy limitadas, por ser compatibles en la mayoría de los casos o por haber impuesto de antemano condiciones muy restrictivas sobre el terreno disponible. Este techo de generación con renovables representa una capacidad de generación

Gráfico 1 Techo de generación con renovables

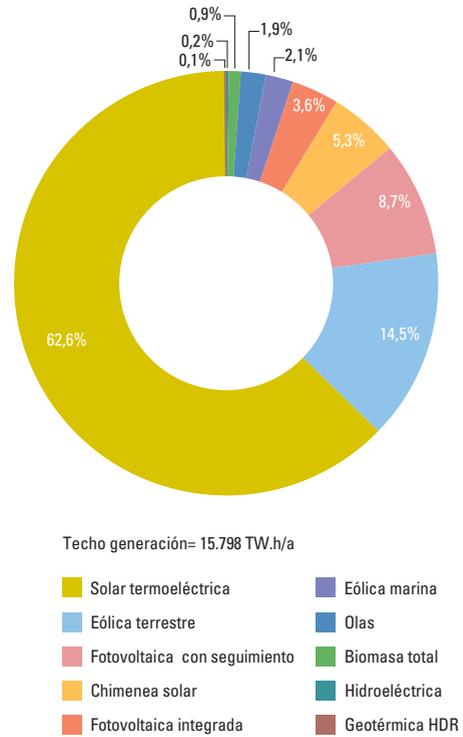
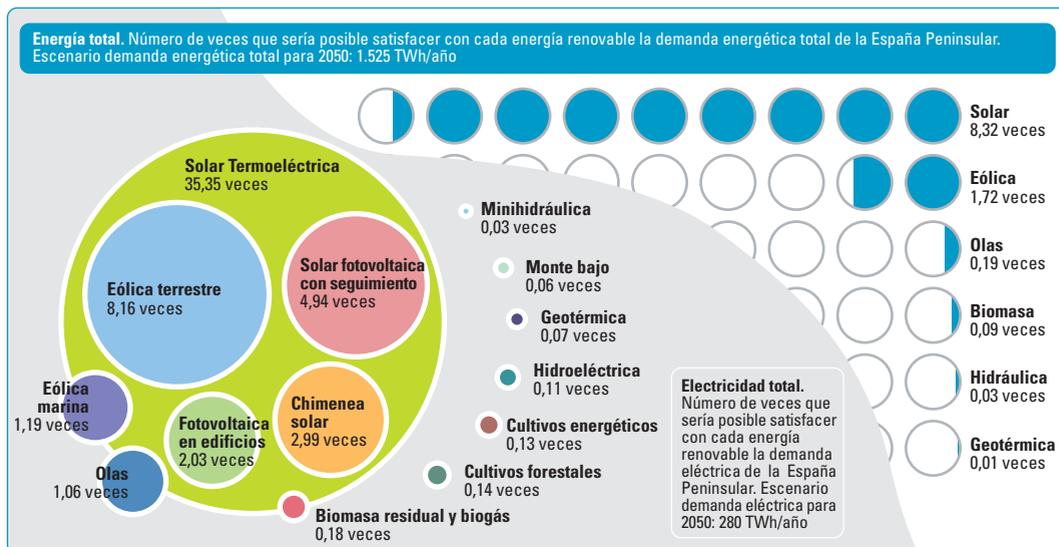


Tabla 1 Recursos renovables disponibles en España y comparación con la demanda en 2050

	Techo Potencia GWp	Techo Generación TW.h/año	Demanda eléctrica (%)	Demanda energía total (%)
Solar	4.266	12.684	4.530	832
Solar Termoelectrica	2.739	9.897	3.535	649
Solar Fotovoltaica con seguimiento	708	1.382	494	91
Chimenea Solar	324	836	299	55
Fotovoltaica integrada	495	569	203	37
Eólica	1.080	2.619	935	172
Eólica terrestre*	915	2.285	816	150
Eólica marina	165	334	119	22
Olas	84	296	106	19
Biomasa	19	142	51	9
Biomasa residual y biogás	7	51	18	3
Cultivos energéticos	5	35	13	2
Cultivos forestales de rotación rápida*	5	38	14	3
Monte bajo*	2	17	6	1
Hidráulica	19	38	14	3
Hidroeléctrica (P> 10 MW)	17	31	11	2
Minidridráulica (P< 10 MW)	2	7	3	0,5
Geotérmica roca seca caliente	3	20	7	1
Total renovables	5.471	15.798	5.642	1.036

* Se presentan los techos de generación máximos



equivalente a más de cincuenta y seis veces la demanda peninsular de electricidad para 2050 y superior a diez veces la demanda de energía total peninsular para 2050.

Como vemos en la figura, los recursos renovables más abundantes con diferencia son los asociados a las tecnologías **solares**. Es de destacar el gran potencial de la solar termoeléctrica, que podría satisfacer más de treinta y cinco veces la **demandada eléctrica** proyectada para 2050. Otras tecnologías solares también podrían generar varias veces la demanda de electricidad para 2050: solar fotovoltaica con seguimiento (unas cinco veces), chimenea solar (unas tres veces) y fotovoltaica integrada en edificios (dos veces). También destaca el elevado techo de generación de la **eólica**: sólo con eólica marina sería posible satisfacer toda la demanda eléctrica proyectada en 2050, y del orden de ocho veces con eólica terrestre. La energía de las olas también sería suficiente para abastecer toda la demanda eléctrica peninsular. El potencial de otras tecnologías renovables podría satisfacer porcentajes significativos de la demanda eléctrica: biomasa residual y biogás (18%), cultivos forestales (14%), cultivos energéticos (13%), hidroeléctrica (11%), geotérmica (7%), monte bajo (6%), minihidráulica (3%).

Si nos fijamos en **toda la demanda de energía** peninsular proyectada en 2050 (1525 TWh/año), con las tecnologías solares sería posible satisfacer del orden de ocho veces esta demanda y con eólica se podría satisfacer hasta 1,72 veces esta demanda.

Comparación con el Plan de Energías Renovables

Los techos de potencia y generación obtenidos en este proyecto están muy distantes, tanto cuantitativamente como cualitativamente, de los

Tabla 2 Comparación entre el techo de potencia calculado para 2050 y el objetivo de potencia instalada en Plan de Energías Renovables en España 2005-2010

	Potencia (MW) Objetivo para el 2010 del PER	Techo de Potencia (MW) Escenario 2050
Solar Termoeléctrica	500	2.738.800
Solar Fotovoltaica	400	1.202.900
Eólica	20.155	1.079.900
Chimenea solar	0	324.300
Olas	0	84.400
Biomasa total (incluye biogás)	2.274	19.400
Hidráulica	18.977	18.800
Geotérmica roca seca caliente	0	2.500
R.S.U.	189	0*
Total	42.495	5.471.000

*Greenpeace no considera renovable la incineración de RSU

manejados para planificar el desarrollo de las tecnologías renovables en nuestro país.

Si comparamos los objetivos del Plan de Energías Renovables 2005-2010 (PER) fijados por el Gobierno español para el 2010 y los techos obtenidos en este proyecto vemos que cuantitativamente éstos están en general varios órdenes de magnitud por encima.

Lo primero que llama la atención es el claro contraste entre la contribución potencial que pueden tener las tecnologías **solares** y el objetivo marcado en el PER. Entre estas tecnologías destaca la solar termoeléctrica con un techo de potencia cinco mil veces superior al objetivo de potencia instalada fijado en el PER para el 2010 (500 MW). Algunas de las tecnologías como la chimenea solar, a pesar de que sería posible satisfacer con ellas hasta tres veces la demanda eléctrica en 2050, ni siquiera se contemplan.

La eólica terrestre y marina tienen unos techos de potencia muy superiores al objetivo del PER para el 2010. A pesar de su importante apuesta por la eólica, el objetivo del PER no significa ni mucho menos agotar el potencial de esta tecnología. Destaca además la completa ausencia de la eólica marina en los objetivos del PER.

Llama la atención la capacidad de generación asociada a tecnologías actualmente no incorporadas en el PER, como es la energía de las **olas**, que tiene grandes sinergias con la eólica marina en su desarrollo tecnológico.

Respecto a la **biomasa**, los techos de potencia obtenidos, si bien por encima de los evaluados en el PER, son los que tienen un orden de magnitud más parecido.

Para la **hidráulica** se han adoptado como válidos los techos del anterior Plan de Fomento de las Energías Renovables, por considerarla una tecnología madura cuyo potencial y restricciones (fundamentalmente medioambientales) ya están bien establecidas.

Con relación a la **geotérmica** de roca seca caliente, parecería adecuado incorporarla en los programas destinados al desarrollo de las renovables en nuestro país. Aunque tiene un potencial relativamente bajo con relación a otras tecnologías puede proporcionar una contribución significativa a la cobertura de la demanda y a la regulación del sistema de generación y transporte eléctrico.

Aunque el PER considera la energía procedente de los **residuos sólidos urbanos**, en este estudio no se considera como un recurso renovable aceptable.

Cobertura de la demanda eléctrica: propuesta de mix de generación

Con una capacidad de generación renovable tan elevada, existen infinitas opciones para configurar un mix de generación 100% renovable con capacidad para abastecer la demanda. En **la segunda parte de este proyecto se acometerá este análisis con mayor grado de detalle**, teniendo en cuenta el acoplamiento temporal entre demanda y generación, así como la capacidad de transporte de la red eléctrica, para poder llegar a un escenario 100% renovable en 2050.

A modo previo resulta interesante tener alguna idea de la configuración requerida para cubrir el 100% de la demanda eléctrica. Con la filosofía de diversificación tecnológica, los gráficos muestran un posible mix tecnológico con capacidad de generación del 178% de la demanda eléctrica proyectada (es el sobredimensionado necesario en el caso de que se utilizara como sistema de distribución de la electricidad la red eléctrica con un 56% de rendimiento de regulación-transporte).

La tabla 3 muestra cómo podría configurarse dicho sistema con una potencia pico total de 180 GW, una capacidad de generación de 500 TWh/año y una ocupación del 5,3 % de la superficie peninsular.

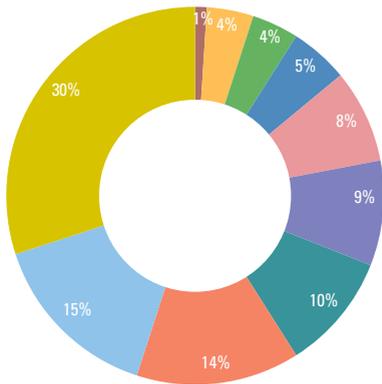
También se detalla el porcentaje de desarrollo requerido del techo de cada tecnología en el mix propuesto. La solar termoeléctrica debido a su

Tabla 3 y Gráficos Propuesta preliminar de un mix tecnológico para abastecer el 100% de la demanda eléctrica peninsular (suponiendo un sistema de regulación y transporte con 56% de rendimiento). Reparto porcentual de potencia instalada y capacidad de generación de las distintas tecnologías

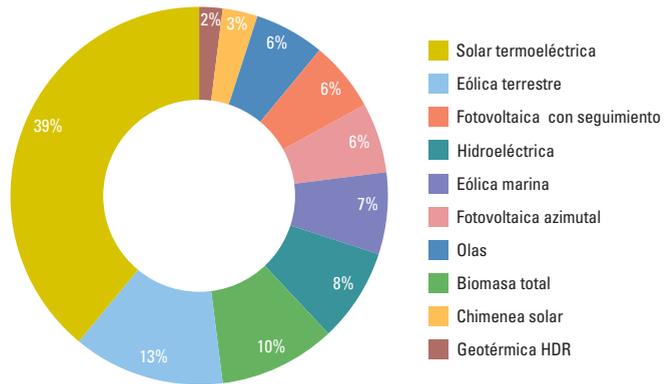
	Potencia GWp	Generación TW.h/año	Desarrollo potencial (%)	Ocupación territorio (%)
Solar	100	271	2	0,7
Solar Termoelectrica	55	198	2	0,3
Solar Fotovoltaica con seguimiento	14	28	2	0,2
Chimenea Solar	7	17	2	0,3
Fotovoltaica integrada	25	29	5	
Eólica	44	102	4	1,7
Eólica terrestre	28	69	3	1,7
Eólica marina	17	33	10	
Olas	8	30	10	
Biomasa	7	53	37	2,8
Biomasa residual y biogas	6	41	80	
Cultivos energéticos	1	7	20	1,3
Cultivos forestales de rotación rápida*	0,4	3	20	0,5
Monte bajo*	0,3	2	20	1,1
Hidráulica	19	38	100	
Hidroeléctrica (P> 10 MW)	17	31	100	
Minidráulica (P< 10 MW)	2	7	100	
Geotérmica roca seca caliente	1	8	40	
Total renovables	180	500	3	5,3

* Se presentan los techos mínimos.

Potencia instalada= 180 GW



Capacidad generación= 500 TW.h/a



alto potencial tan sólo desarrollaría el 2% de su potencial, la eólica terrestre por su requerimiento de superficie desarrollaría el 3%. En cambio tecnologías como la hidráulica o la biomasa residual y biogas al ser tecnologías ya maduras y con un techo de generación menor se desarrollaría prácticamente todo su potencial.

El reparto porcentual de potencia instalada y capacidad de generación nos muestra que más del 50% de la capacidad de generación correspondería a las tecnologías solares, de las que el mayor

porcentaje sería de la solar termoeléctrica con 39% de la capacidad de generación. La eólica (terrestre y marina) aportaría el 19% de la capacidad de generación y la biomasa el 10%. El resto se repartiría entre las diversas tecnologías renovables.

Cobertura de la demanda de energía total: propuesta de mix

El mix tecnológico más apropiado y su reparto espacial en la geografía peninsular vendrán condicionados por el sistema de distribución energética

implementado, por las necesidades de regulación de la generación (estrechamente vinculadas con la gestión de la demanda realizada), y por la evolución de costes de cada una de las tecnologías consideradas.

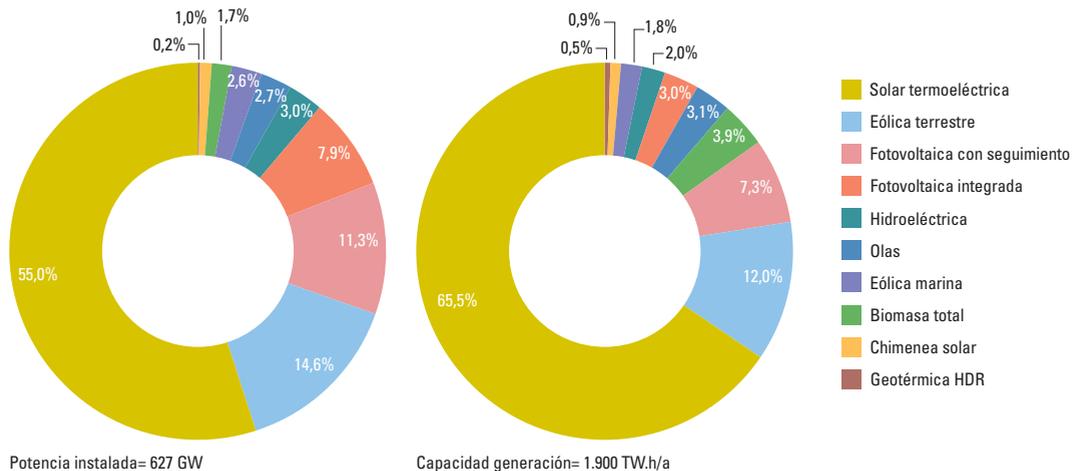
Aquí se muestra una propuesta preliminar de un mix tecnológico para abastecer el 100% de la demanda energética peninsular con energías renovables, suponiendo un sistema de regulación y transporte con 80% de rendimiento.

La tabla 4 muestra cómo podría configurarse dicho sistema con una potencia pico total de 627 GW, una capacidad de generación de 1900 TWh/año y una ocupación del 14,1% del territorio peninsular. También se detalla el porcentaje de desarrollo requerido del techo de cada tecnología.

El reparto porcentual de potencia instalada y capacidad de generación nos muestra que más del 76% de la capacidad de generación correspondería a las tecnologías solares, de las que el mayor

Tabla 4 y Gráficos Propuesta preliminar de un mix tecnológico para abastecer el 100% de la demanda de energía total peninsular (suponiendo un sistema de regulación y transporte con 80% de rendimiento). Reparto porcentual de potencia instalada y capacidad de generación de las distintas tecnologías

	Potencia GWp	Generación TWh/año	Desarrollo potencial (%)	Ocupación territorio (%)
Solar	471	1.457	11	2,8
Solar Termoelectrónica	345	1.245	13	1,7
Solar Fotovoltaica con seguimiento	71	138	10	0,9
Chimenea Solar	7	17	2	0,3
Fotovoltaica integrada	50	57	10	
Eólica	108	262	10	5,7
Eólica terrestre	92	229	10	5,7
Eólica marina	17	33	10	
Olas	17	59	20	
Biomasa	11	75	53	5,6
Biomasa residual y biogás	7	51	100	
Cultivos energéticos	2	14	40	2,5
Cultivos forestales de rotación rápida	0,8	6	40	0,9
Monte bajo	0,5	4	40	2,2
Hidráulica	19	38	100	
Hidroeléctrica (P> 10 MW)	17	31	100	
Minidráulica (P< 10 MW)	2	7	100	
Geotérmica roca seca caliente	1	10	50	0,0
Total renovables	627	1.900	12	14,1



porcentaje corresponde a la solar termoeléctrica con un 65,5% de la capacidad de generación y el 7,3% a las solares fotovoltaicas con seguimiento.

La eólica terrestre significaría el 12% de la capacidad de generación. El resto se repartiría entre las diversas tecnologías renovables.

3.3. Resultados por CC.AA.

A continuación mostramos el número de veces que sería posible satisfacer la demanda de energía eléctrica y total³ proyectada para cada comunidad autónoma en 2050. Estos resultados son interesantes para apreciar la distribución espacial de los recursos de energías renovables en la España peninsular, así como para servir de guía al desarrollo de la promoción y apoyo a las distintas tecnologías renovables en el marco de las comunidades.

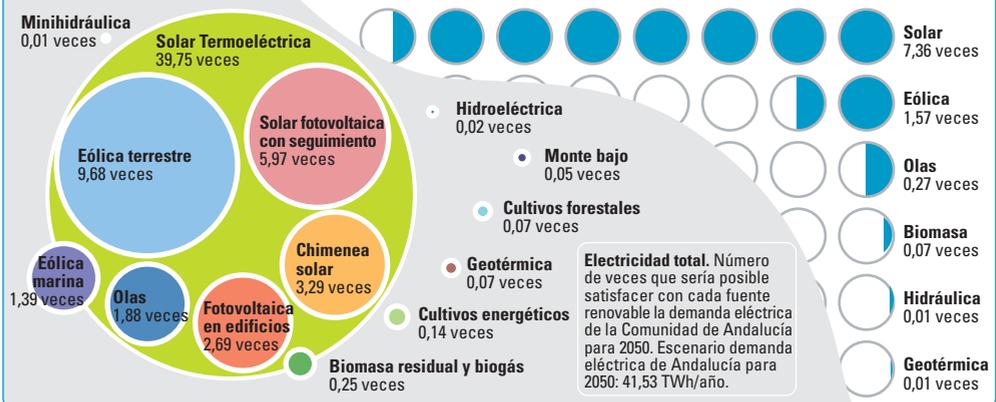
Andalucía es la comunidad de la península con mayor potencial para la generación de electricidad a partir de energía solar fotovoltaica integrada en edificios y de biomasa residual y biogás. Podría ser autosuficiente para toda su demanda de electricidad con energías renovables, pero incluso podría hacerlo sólo con una cualquiera de éstas: termosolar, solar fotovoltaica con seguimiento, solar fotovoltaica integrada en edificios, chimeneas solares, eólica terrestre, eólica marina o energía de las olas. También podría generar con termosolar o eólica terrestre energía suficiente para satisfacer toda la demanda eléctrica peninsular.

Como vemos en la figura, Andalucía podría generar **electricidad** suficiente para satisfacer cincuenta y

dos veces su demanda de electricidad desarrollando todo su potencial solar. Sólo con la solar termoeléctrica se podría satisfacer casi cuarenta veces la demanda eléctrica proyectada para Andalucía para 2050 (41,53 TWh/año) y unas seis veces la demanda eléctrica peninsular total (280 TWh/año). La eólica terrestre podría satisfacer diez veces la demanda eléctrica de Andalucía. Con eólica marina se podría generar una cantidad de electricidad superior a la demanda de la comunidad. Con la energía de las olas se podría satisfacer casi el doble de su demanda eléctrica.

El potencial solar de esta comunidad permitiría satisfacer siete veces la **demanda energética total** proyectada para esta comunidad para 2050 (291,89 TWh/año) y el potencial eólico casi dos veces.

Energía total. Número de veces que sería posible satisfacer con cada energía renovable la demanda energética de la Comunidad de Andalucía. Escenario demanda energética de la Comunidad de Andalucía para 2050: 291,89 TWh/año



³ Se han utilizado los techos de generación máximos tanto para eólica terrestre como para los cultivos forestales de rotación rápida y el aprovechamiento del monte bajo.

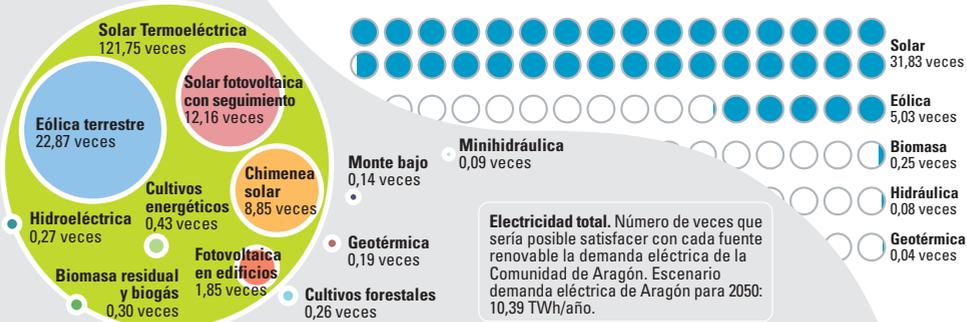
Aragón podría ser autosuficiente para toda su demanda de electricidad con energías renovables, pero incluso podría hacerlo sólo con una cualquiera de éstas: termosolar, solar fotovoltaica con seguimiento, solar fotovoltaica integrada en edificios, chimeneas solares, eólica terrestre o biomasa. También podría generar con termosolar energía suficiente para satisfacer toda la demanda eléctrica peninsular.

Como vemos en la figura, Aragón podría generar **electricidad** suficiente para satisfacer unas ciento cuarenta y cinco veces su demanda de electricidad únicamente con el potencial solar con el que cuenta. Es de destacar el gran potencial de la solar termoeléctrica, que podría satisfacer casi ciento veintidós veces la

demanda eléctrica proyectada para la comunidad en 2050 (10,39 TWh/año) y cinco veces la demanda eléctrica peninsular total (280 TWh/año). Con otras tecnologías solares como la solar fotovoltaica con seguimiento, chimenea solar y fotovoltaica integrada en edificios también se podría generar varias veces la demanda de electricidad de esta comunidad para 2050. Aragón podría generar con eólica terrestre una cantidad de electricidad hasta veintitrés veces superior a su propia demanda eléctrica proyectada en 2050.

El potencial solar de esta comunidad permitiría satisfacer treinta y dos veces la **demanda energética total** proyectada para esta comunidad para 2050 (47,2 TWh/año) y el potencial eólico 5 veces.

Energía total. Número de veces que sería posible satisfacer con cada energía renovable la demanda energética de la Comunidad de Aragón. Escenario demanda energética de la Comunidad de Aragón para 2050: 47,2 TWh/año



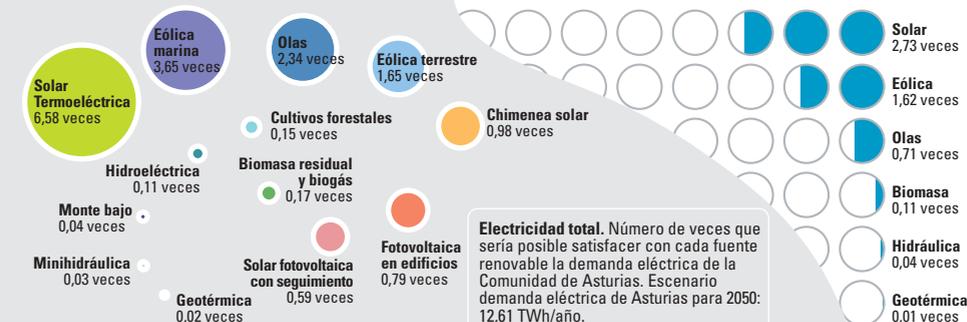
Asturias podría ser autosuficiente para toda su demanda de electricidad con energías renovables, pero incluso podría hacerlo sólo con una cualquiera de éstas: termosolar, eólica terrestre, eólica marina o energía de las olas.

Como vemos en la figura, Asturias podría generar **electricidad** suficiente para satisfacer casi siete veces su demanda de electricidad proyectada en 2050 (12,61 TWh/año) desarrollando todo su potencial de solar termoeléctrica. La eólica podría satisfacer más de 5

veces la demanda eléctrica de Asturias. Con eólica marina se podría generar una cantidad de electricidad casi cuatro veces superior a la demanda de la comunidad. Con la energía de las olas se podría satisfacer más de dos veces su demanda eléctrica.

El potencial solar de esta comunidad permitiría satisfacer tres veces la **demanda energética total** proyectada para esta comunidad para 2050 (41,26 TWh/año) y el potencial eólico dos veces.

Energía total. Número de veces que sería posible satisfacer con cada energía renovable la demanda energética de la Comunidad de Asturias. Escenario demanda energética de la Comunidad de Asturias para 2050: 41,26 TWh/año



Cantabria

Cantabria podría ser autosuficiente para toda su demanda de electricidad con energías renovables, pero incluso podría hacerlo sólo con una cualquiera de éstas: termosolar, solar fotovoltaica integrada en edificios, chimeneas solares, eólica terrestre, eólica marina o energía de las olas.

Como vemos en la figura, Cantabria podría generar **electricidad** suficiente para satisfacer veinticuatro veces su demanda de electricidad desarrollando todo su potencial solar. Sólo con la solar termoeléctrica se podría satisfacer diecinueve veces la demanda eléctrica proyectada para esta comunidad para 2050 (4,13

TWh/año). Con otras tecnologías solares como chimenea solar y fotovoltaica integrada en edificios también se podría generar varias veces la demanda de electricidad de esta comunidad para 2050. La eólica terrestre podría satisfacer 2,59 veces la demanda eléctrica de Cantabria. Con eólica marina se podría generar una cantidad de electricidad casi tres veces superior a la demanda de la comunidad. Con la energía de las olas se podría satisfacer más de dos veces su demanda eléctrica. El potencial eólico de esta comunidad permitiría satisfacer toda la **demand energética total** proyectada para esta comunidad para 2050 (21,09 TWh/año) y el potencial solar cinco veces.

Energía total. Número de veces que sería posible satisfacer con cada energía renovable la demanda energética de la Comunidad de Cantabria. Escenario demanda energética de la Comunidad de Cantabria para 2050: 21,09 TWh/año



Castilla-La Mancha

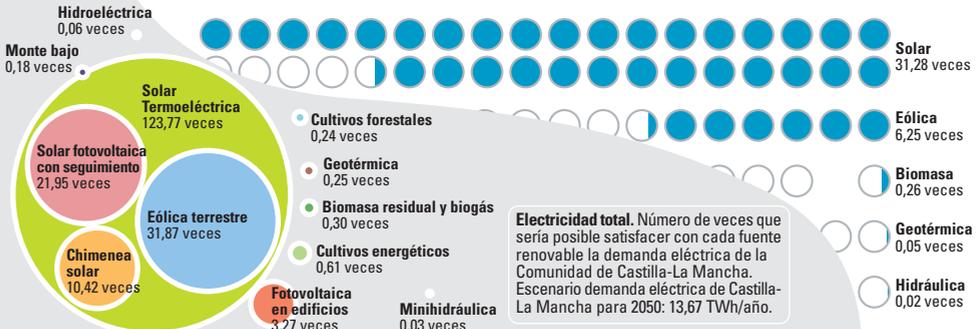
Castilla-La Mancha es la comunidad de la península con mayor potencial para la generación de electricidad a partir de energía geotérmica (junto con Castilla y León) y de eólica terrestre.

Como vemos en la figura, Castilla-La Mancha podría ser autosuficiente con energías renovables para toda su demanda de **electricidad** proyectada para 2050 (13,67 TWh/año), pero incluso podría hacerlo sólo con una cualquiera de éstas: termosolar (ciento veinticuatro veces), solar fotovoltaica con seguimiento (veinti-

dós veces), solar fotovoltaica integrada en edificios, chimeneas solares, eólica terrestre (casi treinta y dos veces) o biomasa. También podría generar con termosolar (seis veces), solar fotovoltaica con seguimiento o eólica terrestre energía suficiente para satisfacer toda la demanda eléctrica peninsular.

El potencial solar de esta comunidad permitiría satisfacer treinta y una veces la **demand energética total** proyectada para esta comunidad para 2050 (69,67 TWh/año) y el potencial eólico seis veces.

Energía total. Número de veces que sería posible satisfacer con cada energía renovable la demanda energética de la Comunidad de Castilla-La Mancha. Escenario demanda energética de la Comunidad de Castilla-La Mancha para 2050: 69,67 TWh/año

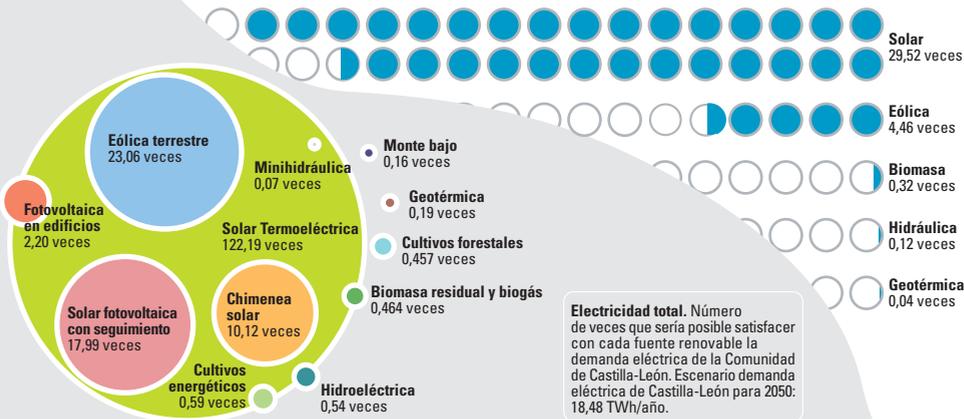


Castilla y León es la comunidad de la península con mayor potencial para la generación de electricidad a partir de energía geotérmica (junto con Castilla-La Mancha), hidráulica, biomasa, chimeneas solares, solar fotovoltaica con seguimiento y energía termosolar. Como vemos en la figura, Castilla y León podría ser autosuficiente con energías renovables para toda su demanda de **electricidad** proyectada para 2050 (18,48 TWh/año), pero incluso podría hacerlo sólo con una cualquiera de éstas: termosolar (más de ciento veintidós veces), solar fotovoltaica con seguimiento (diecio-

cho veces), solar fotovoltaica integrada en edificios, chimeneas solares, eólica terrestre (veintitrés veces) o biomasa. También podría generar con termosolar (ocho veces), solar fotovoltaica con seguimiento o eólica terrestre (dos veces) energía suficiente para satisfacer toda la demanda eléctrica peninsular.

El potencial solar de esta comunidad permitiría satisfacer treinta veces la **demanda energética total** proyectada para esta comunidad para 2050 (95,46 TWh/año) y el potencial eólico cuatro veces.

Energía total. Número de veces que sería posible satisfacer con cada energía renovable la demanda energética de la Comunidad de Castilla-León. Escenario demanda energética de la Comunidad de Castilla-León para 2050: 95,46 TWh/año



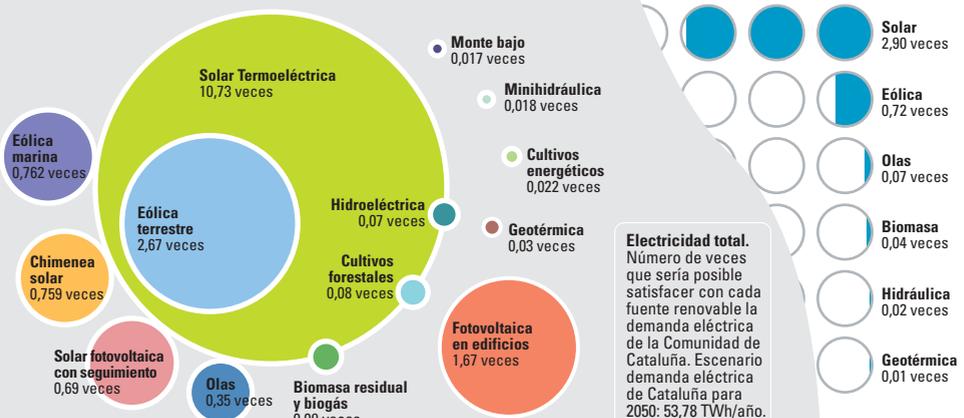
Electricidad total. Número de veces que sería posible satisfacer con cada fuente renovable la demanda eléctrica de la Comunidad de Castilla-León. Escenario demanda eléctrica de Castilla-León para 2050: 18,48 TWh/año.

Como vemos en la figura, Cataluña podría ser autosuficiente con energías renovables para toda su demanda de **electricidad** proyectada para 2050 (53,78 TWh/año), pero incluso podría hacerlo sólo con una cualquiera de éstas: termosolar (once veces), solar fotovoltaica integrada en edificios (dos veces) o eólica terrestre (casi tres veces).

También podría generar con termosolar energía suficiente para satisfacer el doble de toda la demanda eléctrica peninsular.

El potencial solar de esta comunidad permitiría satisfacer tres veces la **demanda energética total** proyectada para esta comunidad para 2050 (257,25 TWh/año).

Energía total. Número de veces que sería posible satisfacer con cada energía renovable la demanda energética de la Comunidad de Cataluña. Escenario demanda energética de la Comunidad de Cataluña para 2050: 257,25 TWh/año



Electricidad total. Número de veces que sería posible satisfacer con cada fuente renovable la demanda eléctrica de la Comunidad de Cataluña para 2050: 53,78 TWh/año.

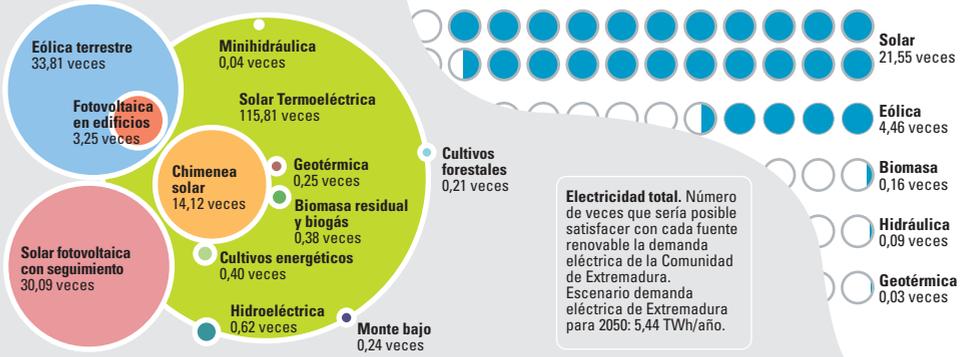
Extremadura

Como vemos en la figura, Extremadura podría ser autosuficiente con energías renovables para toda su demanda de **electricidad** proyectada para 2050 (5,44 TWh/año), pero incluso podría hacerlo sólo con una cualquiera de éstas: termosolar (casi ciento dieciséis veces), solar fotovoltaica con seguimiento, solar fotovoltaica integrada en edificios, chimeneas solares, eólica terrestre (treinta y cuatro veces) o biomasa. Extremadura podría generar electricidad suficiente para abastecer ciento sesenta y tres veces su deman-

da eléctrica proyectada en 2050 desarrollando todo el potencial solar con el que cuenta. También podría generar con termosolar energía suficiente para satisfacer el doble de toda la demanda eléctrica peninsular.

El potencial solar de esta comunidad permitiría satisfacer casi veintidós veces la **demand energética total** proyectada para esta comunidad para 2050 (41,21 TWh/año) y el potencial de eólica más de cuatro veces.

Energía total. Número de veces que sería posible satisfacer con cada energía renovable la demanda energética de la Comunidad de Extremadura. Escenario demanda energética de la Comunidad de Extremadura para 2050: 41,21 TWh/año



Galicia es la comunidad de la península con mayor potencial para la generación de electricidad a partir de la biomasa de monte bajo y de la energía de las olas.

Galicia podría generar electricidad suficiente para satisfacer treinta veces su demanda eléctrica proyectada en 2050 desarrollando todo el potencial de la solar y nueve veces desarrollando su potencial de eólica. También podría generar con termosolar energía suficiente para satisfacer el doble de toda la demanda eléctrica peninsular.

Como vemos en la figura, Galicia podría ser autosuficiente con energías renovables para toda su demanda de **electricidad** proyectada para 2050 (22,23 TWh/año), pero incluso podría hacerlo sólo con una cualquiera de éstas: termosolar (casi veinticuatro veces), solar fotovoltaica con seguimiento, solar fotovoltaica integrada en edificios, chimeneas solares, eólica terrestre, eólica marina (tres veces) o energía de las olas (casi seis veces). Gal-

icia podría generar electricidad suficiente para satisfacer seis veces la **demand energética total** proyectada para esta comunidad para 2050 (105,56 TWh/año), el potencial de eólica dos veces y una vez con la energía de las olas.

Energía total. Número de veces que sería posible satisfacer con cada energía renovable la demanda energética de la Comunidad de Galicia. Escenario demanda energética de la Comunidad de Galicia para 2050: 105,56 TWh/año



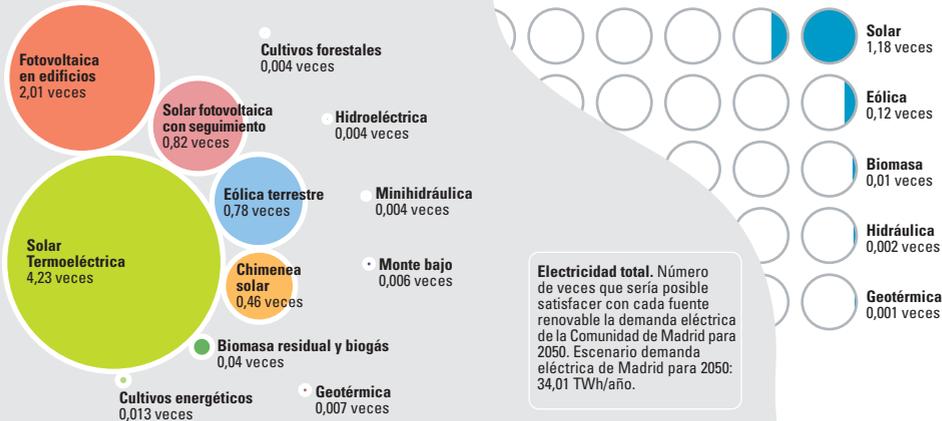
Galicia

Como vemos en la figura, la Comunidad de Madrid podría ser autosuficiente con energías renovables para toda su demanda de **electricidad** proyectada para 2050 (34,01 TWh/año), pero incluso podría hacerlo sólo con termosolar (más de cuatro veces) o con fotovoltaica integrada en edificios (dos veces). La Comunidad de Madrid podría generar electricidad suficiente

para abastecer siete veces su demanda eléctrica proyectada en 2050 desarrollando todo su potencial solar.

Sería posible satisfacer la **demanda energética total** proyectada para la Comunidad de Madrid para el año 2050 (219,45 TWh/año) desarrollando todo el potencial de la solar.

Energía total. Número de veces que sería posible satisfacer con cada energía renovable la demanda energética de la Comunidad de Madrid. Escenario demanda energética de la Comunidad de Madrid para 2050: 219,45 TWh/año

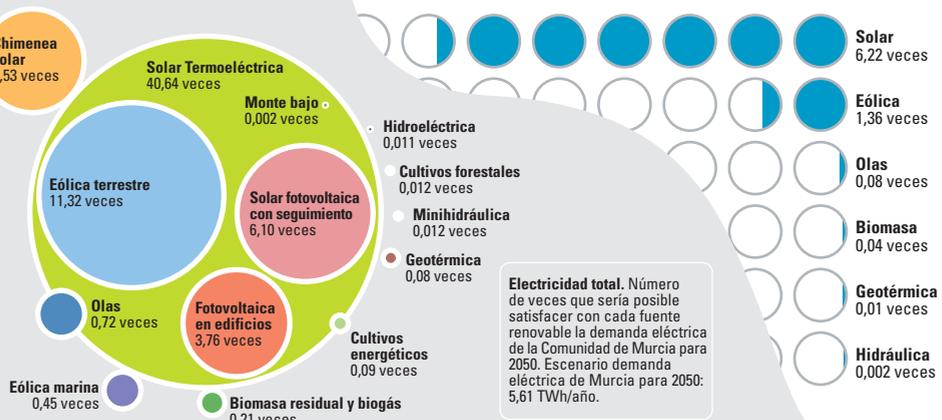


Como vemos en la figura, la Región de Murcia podría ser autosuficiente con energías renovables para toda su demanda de **electricidad** proyectada para 2050 (5,61 TWh/año), pero incluso podría hacerlo sólo con una cualquiera de éstas: termosolar (cuarenta y una veces), solar fotovoltaica con seguimiento, solar fotovoltaica integrada en edificios, chimeneas solares o eólica terrestre (más de once veces). La Región de Murcia podría generar electricidad suficiente

para satisfacer cincuenta y cinco veces su demanda eléctrica proyectada en 2050 desarrollando todo su potencial solar.

Sería posible satisfacer la **demanda energética total** proyectada para la Región de Murcia para el año 2050 (48,7 TWh/año) desarrollando todo el potencial de la eólica y seis veces desarrollando todo el potencial de la solar.

Energía total. Número de veces que sería posible satisfacer con cada energía renovable la demanda energética de la Comunidad de Murcia. Escenario demanda energética de la Comunidad de Murcia para 2050: 48,7 TWh/año



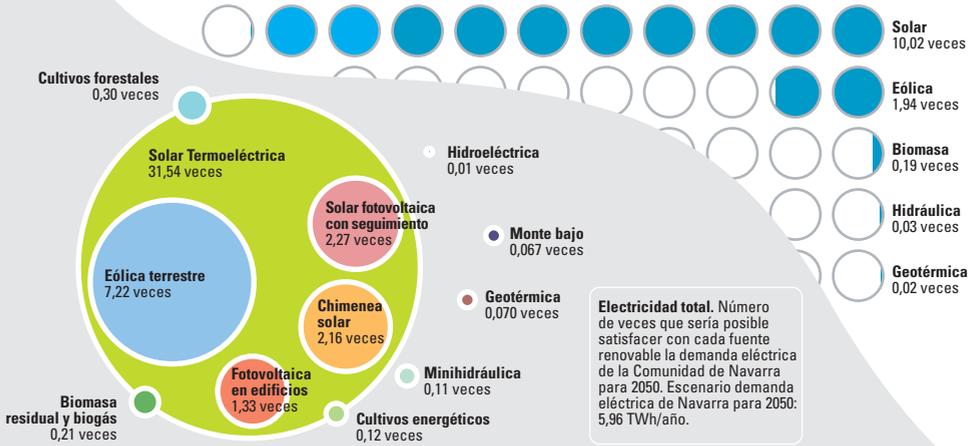
Navarra

Como vemos en la figura, la Comunidad Foral de Navarra podría ser autosuficiente con energías renovables para toda su demanda de **electricidad** proyectada para 2050 (5,96 TWh/año), pero incluso podría hacerlo sólo con una cualquiera de éstas: termosolar (casi treinta y dos veces), solar fotovoltaica con seguimiento (casi treinta y dos veces), solar fotovoltaica integrada en edificios, chimeneas solares o eólica terrestre (más de siete veces). Navarra podría generar electricidad suficiente para satisfa-

cer treinta y siete veces su demanda eléctrica proyectada en 2050 desarrollando todo el potencial solar.

Sería posible satisfacer diez veces la **demanda energética total** proyectada para la Comunidad Foral de Navarra para el año 2050 (22,19 TWh/año) desarrollando todo su potencial solar y casi dos veces desarrollando todo el potencial de la eólica.

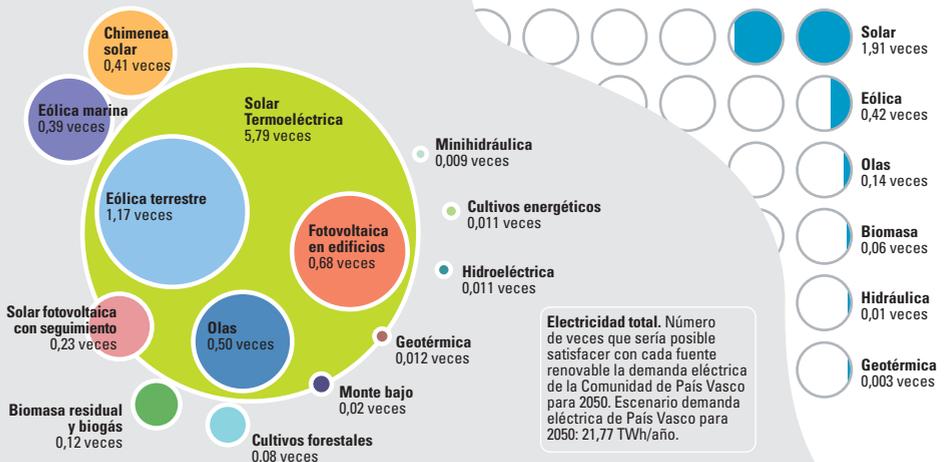
Energía total. Número de veces que sería posible satisfacer con cada energía renovable la demanda energética de la Comunidad de Navarra. Escenario demanda energética de la Comunidad de Navarra para 2050: 22,19 TWh/año



Como vemos en la figura, la Comunidad Autónoma Vasca podría ser autosuficiente con energías renovables para toda su demanda de **electricidad** proyectada para 2050 (21,77 TWh/año), pero incluso podría hacerlo sólo con termosolar (casi seis veces) o con eólica

terrestre. Sería posible satisfacer casi dos veces la **demanda energética total** proyectada para el País Vasco para el año 2050 (81,05 TWh/año) desarrollando todo su potencial solar.

Energía total. Número de veces que sería posible satisfacer con cada energía renovable la demanda energética de la Comunidad de País Vasco. Escenario demanda energética de la Comunidad de País Vasco para 2050: 81,05 TWh/año

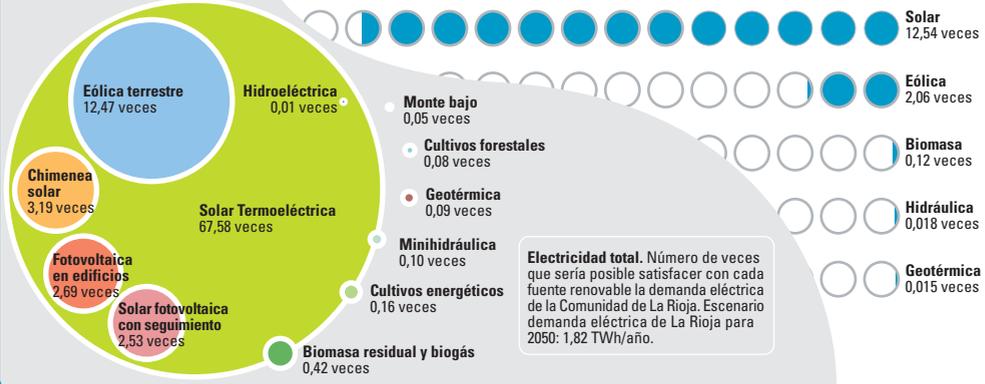


Como vemos en la figura, La Rioja podría ser autosuficiente con energías renovables para toda su demanda de **electricidad** proyectada para 2050 (1,82 TWh/año), pero incluso podría hacerlo sólo con una cualquiera de estas: termosolar (sesenta y ocho veces), solar fotovoltaica con seguimiento, solar fotovoltaica integrada en edificios, chimeneas solares o eólica terrestre (doce veces). La Rioja podría generar electricidad sufi-

ciente para satisfacer setenta y siete veces su demanda eléctrica proyectada en 2050 desarrollando todo su potencial solar.

Sería posible satisfacer casi trece veces la **demanda energética total** proyectada para La Rioja para el año 2050 (11,03 TWh/año) desarrollando todo su potencial solar y dos veces desarrollando su potencial eólico.

Energía total. Número de veces que sería posible satisfacer con cada energía renovable la demanda energética de la Comunidad de La Rioja. Escenario demanda energética de la Comunidad de La Rioja para 2050: 11,03 TWh/año



La Comunidad Valenciana es la comunidad de la península con mayor potencial para la generación de electricidad a partir de energía eólica marina.

Como vemos en la figura, la Comunidad Valenciana podría ser autosuficiente con energías renovables para toda su demanda de **electricidad** proyectada para 2050 (28,57 TWh/año), pero incluso podría hacerlo sólo con una cualquiera de estas: termosolar (más de once veces), solar fotovoltaica con seguimiento, solar fotovoltaica integrada en edificios (hasta tres veces), chimeneas solares, eólica terrestre o eólica marina (cuatro veces). La Comunidad Valenciana podría generar

electricidad suficiente para satisfacer dieciséis veces su demanda eléctrica proyectada en 2050 desarrollando todo el potencial que le ofrece la solar. Esta comunidad podría satisfacer su demanda eléctrica ocho veces desarrollando todo su potencial de energía eólica. También podría generar con termosolar energía suficiente para satisfacer toda la demanda eléctrica peninsular.

Sería posible satisfacer toda la **demanda energética total** proyectada para la Comunidad Valenciana para el año 2050 (171,56 TWh/año) desarrollando todo su potencial eólico y casi tres veces desarrollando su potencial solar.

Energía total. Número de veces que sería posible satisfacer con cada energía renovable la demanda energética de la Comunidad de Valencia. Escenario demanda energética de la Comunidad de Valencia para 2050: 171,56 TWh/año



4.

Conclusiones del informe y demandas de Greenpeace

Conclusiones

- La **capacidad de generación de electricidad con fuentes renovables** es muy superior a la demanda. Si sumáramos los techos obtenidos para cada una de las tecnologías se alcanzaría un máximo de 15.798 TWh/año, equivalentes a **56,42 veces la demanda peninsular de electricidad** proyectada en 2050.
- Esa capacidad de generación renovable tan elevada nos permite plantearnos la posibilidad teórica de cubrir todas las demandas de energía, no sólo eléctrica, pues equivale a **10,36 veces la demanda peninsular de energía total** proyectada en 2050.
- **Los recursos renovables más abundantes son los asociados a la energía solar:** entre todas las tecnologías solares se podría obtener energía equivalente a 8,32 veces la demanda energética total de la península en 2050, destacando la energía solar termoeléctrica, cuyo potencial de generación supone el 62,6% del total renovable. Por tanto, nuestro mayor yacimiento energético es el sol, lo cual confirma que verdaderamente estamos en “el país del sol”, y esto contrasta enormemente con el papel absolutamente marginal que se le ha dado hasta ahora en las planificaciones energéticas a las distintas formas de aprovechar la energía solar.
- **El potencial de la energía eólica es muy superior a los actuales objetivos de planificación.** Para obtener una ocupación de terreno con eólica terrestre similar a la de otras tecnologías, no sería necesario desarrollar más de la décima parte de su potencial, y aún así se podría instalar más de cuatro veces la potencia actualmente planificada.
- Hay tecnologías que hasta ahora han sido completamente despreciadas en la planificación y en la regulación de incentivos, como la energía eólica marina, la de las olas, la geotérmica de roca seca o las chimeneas solares, que presentan elevados potenciales de generación de energía.
- Los recursos de **biomasa** son limitados, en relación con otras renovables. Por eso, y puesto que por su elevada capacidad de regulación puede tener un papel importante en el actual sistema eléctrico, **debe priorizarse la máxima eficiencia en su utilización**, en aplicaciones de generación simultánea de calor y electricidad (cogeneración), sin detrimento de su necesaria aportación en sectores como el transporte y la climatización de edificios. Existe recurso suficiente para que toda la capacidad de cogeneración actualmente planificada pudiera funcionar con biomasa.
- **Existen infinitas opciones de configurar un mix de generación de electricidad 100%**

renovable. Aunque la segunda parte de este proyecto lo desarrollará en profundidad, se puede avanzar un posible parque de generación que, con un sobredimensionamiento del 178% y 180.000 MW de potencia instalada combinando las distintas tecnologías renovables, tuviese capacidad de generar la totalidad de la demanda eléctrica proyectada en 2050, con una ocupación del 5,3% del territorio.

- **Sería técnicamente viable abastecer el 100% de la demanda energética total con fuentes renovables.** La combinación más apropiada de tecnologías y su ubicación geográfica dependerán del sistema de distribución energética, de las necesidades de regulación de la generación (vinculadas con la gestión de la demanda) y de la evolución de costes de cada tecnología.
- Los recursos renovables están tan **ampliamente distribuidos en el territorio peninsular**, que todas las comunidades autónomas disponen de suficiente capacidad como para abastecer completamente su propia demanda de energía eléctrica y total.

Qué pide Greenpeace

Para evitar un cambio climático peligroso y los demás impactos ambientales de las energías sucias, y dada la abundancia de recursos renovables disponibles y teniendo en cuenta las grandes inversiones que absorbe el sistema energético y sus largos periodos de amortización, es urgente encaminar de forma coherente las estrategias de desarrollo de nuestro sistema energético hacia un horizonte 100% renovable. Para impulsar esta Revolución Energética se necesita:

- Establecer objetivos legales de obligatorio cumplimiento, en el marco de la próxima **Directiva europea de Energías Renovables**, para que las energías renovables aporten un mínimo del 20% de la demanda de energía primaria de cada uno de los 25 estados de la UE para 2020, indicando un objetivo específico para cada energía

renovable, de acuerdo con los recursos renovables de cada país.

- Fortalecer el sistema de **primas a las energías renovables**, garantizando a los inversores un retorno de la inversión estable y atractivo para cada tecnología.
- Desarrollar una **fiscalidad ecológica** que incluya desgravaciones y bonificaciones a las inversiones en energías renovables, especialmente para la energía solar.
- Garantizar a las energías renovables la **prioridad de acceso a la red**.
- Dar prioridad al desarrollo de las tecnologías solares en España, fijando objetivos más ambiciosos, en consonancia con su altísimo potencial, que permitan crear mercados fuertes de cada una de las aplicaciones de la **energía solar** para pasar a ser “el país de la energía solar”. Aprobar con urgencia la obligatoriedad de uso de energía solar térmica y fotovoltaica en los edificios que se construyan o reformen.
- Aprobar un **plan eólico marino** que determine los criterios para la implantación territorial de esta energía y evite situaciones de incompreensión social.
- Favorecer el aprovechamiento sostenible de la **biomasa**, imponiendo estrictos criterios ambientales para la selección de recursos y creando redes de distribución que faciliten y hagan rentable su explotación, así como asegurar la máxima eficiencia en su utilización, obligando a su uso en cogeneración siempre que sea técnicamente posible.
- Incorporar al plan de energías renovables tecnologías de alto potencial hasta ahora “olvidadas”: olas, geotérmica, chimeneas solares.
- Garantizar el derecho de los consumidores a **elegir electricidad limpia**, limitando el poder de mercado de las grandes empresas eléctricas y estableciendo un etiquetado eléctrico que obligue a las compañías eléctricas a facilitar en sus facturas y anuncios una información estandarizada, completa, comparable y fiable sobre el origen y el impacto ambiental de la electricidad que venden.
- Establecer objetivos obligatorios de **eficiencia energética**, que incluyan un ahorro energético

anual de al menos un 2,5% para el sector privado y de un 3% para el sector público.

- Revisar la actual **planificación energética**, tal como prometió el presidente del Gobierno, estableciendo un objetivo de mayor eficiencia y menor demanda energética y planificando las infraestructuras energéticas necesarias, no para continuar con la construcción masiva de centrales térmicas, sino para acelerar la inversión en renovables.
- **Eliminar todas las subvenciones a los combustibles fósiles y a la energía nuclear**, e internalizar todos sus costes externos.
- **Desincentivar las inversiones en nuevas centrales térmicas**, obligando a demostrar, mediante un análisis pormenorizado, que todas las alternativas de energía limpia (eficiencia y renovables) están agotadas o no son suficien-

tes, antes de autorizar la construcción de cualquier central de combustible fósil.

- Poner en marcha un plan de **cierre progresivo pero urgente de las centrales nucleares** existentes, en el horizonte del 2015, en coherencia con el compromiso electoral del PSOE y del programa de Gobierno del Presidente Rodríguez Zapatero.
- Aprobar un **Plan Nacional de Asignación de emisiones** para el periodo 2008-2012 que asegure que España cumpla el objetivo comprometido en el Protocolo de Kioto.
- Negociar **nuevos y más profundos objetivos de reducción de emisiones** para el segundo periodo de compromiso del Protocolo de Kioto (2013-2017) y elevarlos para el tercer periodo de compromiso (2018-2022) a un mínimo del 30% de reducción global.

Anexo

Glosario de términos

Demanda de energía eléctrica o demanda de electricidad.

Es la cantidad de electricidad que consume en un intervalo de tiempo la población, ya sea para consumo en el sector doméstico, industrial, servicios...

La demanda eléctrica per capita se expresa en kWh/habitante.

Para hablar de la demanda eléctrica peninsular en este estudio empleamos TWh/año.

Demanda energética total o final

Es la cantidad de energía (en forma de calor, electricidad, movimiento...) que consume la población en un tiempo dado en todos los sectores: transporte, doméstico, industrial, servicios...

Para hacerla comparable con la demanda eléctrica, usamos las mismas unidades: kWh/habitante-día, TWh/año.

Energía y potencia

El brillo de una bombilla depende de su potencia (vatios), pero la energía que utiliza depende del tiempo que está encendida (vatios-hora). De forma similar, una central que genera energía tendrá una potencia o capacidad (kW) y la energía que produce esa central será el producto de la potencia instantánea por el tiempo que la central está funcionando (kWh).

• Unidades

W= vatio, es la unidad internacional estándar de potencia

kWh= kilovatio-hora, unidad de energía.

Un dispositivo que tiene un kW de potencia, al cabo de una hora habrá consumido un kilovatio-hora de energía

• **Equivalencia**

1 kW (kilovatio)= 1000 vatios

1MW (megavatio)= 1000 kW

1GW(gigavatio)= 1000 MW o mil millones de vatios

1TW (teravatio)= 1000 GW o mil millones de kilovatios

Generación

Producción de energía eléctrica.

Mix de generación eléctrica

Es la combinación de las diferentes tecnologías que se emplean para generar la electricidad necesaria para satisfacer la demanda eléctrica. También se conoce como cesta o cartera de generación.

Potencia pico

Potencia máxima que puede ser generada por una central solar fotovoltaica en condiciones estándar.

Sistema eléctrico

El conjunto de equipos necesarios para dar el servicio eléctrico, es decir, para hacer que los consumidores dispongan de la electricidad que demandan. Incluye tanto las centrales generadoras como la red que transporta la electricidad entre distintas zonas del país y la que la distribuye hasta los puntos de consumo.

Sistema de generación eléctrica

Hablamos de sistema de generación eléctrica para referirnos a la parte del sistema eléctrico que comprende el conjunto de unidades generadoras (centrales térmicas, parques eólicos...)

Sistema o red de transporte y de distribución

El actual sistema de cableado que se utiliza para transportar la electricidad desde las centrales en las que se genera a los puntos de demanda. La energía eléctrica se transporta en alta tensión entre distintas zonas del país y se distribuye en baja tensión hasta los puntos de consumo.

Techo de generación

La energía que se podría generar con cada tecnología en el caso de que desarrollara todo su potencial.

Techo de potencia

La potencia que se podría instalar de cada tecnología en el caso de que se desarrollara todo su potencial.



GREENPEACE