



Renovables
100%

Cataluña

GREENPEACE

greenpeace.es

Documento resumen, elaborado por José Luis García Ortega y Alicia Cantero, a partir de los informes *Renovables 2050. Un informe sobre el potencial de las energías renovables en la España peninsular* y *Renovables 100%. Un sistema eléctrico renovable para la España peninsular y su viabilidad económica*.

Diseño y maquetación: Espacio de ideas

Este informe ha sido producido gracias a las aportaciones económicas de los socios de Greenpeace.

Greenpeace es una organización independiente política y económicamente que no recibe subvenciones de empresas, ni gobiernos, ni partidos políticos. Hazte socio en www.greenpeace.es

Impreso en papel 100% reciclado postconsumo y totalmente libre de cloro.

Mayo 2008

Índice

0	Introducción: Proyecto “Revolución Energética” de Greenpeace	4
1	Potencial de las renovables en Cataluña	6
1.1.	Hipótesis y metodología	6
1.2.	Principales resultados	8
1.2.1.	Resultados por tecnologías	8
1.2.2.	Síntesis de resultados. Recursos renovables disponibles	18
1.3.	Conclusiones	20
2	Comparativa de costes	21
2.1.	Indicadores	22
2.2.	Principales resultados	22
2.2.1.	Centrales térmicas y nucleares	22
2.2.2.	Costes por tecnologías renovables	24
2.2.3.	Comparativa de tecnologías. Síntesis de resultados	33
2.3.	Conclusiones	35
3	Ejemplo de mix 100% renovable para Cataluña	36
3.1.	Comparación con el Plan de la Energía de Cataluña 2006-2015	40
4	Conclusiones	43
5	Propuestas de Greenpeace	44
6	Anexo. Glosario de términos	45

INTRODUCCIÓN: PROYECTO “REVOLUCIÓN ENERGÉTICA” DE GREENPEACE

El sistema energético está en una encrucijada. El consumo masivo de combustibles fósiles, la principal fuente de energía, está provocando un cambio climático que ya se está dejando sentir. Si se continúa por este camino, es muy probable que superemos los límites de la Naturaleza, lo que puede provocar que sea imposible 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, etc.

Los informes del grupo de expertos en cambio climático de Naciones Unidas (IPCC) confirman que el ser humano está provocando un rápido calentamiento global sin precedentes, cuyas consecuencias pueden resultar muy perjudiciales para la vida si las temperaturas medias llegan a subir dos grados centígrados por encima del nivel en que estaban en la era preindustrial. La probabilidad de evitar traspasar la frontera de los dos grados depende fundamentalmente de que se logre frenar y estabilizar las concentraciones de los gases de efecto invernadero en la atmósfera, para lo cual se necesita una drástica reducción de las emisiones. Puesto que éstas son debidas principalmente al sistema energético actual, basado en la quema de combustibles fósiles, es necesaria una “revolución energética” que permita, por el lado de la demanda, acabar con el actual derroche de energía mediante el ahorro y la eficiencia, y por el lado de la generación, reemplazar las fuentes de energía sucias por otras cuyo uso pueda ser sostenible, que no son otras que las renovables.

Pero la realidad es que 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.

El problema es que, quienes deben tomar las decisiones clave, además de enfrentarse a los intereses económicos y políticos de los partidarios del “viejo modelo” energético, se enfrentan a una duda fundamental: no creen que sea posible cambiarlo. Esto se manifiesta de forma especial en Cataluña, donde la falta de voluntad política de impulsar las renovables ha impedido seguir la estela del impresionante desarrollo de la energía eólica experimentado en España en los últimos años, y los planes energéticos siguen dando como resultado la permanencia excesiva de las centrales nucleares y la invasión de centrales térmicas de gas. En el fondo, chocan dos concepciones bien diferentes del papel que puede y debe corresponder a las renovables: un papel complementario como un elemento más del sistema o un papel protagonista capaz de desplazar a las formas convencionales de

generación. El modelo y la intensidad del apoyo a unas u otras fuentes de energía dependerá al final de cuál es el horizonte que se busca alcanzar.

La opción renovable se enfrenta al reto de responder a preguntas que curiosamente no se le plantean a las energías sucias: ¿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?, ¿es posible técnicamente sustituir las energías sucias por energías limpias?, ¿cuánta energía de la que consumimos podría proceder de fuentes renovables?, ¿habría energía disponible en todos los momentos (día y noche, invierno y verano) y en todos los lugares (campo y ciudad, industrias y edificios de viviendas y comerciales) donde se demanda?, ¿qué pasa cuando no hay sol o no sopla el viento?, ¿cuántas centrales renovables harían falta y cómo deberían emplearse?, ¿costaría más un sistema basado en renovables?

Para responder a estas cuestiones, Greenpeace encargó a un equipo del Instituto de Investigación Tecnológica de la Universidad Pontificia Comillas, encabezado por el Dr. Xavier García Casals, un estudio técnico cuyo objetivo era averiguar si las renovables son suficientes para cubrir la demanda energética de la sociedad. Esta cuestión es clave para saber si necesitamos desarrollar otras fuentes de energía que cubran las supuestas limitaciones de las renovables, o por el contrario verificar que es posible evitar un cambio climático peligroso mediante la sustitución completa de los combustibles fósiles por energías renovables.

En noviembre de 2005 se presentaron los resultados de la primera parte del proyecto, bajo el título **Renovables 2050. Un informe sobre el potencial**

de las energías renovables en la España peninsular, en el que se concluía que la capacidad de generación de electricidad con fuentes renovables equivale a más de 56 veces la demanda de electricidad de la España peninsular proyectada en 2050, y a más de 10 veces la demanda de energía final total. Quedaba así demostrado que con renovables se puede disponer de energía en cantidad más que suficiente, pero faltaba demostrar si sería económica y técnicamente viable hacer funcionar todo el sistema eléctrico sólo con renovables para satisfacer la demanda proyectada.

En 2007 el informe **Renovables 100%. Un sistema eléctrico renovable para la España peninsular y su viabilidad económica** ofrece los resultados de la segunda fase del estudio, donde se cuantifica y evalúa técnicamente la viabilidad de un escenario basado en energías renovables para el sistema de generación eléctrica peninsular. **Los análisis demuestran la viabilidad técnica y económica de un sistema basado 100% en renovables.**

De estos dos informes se han extraído los datos que aquí se presentan, relativos a Cataluña, sobre el potencial de las renovables y sus costes. A ellos hemos añadido un ejemplo de posible mix de generación eléctrica 100% renovable para Cataluña, basado en los datos de los citados informes, y lo hemos comparado con las previsiones del Plan de la Energía de Cataluña de la Generalitat. Y finalmente, recopilamos las principales conclusiones y demandas de Greenpeace.



POTENCIAL DE LAS RENOVABLES EN CATALUÑA

Renovables 2050 fue el primer informe de este proyecto, donde se realizaba un detallado análisis de escenarios de desarrollo de las distintas tecnologías renovables. El informe proporciona unos techos de potencia y generación sobre los que proceder al análisis de un sistema de generación completamente renovable, reflejando de forma clara las diversas restricciones, tanto en disponibilidad de recurso energético como en la de usos del suelo. Como metodología se elaboran escenarios de población y demanda energética para el año 2050, basándose en escenarios 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 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. En este capítulo se presentan los principales resultados para Cataluña.

1.1. 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 2003.¹
- 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 cápita de cada comunidad autónoma respecto a la media española. Con estas hipótesis la demanda eléctrica proyectada para el 2050 para Cataluña sería de 53,78 TWh al año.
- Misma demanda eléctrica per cápita en todas las provincias de una misma comunidad autónoma.



¹ Las hipótesis de población se tomaron a partir de los escenarios publicados por el Instituto Nacional de Estadística en la fecha de elaboración del estudio *Renovables 2050*. Posteriormente han aparecido nuevos escenarios con mayor población a corto plazo, pero se sigue manteniendo la previsión de estabilización o disminución de población a largo plazo. En cualquier caso, el posible impacto en los resultados de tomar distintas hipótesis de población afectaría a lo sumo a una variación porcentual de la demanda proyectada, mientras que los resultados de capacidad de generación con energías renovables que se obtienen en este estudio están varias veces por encima de la demanda proyectada.

- 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 en 2050, de los que se estima que la demanda energética final proyectada para Cataluña sería de 257,25 TWh al 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, se han 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. 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.

1.2. Principales resultados

Los resultados de *Renovables 2050* se presentan para cada una de las tecnologías consideradas, especificando cuánto es el recurso disponible en términos absolutos, repartido por comunidades autónomas y en comparación con la demanda eléctrica proyectada para 2050. El informe muestra la gran capacidad de generación de electricidad con fuentes renovables en Cataluña, que sería capaz de satisfacer más de 17 veces la demanda eléctrica proyectada para 2050. La capacidad de generación renovable es tan elevada que se podría plantear incluso la posibilidad teórica de cubrir todas las demandas de energía, no sólo eléctrica, pues equivale a casi cuatro veces la demanda de energía total proyectada en 2050.

1.2.1. Resultados por tecnologías

Se presentan en este apartado los principales resultados del estudio para Cataluña. En primer lugar se puede ver por separado, para cada una de las tecnologías consideradas, cuánto es el recurso disponible, en términos absolutos, 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.

Los resultados que presentamos en este documento recogen los datos que se actualizaron en el informe *Renovables 100%*.

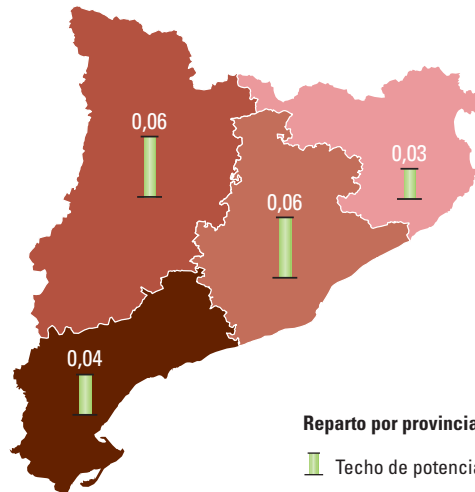
GEOTÉRMICA

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 convierte 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%.

TECHO DE POTENCIA Y DE GENERACIÓN ELÉCTRICA CON ESTA TECNOLOGÍA



Reparto por provincias de techo de potencia

Techo de potencia (GW)

TOTAL

Techo de potencia= 0,18 GW • Techo de generación eléctrica= 1,4 TWh/a
 % de la demanda eléctrica para 2050 que cubriría esta tecnología = 2,60%
 % de la demanda energética para 2050 que cubriría esta tecnología = 0,54%

En Cataluña se podrían instalar 176,8 MW² de potencia eléctrica basada en la energía geotérmica, y se podrían generar 1,4 TWh al año, lo que permitiría cubrir casi el 3% de la demanda eléctrica de esta comunidad proyectada en 2050. Las provincias con mayor techo de potencia corresponderían a Lleida (57,06 MW) y Barcelona (56,76 MW). 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.



2 Todas las cifras del informe se presentan redondeadas para acortar el número de decimales, pero todos los cálculos se han realizado previos al redondeo.

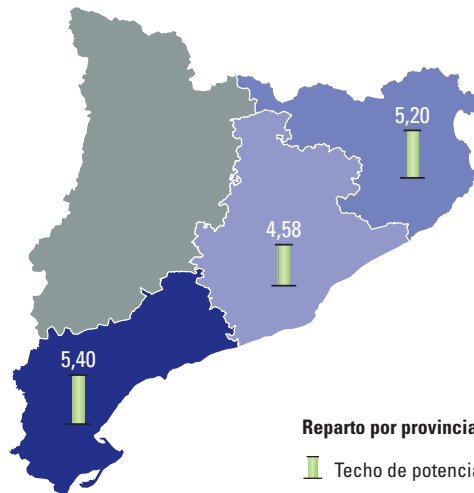
OLAS

La energía mecánica de las olas se puede aprovechar para su conversión en electricidad, aunque aún no se encuentra en fase comercial en España. Sin embargo, dada la gran extensión costera de la península, se ha considerado interesante evaluar su potencial. Para ello se ha desarrollado una caracterización del recurso con datos estadísticos y horarios de oleaje procedente del Organismo de Puertos del Estado.

La matriz de potencia de la máquina seleccionada está poco adaptada a las condiciones del clima marino mediterráneo, lo que reduce el potencial de generación.

Parte de las infraestructuras serían compartidas con las destinadas a la eólica marina, pues ambas pueden coexistir en un mismo emplazamiento.

TECHO DE POTENCIA Y DE GENERACIÓN ELÉCTRICA CON ESTA TECNOLOGÍA



TOTAL

Techo de potencia= 15,18 GW • Techo de generación eléctrica= 6,87 TWh/a
 % de la demanda eléctrica para 2050 que cubriría esta tecnología = 12,77%
 % de la demanda energética para 2050 que cubriría esta tecnología = 2,67%

Se podrían instalar 15.182,62 MW de potencia eléctrica basada en la energía de las olas, y se podrían generar 6,87 TWh al año, lo que permitiría cubrir prácticamente el 13% de la demanda eléctrica proyectada en 2050 para Cataluña. La provincia con mayor techo de potencia sería Tarragona con 5.404,57 MW.

BIOMASA

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.

TECHO DE POTENCIA Y DE GENERACIÓN ELÉCTRICA CON ESTA TECNOLOGÍA

TOTAL

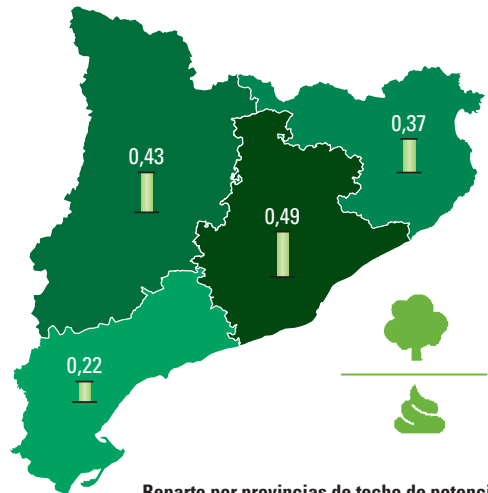
Techo de potencia= 1,52 GW • Techo de generación eléctrica= 10,88 TWh/a
 % de la demanda eléctrica para 2050 que cubriría esta tecnología = 20,23%
 % de la demanda energética para 2050 que cubriría esta tecnología = 4,23%

En Cataluña se podrían instalar 1.519,57 MW de potencia eléctrica basada en esta tecnología que generarían unos 10,88 TWh al año, lo que permitiría cubrir más del 20% de la demanda eléctrica 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. Barcelona es la provincia con mayor techo de potencia total de biomasa.

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 en Cataluña 1.018 MW, que generarían 7,28 TWh/año, equivalentes a más del 13% de la demanda eléctrica en 2050 para esta Comunidad.

Los resultados de biomasa desglosados por fuentes son:

- Monte bajo: 133,99 MW, 0,90 TWh/a (1,67% de la demanda eléctrica para 2050), con pendiente de hasta el 10%. Barcelona es la provincia con mayor techo de potencia.
- Cultivos forestales de rotación rápida: 564,35 MW, 4,20TWh/a (7,81% de la demanda eléctrica para 2050), con pendiente de hasta el 10%.



Reparto por provincias de techo de potencia

▮ Techo de potencia (GW)

Barcelona y Girona son las provincias con mayor techo de potencia.

- Cultivos energéticos: 163,05 MW, 1,21TWh/a (2,25% de la demanda eléctrica para 2050). Lleida es la provincia con mayor techo de potencia.
- Residual y biogás: 658,18 MW, 4,57 TWh/a (8,50% de la demanda eléctrica para 2050). Lleida es la provincia con mayor techo de potencia.

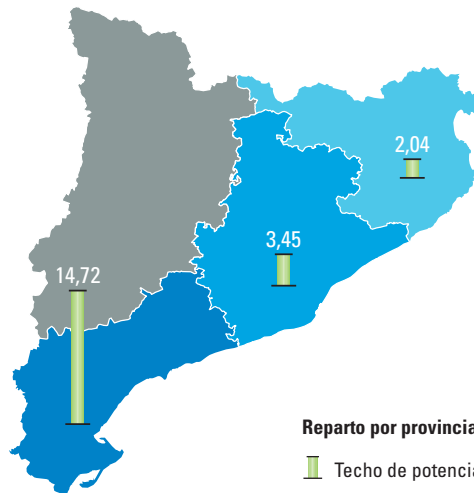
EÓLICA MARINA

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 diámetro 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.

TECHO DE POTENCIA Y DE GENERACIÓN ELÉCTRICA CON ESTA TECNOLOGÍA



Reparto por provincias de techo de potencia

▮ Techo de potencia (GW)

TOTAL

Techo de potencia= 20,21 GW • Techo de generación eléctrica= 11,75 TWh/a
 % de la demanda eléctrica para 2050 que cubriría esta tecnología = 21,85%
 % de la demanda energética para 2050 que cubriría esta tecnología = 4,57%

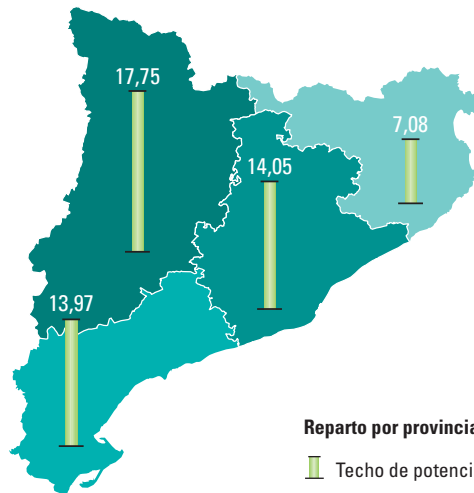
Se podrían instalar en Cataluña 20.212,24 MW de potencia eléctrica basada en la energía eólica marina, y se podrían generar 11,75 TWh al año, lo que permitiría cubrir casi el 22% de la demanda eléctrica proyectada en 2050 para esta comunidad y más del 4% de la demanda energética. La provincia con mayor techo de potencia es Tarragona con 14.721,27 MW.

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.

TECHO DE POTENCIA Y DE GENERACIÓN ELÉCTRICA CON ESTA TECNOLOGÍA



Reparto por provincias de techo de potencia

▮ Techo de potencia (GW)

TOTAL

Techo de potencia= 52,84 GW • Techo de generación eléctrica= 143,8 TWh/a
 % de la demanda eléctrica para 2050 que cubriría esta tecnología = 267,4%
 % de la demanda energética para 2050 que cubriría esta tecnología = 55,9%

En Cataluña se podrían instalar 52.841,92 MW de potencia eléctrica basada en la energía eólica terrestre, y se podrían generar 143,8 TWh al año, lo que permitiría cubrir más de dos veces la demanda eléctrica proyectada en 2050. La provincia con mayor techo de potencia es Lleida con 17.745,92 MW.

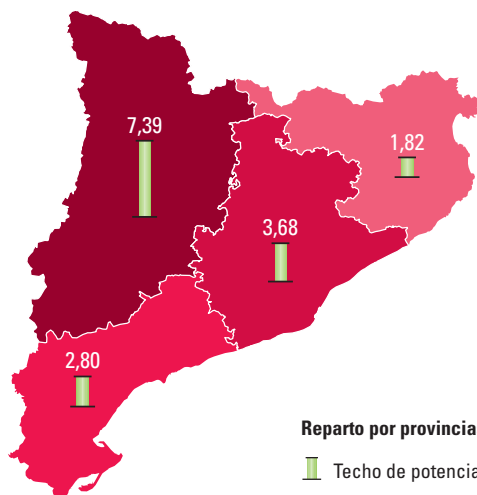
CHIMENEA SOLAR

Una central de chimenea solar consiste en un 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.

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

TECHO DE POTENCIA Y DE GENERACIÓN ELÉCTRICA CON ESTA TECNOLOGÍA



Reparto por provincias de techo de potencia

▮ Techo de potencia (GW)

TOTAL

Techo de potencia= 15,69 GW • Techo de generación eléctrica= 40,8 TWh/a
 % de la demanda eléctrica para 2050 que cubriría esta tecnología = 75,86%
 % de la demanda energética para 2050 que cubriría esta tecnología = 15,86%

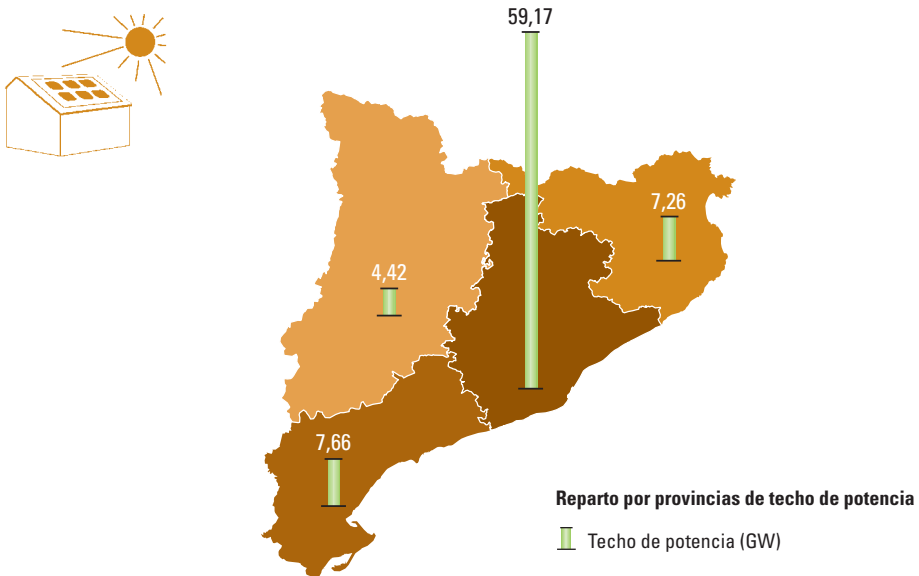
En Cataluña se podrían instalar 15.690,6 MW de potencia eléctrica basada en chimeneas solares, y se podrían generar 40,8 TWh al año, lo que permitiría cubrir casi un 76% de su demanda eléctrica proyectada en 2050. La provincia con mayor techo de potencia corresponde a Lleida con 7.392,6 MW.

FOTOVOLTAICA INTEGRADA EN EDIFICIOS

La energía solar fotovoltaica convierte directamente la luz recibida 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 integradas 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).

TECHO DE POTENCIA Y DE GENERACIÓN ELÉCTRICA CON ESTA TECNOLOGÍA



TOTAL

Techo de potencia= 78,52 GWp • Techo de generación eléctrica= 89,7 TWh/a
 % de la demanda eléctrica para 2050 que cubriría esta tecnología = 166,8%
 % de la demanda energética para 2050 que cubriría esta tecnología = 34,9%

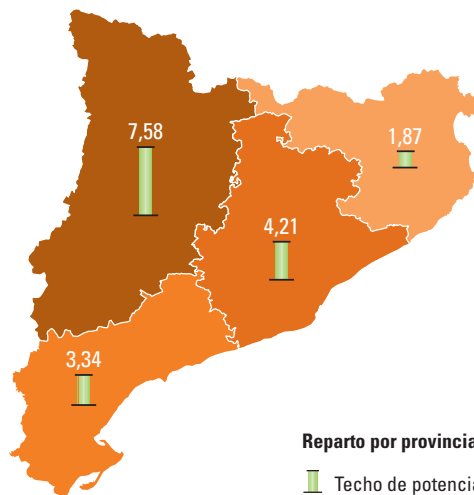
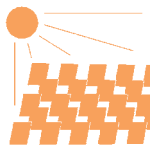
En Cataluña se podrían instalar 78.518,61 MWp de potencia fotovoltaica integrada en edificios y se podrían generar 89,7 TWh al año, lo que permitiría cubrir holgadamente la demanda eléctrica proyectada en 2050. La provincia con mayor techo de potencia es Barcelona con 51.976,56 MW.

FOTOVOLTAICA CON SEGUIMIENTO

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

TECHO DE POTENCIA Y DE GENERACIÓN ELÉCTRICA CON ESTA TECNOLOGÍA



Reparto por provincias de techo de potencia

▮ Techo de potencia (GW)

TOTAL

Techo de potencia= 17,01 GWp • Techo de generación eléctrica= 37,2 TWh/a
 % de la demanda eléctrica para 2050 que cubriría esta tecnología = 69,17%
 % de la demanda energética para 2050 que cubriría esta tecnología = 14,46%

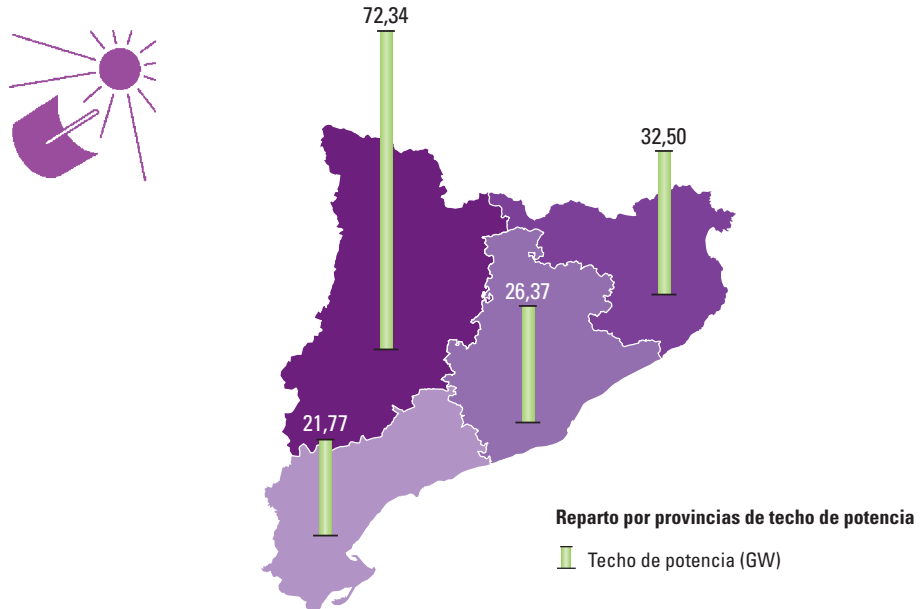
En Cataluña se podrían conseguir 17.010 MWp de potencia fotovoltaica en instalaciones de energía solar fotovoltaica con seguimiento, y se podrían generar 37,20 TWh al año, lo que permitiría cubrir el 69,17% de su demanda eléctrica proyectada en 2050. La provincia con mayor techo de potencia es Lleida, que cuenta con 7.581,16 MW.

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 cilindroparabólicos con seguimiento en un eje de 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.

TECHO DE POTENCIA Y DE GENERACIÓN ELÉCTRICA CON ESTA TECNOLOGÍA



TOTAL

Techo de potencia= 152,98 GW • Techo de generación eléctrica= 577 TWh/a
 % de la demanda eléctrica para 2050 que cubriría esta tecnología = 1.072,89%
 % de la demanda energética para 2050 que cubriría esta tecnología = 224,30%

Es de destacar el inmenso potencial con el que cuenta esta tecnología. En Cataluña se podrían instalar 152.980,19 MW de potencia eléctrica en centrales termosolares, y se podrían generar 577 TWh al año, lo que permitiría cubrir en casi once veces su propia demanda eléctrica proyectada en 2050, e incluso más de dos veces la demanda energética proyectada para 2050. La provincia de mayor techo de potencia es Lleida: 72.338,97 MW.

1.2.2. Síntesis de resultados. Recursos renovables disponibles

En los siguientes gráficos se muestran los techos de potencia y generación de las distintas tecnologías consideradas en este proyecto, así como los porcentajes de cobertura de la demanda eléctrica de la comunidad y de la 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 a las demandas de Cataluña, tanto de electricidad proyectada para 2050 (53,78 TWh/año) como de energía total (257,25 TWh/año).

Tabla 1. Techos de potencia y generación en Cataluña y comparación con su demanda en 2050

	Techo Potencia GWp	Techo Generación TWh/año	Demanda eléctrica (%)	Demanda energía total (%)
Solar	264,20	744,70	1.384,72	289,48
Solar Termoeléctrica	152,98	577	1.072,89	224,30
Solar Fotovoltaica con seguimiento	17,01	37,2	69,17	14,46
Chimenea Solar	15,69	40,8	75,86	15,86
Fotovoltaica integrada	78,52	89,7	166,79	34,87
Eólica	73,05	155,55	289,23	60,47
Eólica terrestre*	52,84	143,8	267,39	55,90
Eólica marina**	20,21	11,75	21,85	4,57
Olas**	15,18	6,87	12,77	2,67
Biomasa	1,52	10,88	20,23	4,23
Biomasa residual y biogás	0,66	4,57	8,50	1,78
Cultivos energéticos	0,16	1,21	2,25	0,47
Cultivos forestales de rotación rápida*	0,56	4,20	7,81	1,63
Monte bajo*	0,14	0,90	1,67	0,35
Hidráulica***	2,28	4,60	8,55	1,79
Hidroeléctrica (P>10 MW)	1,97	3,65	6,79	1,42
Minihidráulica (P<10 MW)	0,31	0,95	1,77	0,37
Geotérmica roca seca caliente	0,18	1,4	2,60	0,54
Total renovables	356,41	924,00	1.718,11	359,18

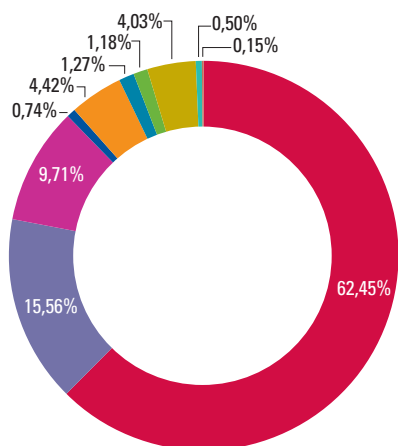
Todos los números se presentan redondeados para acortar el número de decimales, pero todos los cálculos se han realizado previos al redondeo.

* Se presentan los techos de generación máximos.

** Datos actualizados según valores *Renovables 100%*.

*** No se han considerado aumentos de potencia de gran hidráulica, debido al impacto ambiental de los embalses. Se ha tomado como potencial realizable el mismo objetivo que se adoptó en el Plan de Fomento de las Energías Renovables.

Figura 1. Techo de generación con renovables

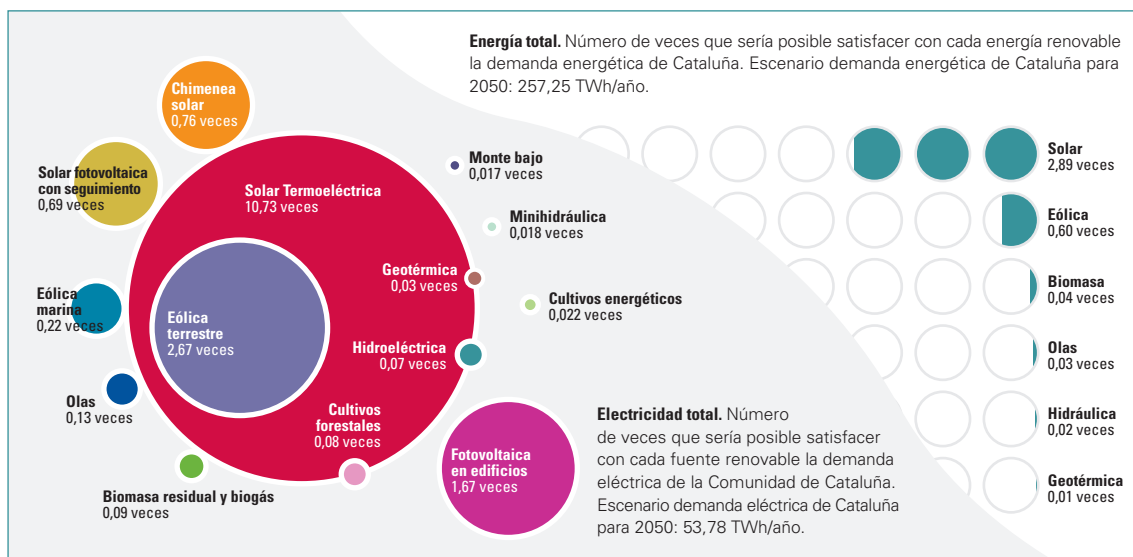


Techo de generación = 924 TWh/a

- Solar termoelectrica
- Eólica terrestre
- Fotovoltaica integrada
- Olas
- Chimenea solar
- Eólica marina
- Biomasa total
- Fotovoltaica con seguimiento
- Hidráulica
- Geotérmica HDR

Si se sumaran todos los techos de las diferentes tecnologías se obtendría un máximo del techo total de generación basado en renovables de 924 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 equivalente a más de diecisiete veces la demanda de electricidad de Cataluña para 2050 y casi cuatro veces la demanda de energía total para 2050.

Figura 2. Techos de potencia y generación en Cataluña y comparación con su demanda en 2050



Como se observa en la figura 2, 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 (casi once veces), solar fotovoltaica integrada en edificios (cerca de dos veces) o eólica terrestre (cerca de tres veces).

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

1.3. 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 924 TWh/año, equivalentes a 17,18 veces la demanda 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 3,59 veces la demanda 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 2,89 veces la demanda energética total de Cataluña en 2050, destacando la energía solar termoeléctrica, cuyo potencial de generación supone el 62,45% del total renovable. Por tanto, queda claro que nuestro mayor yacimiento energético es el sol, lo cual 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 y permitiría cubrir casi tres veces la demanda eléctrica de Cataluña.
- Hay tecnologías que hasta ahora han sido despreciadas en la planificación, 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 la climatización de edificios.



COMPARATIVA DE COSTES

El informe *Renovables 100%. Un sistema eléctrico renovable para la España peninsular y su viabilidad económica* presenta una extensa información de costes para las distintas tecnologías, renovables y no renovables, tanto en el momento actual como el horizonte 2050. El análisis incorpora información detallada de la estructura de costes de cada tecnología –incorporando los costes ambientales derivados de su uso– y la evolución de los mismos con el volumen de producción. Toda la información se presenta a escala provincial.

El análisis de costes que presenta es muy relevante ya que permite, por primera vez, comparar con los mismos parámetros, tecnologías renovables y no renovables, y traza con hipótesis claras las tendencias de costes de las diferentes tecnologías en el horizonte 2050. En este capítulo se presentan los resultados para Cataluña.

¿Costará más un sistema de generación basado en renovables?

El argumento de los costes es de los primeros que se esgrime para rechazar la opción de las renovables. Las tecnologías renovables aparentan ser más caras, sin embargo los argumentos empleados no son adecuados para comparar las distintas opciones tecnológicas. De cara a desarrollar una planificación energética que permita evolucionar hacia la sostenibilidad, las comparaciones relevantes son las que se realizan asumiendo que todas las tecnologías –renovables y no renovables– han alcanzado su madurez industrial, y que todos los costes asociados al uso de esa tecnología están adecuadamente internalizados.

En este documento se muestran los principales resultados del análisis de costes que compara las diferentes tecnologías con los mismos parámetros, en el momento actual y en 2050, horizonte en el que, con seguridad, todas las tecnologías que se decidan incorporar en el sistema energético ya habrán alcanzado su madurez industrial.

Toda la información se presenta en mapas, que nos permiten una localización de la calidad de los emplazamientos a escala provincial, con un escenario de situación actual y otro proyectado para 2050. Además, con el fin de realizar una comparativa entre tecnologías, se presentan conjuntamente los costes de las distintas tecnologías consideradas en el estudio.

Este documento proporciona un análisis de costes suficientemente detallado para comparar las diferentes tecnologías con los mismos parámetros. Sin embargo, para definir el coste de un sistema de generación, no es suficiente con conocer el coste de cada una de las tecnologías por separado, ya que éste varía sustancialmente según la combinación de tecnologías que se empleen para hacer frente a la demanda. Esta cuestión se resuelve con un detallado análisis en el informe *Renovables 100%*.

2.1. Indicadores

Los parámetros utilizados para desarrollar el análisis de costes del estudio son los siguientes:

- **Coste normalizado de la electricidad (LEC):** es el indicador principal, agrupa los costes de inversión y los de operación y mantenimiento a lo largo del ciclo de vida de la tecnología. Se expresa en c€/kWh_e (coste del kilovatio-hora eléctrico).
- Interés del dinero: $i = 8\%$.
- Tasa de inflación: $f = 2,6\%^3$.
- **Costes de eliminación de CO₂** (CECO₂): se expresa en €/Tm-CO₂ (euro por tonelada de CO₂ evitada).

Para calcularlo se ha tomado como tecnología de referencia una central de ciclo combinado operando con gas natural⁴, con valores de 2003, con un coste de la electricidad generada de 4 c€/kWh_e. De forma que si una tecnología presenta **un valor positivo** de los costes de eliminación de CO₂, significa que el coste de la electricidad generada con esta tecnología es mayor que el generado con una central de ciclo combinado en 2003. Mientras que si presenta un **valor negativo**, el coste de la electricidad generado con esa tecnología sería menor que el del ciclo combinado de gas.

Por ejemplo, si una tecnología para el año 2050 tiene un CECO₂ = -11 €/Tm-CO₂, significaría que el coste de la electricidad con esta tecnología sería menor

que el generado con la tecnología de referencia (ciclo combinado en 2003), y supondría un ahorro de 11 € por tonelada de CO₂.

Los valores de este parámetro no deben entenderse de forma absoluta sino relativa **entre tecnologías**.

2.2. Principales resultados

2.2.1. Centrales térmicas y nucleares

En primer lugar, y con el fin de tener un patrón de comparación, se presentan los principales resultados del análisis de costes realizado para una central térmica de ciclo combinado alimentada con gas natural y para una central nuclear.

Estas tecnologías ya han alcanzado su madurez industrial, por lo que la evolución de costes que se espera está condicionada a un incremento por: encarecimiento y agotamiento de combustibles, reducción de volumen de producción (al compartir mercado con otras tecnologías) e internalización de costes ambientales.

No se han considerado en el estudio las centrales térmicas de carbón, por sus altas emisiones y el bajo rendimiento de los ciclos de potencia. Tampoco se han considerado las tecnologías de gasificación de carbón ya que sus rendimientos serán siempre muy inferiores a los de un ciclo combinado de gas, lo que "a priori" compensaría las diferencias del precio de combustible. Además mantendrían unas mayores emisiones específicas de CO₂.



³ Este valor se adoptó al principio del proyecto (2003). Dado el desarrollo posterior que ha tenido la tasa de inflación, se modificó a $f = 3,5\%$. En el informe se presentan resultados con ambos valores.

⁴ Se ha tomado como tecnología de referencia las centrales de ciclo combinado, por ser la tecnología que utiliza combustible fósil que menos CO₂ emite.

► Térmicas ciclo combinado

Se ha analizado el coste de la electricidad generado por una central de ciclo combinado que emplee gas natural como combustible, así como su evolución en el tiempo.

El coste de la electricidad generada por este tipo de central estará condicionado por una serie de factores relacionados con:

- **El coste del combustible:** se espera un incremento del coste del combustible a medida que se vayan agotando las reservas finitas del mismo. Además este coste está sometido a importantes fluctuaciones asociadas a la situación socio-política del momento.
- **El modo de operación de la central:** para conservar el coste de referencia (4 c€/kWh_e) sería necesario poder operarla muchas horas al año, es decir emplear factores de capacidad⁵ elevados.
- **Costes de operación y mantenimiento:** dentro de los cuales se incluye la valoración de externalidades como los costes de emisión de CO₂.

Teniendo en cuenta estos factores y aun en el caso de que tuviera sentido plantearse un escenario en el cual la demanda eléctrica en 2050 se cubriera con centrales de ciclo combinado alimentadas con gas natural, **los costes de la electricidad generada con esta tecnología serían considerablemente superiores a los que proporcionarían la gran**

mayoría de tecnologías renovables. Los incrementos en el coste de un combustible escaso sobre el que se aplicaría una gran demanda, y la internalización de los impactos ambientales asociados al uso de este combustible, conducirían a costes de la electricidad proyectados para 2050 por encima de **15 c€/kWh.**

► Nuclear

La tecnología nuclear de fisión cuenta con múltiples argumentos que desaconsejan su uso desde el punto de vista de la sostenibilidad: costes elevados al incluir los requerimientos de seguridad, limitación de recursos energéticos, gestión de residuos, seguridad de operación, prevención de atentados, prevención de proliferación de armamento nuclear, limitación de transferencia tecnológica y dificultad de regulación. La tecnología de fusión, dejando aparte los posibles problemas que tenga asociados, no estará disponible como herramienta útil en el plazo del que disponemos para resolver el problema del cambio climático.

Si nos centramos exclusivamente en la tecnología de fisión, los costes de la electricidad generada por una central nuclear estarán condicionados por una serie de factores relacionados con:

- **Costes de inversión:** a pesar de la gran incertidumbre asociada a los costes de inversión actuales para centrales nucleares, parece difícil que en 2050 permanezca por debajo de los 3.000 €/kW_e cumpliendo con los requisitos de seguridad exigibles.

● ● ● ● ● ● ● ●

⁵ Factor de capacidad: cociente entre la energía útil generada y la máxima que se podría generar operando a su potencia nominal durante todo el año.

- **Costes de operación y mantenimiento:** existe muy poca información relativa a todos los conceptos incluidos en este factor. De la información disponible se concluye que estos costes no se pueden situar por debajo de 7 c€/kWh. Con los ritmos de explotación actual estos costes son más importantes que el propio coste del combustible.
- **Modo de operación del sistema:** en un sistema con elevada penetración de renovables sería necesario que las centrales funcionaran en modo regulación y no operando a máxima potencia, como lo hacen en la actualidad. Aún suponiendo que una central nuclear pudiera técnicamente realizar esa regulación, el efecto final sería una reducción del factor de capacidad y, por tanto, un incremento del coste.
- **Precio del combustible:** dado que se trata de un combustible escaso, en el caso de una elevada implementación nuclear, el combustible nuclear iría incrementando su coste a medida que creciera la demanda.
- **El interés del préstamo:** los elevados plazos de construcción e incertidumbre asociadas conducirían a préstamos con tipos de interés elevados.

Teniendo en cuenta estos factores, y a pesar de la gran incertidumbre que tiene asociada esta tecnología, podríamos esperar que condujera a un coste de la electricidad nuclear para 2050 del orden de los **20 c€/kWh**, considerablemente superior a los costes de la electricidad con muchas tecnologías renovables en este horizonte.

2.2.2. Costes por tecnologías renovables

Se presenta en este apartado la información de costes de las distintas tecnologías renovables en mapas de datos a escala provincial.

Para cada tecnología se presentan dos escenarios, uno con la estructura de costes actuales y otro en 2050, y en cada uno de ellos se muestran los valores medios para cada provincia⁶, del coste de la electricidad y del coste de eliminación de CO₂.

Las actuaciones energéticas en las que están basados estos mapas son las del modo de operación actual de las centrales, esto es, a su máxima potencia.



⁶ Se ha adoptado un único fichero climático para cada provincia, pudiendo existir dentro de una provincia emplazamientos con mejores o peores características que el valor medio adoptado.



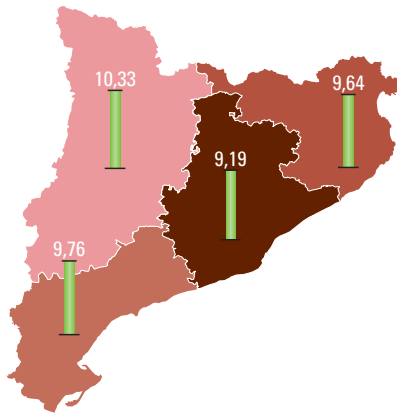
GEOTÉRMICA

En la tecnología geotérmica de roca seca los costes se diferencian en dos componentes: de perforación y superficiales.

Para el desarrollo de los cálculos de los costes de perforación se asume que, con la tecnología actual, los buenos emplazamientos geotérmicos a los que se puede acceder son escasos. Para el año 2050 el desarrollo de nuevas técnicas de taladrado permitirán explotar a un coste razonable todos los emplazamientos, aunque sean de bajo gradiente térmico.

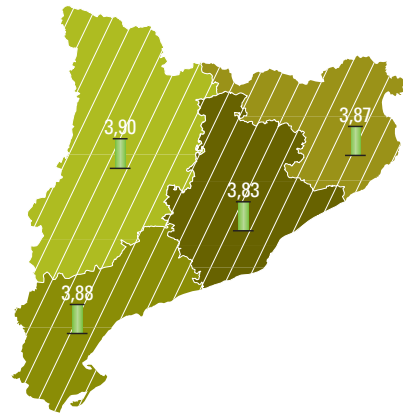
DISTRIBUCIÓN PROVINCIAL DEL COSTE DE LA ELECTRICIDAD Y DE ELIMINACIÓN DE CO₂.
($i = 8\%$, $f = 2,6\%$ y $N = 40$ años)

COSTES ACTUALES



▮ Coste de la electricidad (c€/kWh) por provincia

COSTES EN 2050



▨ Provincias con coste de eliminación de CO₂ negativo

Bajo la estructura de costes actual, el coste medio de la electricidad oscila, en las distintas provincias, entre costes de 9,19 c€/kWh_e y de 10,33 c€/kWh_e. Estos costes superan a los de una central de ciclo combinado en 2003, por lo que todos los valores del coste de eliminación de CO₂ son positivos.

Por otro lado, bajo la estructura de costes proyectada para el año 2050, el coste medio

de la electricidad se sitúa en 3,83 y 3,90 c€/kWh_e, por lo que el coste de eliminación de CO₂ presenta un valor negativo en todas las provincias. La reducción del coste de perforación conduce para 2050 a una distribución provincial muy homogénea de los costes de la electricidad. Estos costes son significativamente inferiores a los de cualquier escenario con nuclear y térmica para el año 2050.



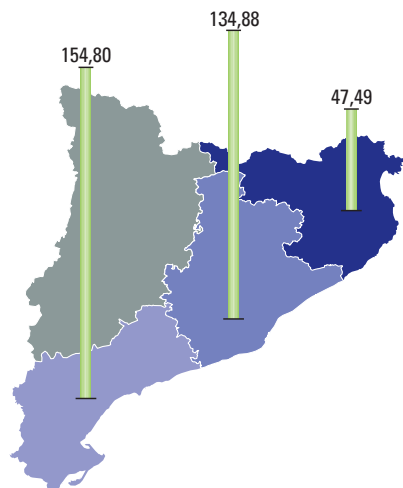
OLAS

La tecnología de las olas está en su inicio de aplicaciones comerciales, lo que introduce cierta dificultad a la hora de evaluar sus costes. La falta de madurez comercial de esta tecnología conduce a una valoración de su potencial significativamente menor a lo que cabría esperar para 2050, por lo que se han evaluado los costes en 2050 teniendo en cuenta dos escenarios: uno suponiendo que la tecnología ha alcanzado su madurez y otro en el que se considera que la tecnología continúa en la misma fase de inmadurez comercial.

Los datos que se presentan en los mapas asumen en 2050 una mejora en los factores de capacidad con respecto a la tecnología actual.

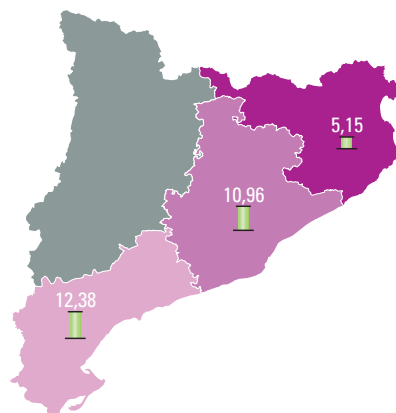
DISTRIBUCIÓN PROVINCIAL DEL COSTE DE LA ELECTRICIDAD Y DE ELIMINACIÓN DE CO₂. (i = 8%, f = 2,6% y N = 20 años)

COSTES ACTUALES



Coste de la electricidad (c€/kWh) por provincia

COSTES EN 2050



Provincias con coste de eliminación de CO₂ negativo

La tecnología de las olas, con la estructura de costes actual, proporciona costes medios de la electricidad de 154,80 c€/kWh_e en Tarragona y de 47,49 c€/kWh_e en Girona.

En el año 2050, proporciona costes medios de la electricidad con valores de entre 5,15 c€/kWh_e en Girona y 12,38 c€/kWh_e en Tarragona. Como se puede observar, estos costes están por debajo de los proyectados en un escenario con nuclear o térmica.

En el supuesto de que se considere que en 2050 la tecnología de las olas se encuentra en la fase actual, los costes de la electricidad alcanzarían un valor medio de 36,29 c€/kWh_e, en Barcelona de 31,73 c€/kWh_e y en Girona de 11,70 c€/kWh_e.

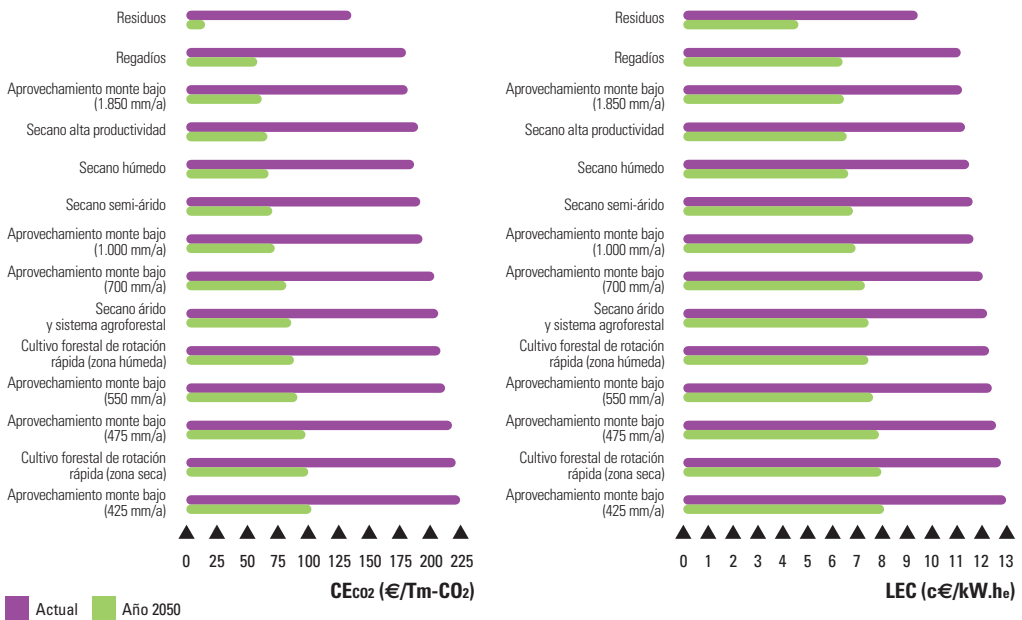
En este caso también proporcionarían a la tecnología de las olas costes competitivos.



BIOMASA

La estructura de costes de la biomasa tiene tres componentes diferenciados que evolucionarán de distinta forma: inversión (turbina de gas, gasificador y silo de biomasa), costes de operación y mantenimiento, y costes asociados al combustible (residual, cultivos energéticos, cultivos forestales de rotación rápida y monte bajo). Es de destacar el efecto que tiene el combustible empleado en el coste de la electricidad proveniente de biomasa, por lo que el coste de la tecnología no viene determinado por su situación geográfica sino por el tipo de combustible utilizado. En las siguientes gráficas presentamos el coste, actual y en 2050, de la electricidad generada con biomasa según el tipo de combustible que se emplee. Se presentan los mismos datos para los costes de eliminación de CO₂.

COSTE DE LA ELECTRICIDAD (LEC) Y COSTE DE LA ELIMINACIÓN CO₂ CECO₂ CON LA TECNOLOGÍA DE BIOMASA* (SEGÚN TIPO DE COMBUSTIBLE) EN EL MOMENTO ACTUAL Y PARA EL AÑO 2050 (i = 8%, f = 3,5%)



Como se aprecia en el gráfico, con la estructura de costes actual el coste de electricidad varía desde 9,38 c€/kWh_e a 12,84 c€/kWh_e según el tipo de combustible.

Para el año 2050 se produce una reducción del coste de la electricidad asociada a su madurez industrial, y el coste de la electricidad se encuentra comprendido entre 4,60 y 8,06 c€/kWh_e.

El combustible de menor coste corresponde a los residuos agrícolas, forestales y de la industria agroforestal, mientras que el aprovechamiento de monte bajo y los cultivos forestales de rotación rápida (zona seca) son los de mayor coste.

Los costes para el año 2050 son significativamente inferiores a los de un escenario con térmica o nuclear para el año 2050.

●●●●●●●●
 7 Se asume que el gas de gasógeno empleado se generará independientemente para cada fuente de biomasa, además se considera una tasa de inflación neta efectiva (incremental) nula actuando sobre los biocombustibles.



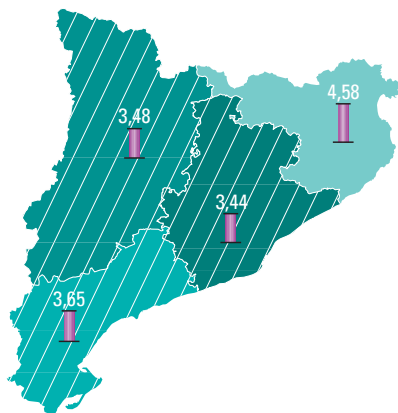
EÓLICA TERRESTRE

La distancia entre máquinas y el potencial eólico de un emplazamiento tiene un importante efecto sobre el coste de la electricidad generada con esta tecnología. En el análisis de costes se ha diferenciado entre eólica terrestre en terreno llano y accidentado, por la mayor dificultad de instalación que presenta en terreno accidentado y el empleo de máquinas de menor tamaño. En ambos casos y debido a la madurez con la que cuenta esta tecnología en la actualidad, los costes pueden evolucionar situándose en su periodo de madurez industrial en torno al año 2025.

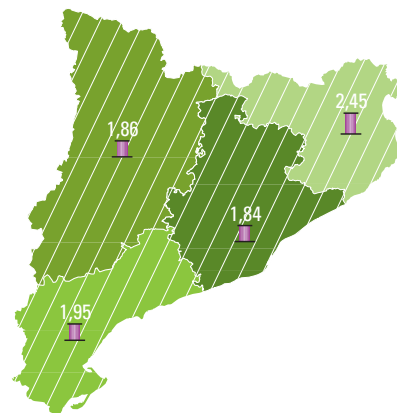
A continuación se presentan los datos para los emplazamientos en terreno llano.

DISTRIBUCIÓN PROVINCIAL DEL COSTE DE LA ELECTRICIDAD Y DE ELIMINACIÓN DE CO₂.
($i = 8\%$, $f = 2,6\%$ y $N = 20$ años)

COSTES ACTUALES



COSTES EN 2050



Coste de la electricidad (c€/kWh) por provincia

Provincias con coste de eliminación de CO₂ negativo

Como se puede observar en estas figuras, ya en la actualidad, pero especialmente en el año 2050, todos los emplazamientos tienen costes de la electricidad eólica significativamente por debajo de los proyectados para térmicas y nuclear en 2050. En terreno llano, los costes de la electricidad eólica oscilan, con la estructura de costes actuales, entre valores de 4,58 c€/kWh_e y 3,44 c€/kWh_e, alcanzando en todas las provincias, excepto Girona, costes de eliminación de CO₂ negativos, es decir, inferiores al coste actual de generar electricidad en una central de ciclo combinado. Para el año 2050, todos los emplazamientos llanos proporcionan

costes con valores entre 1,84 c€/kWh_e y 2,45 c€/kWh_e, todos ellos con valores de coste de eliminación de CO₂ negativos.

En terreno accidentado, los costes medios actuales de la electricidad eólica son 3,86 c€/kWh_e en Barcelona, 3,91 c€/kWh_e en Lleida, 4,09 c€/kWh_e en Tarragona y 5,14 en Girona. Para el año 2050, los emplazamientos accidentados proporcionan costes entre 2,16 c€/kWh_e en Barcelona, 2,18 c€/kWh_e en Lleida, 2,28 c€/kWh_e en Tarragona y 2,87 en Girona. Estos resultados son un reflejo directo de la buena situación actual de la tecnología eólica, habiendo recorrido ya buena parte de su curva de aprendizaje.



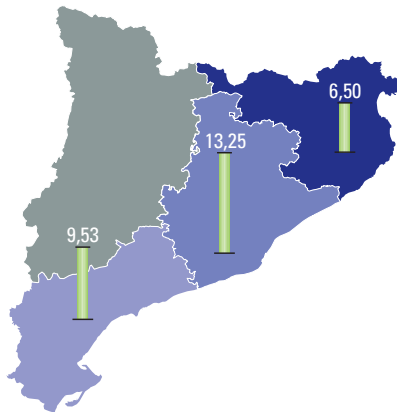
EÓLICA MARINA

Al igual que para la eólica terrestre, la distancia entre máquinas y el emplazamiento tiene un importante efecto sobre el coste de la electricidad generada con esta tecnología.

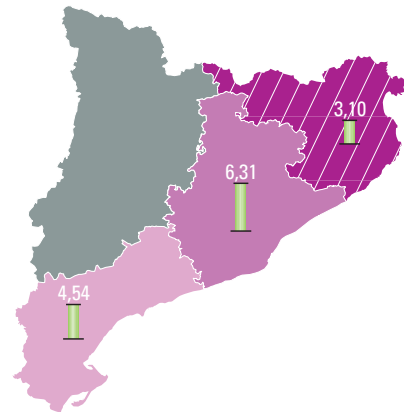
Para la evolución de los costes se asumen los valores de las tasas de crecimiento de la potencia mundial instalada y de las tasas de progreso.

DISTRIBUCIÓN PROVINCIAL DEL COSTE DE LA ELECTRICIDAD Y DE ELIMINACIÓN DE CO₂.
($i = 8\%$, $f = 2,6\%$ y $N = 20$ años)

COSTES ACTUALES



COSTES EN 2050



▮ Coste de la electricidad (c€/kWh) por provincia

▨ Provincias con coste de eliminación de CO₂ negativo

Los costes actuales de la electricidad generada con eólica marina se sitúan entre un valor medio mínimo de 6,50 c€/kWh_e en Girona y de 13,25 c€/kWh_e en Barcelona. Estos costes superan a los de una central de ciclo combinado en 2003, por lo que ambos valores del coste de eliminación de CO₂ son positivos.

Para el año 2050, los emplazamientos proporcionan costes con valores de 3,10 c€/kWh_e en Girona y 6,31 c€/kWh_e en Barcelona.

Estos costes son significativamente inferiores a los proyectados para térmica y nuclear en 2050.



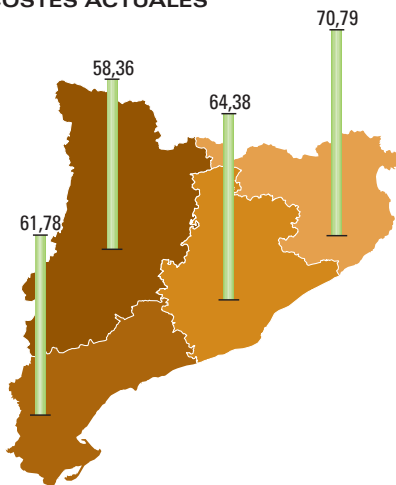
FOTOVOLTAICA INTEGRADA EN EDIFICIOS

Para la tecnología fotovoltaica las prestaciones económicas quedan determinadas por la disponibilidad de recurso solar, la orientación y los costes de inversión de los equipos.

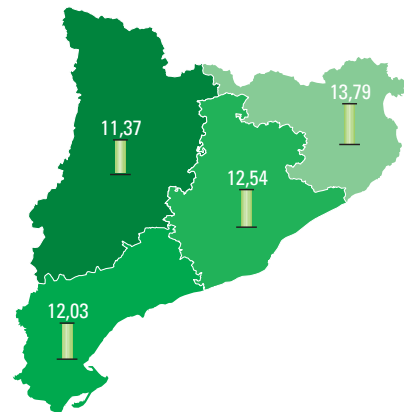
El estudio considera instalaciones integradas en cubiertas y fachadas con diferentes orientaciones (S, E, W, SE, SW) por lo que para un mismo emplazamiento se encuentra una variación muy grande de factores de capacidad. En el mapa se representan los costes de la fotovoltaica integrada en cubierta.

DISTRIBUCIÓN PROVINCIAL DEL COSTE DE LA ELECTRICIDAD Y DE ELIMINACIÓN DE CO₂.
(i = 8%, f = 2,6% y N = 40 años)

COSTES ACTUALES



COSTES EN 2050



Coste de la electricidad (c€/kWh) por provincia

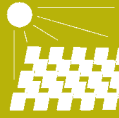
Provincias con coste de eliminación de CO₂ negativo

Para el caso de fotovoltaica integrada en cubierta, los costes de la electricidad oscilan, con la estructura de costes actuales, entre valores mínimos de 58,36 c€/kWh_e en Lleida y máximos de 70,79 c€/kWh_e en Girona.

En 2050 los costes se encontrarían entre un valor mínimo de 11,37 c€/kWh_e y máximo de 13,79 c€/kWh_e, por lo que tendrían costes inferiores a los de las térmicas y nuclear para el año 2050. Como se puede apreciar, cabe esperar que los costes de la electricidad

fotovoltaica experimenten una gran reducción para el año 2050, si bien seguirán siendo relativamente elevados en relación a otras tecnologías renovables.

Si se consideran todas las orientaciones posibles de la fotovoltaica integrada en la edificación, los costes actuales según orientación y provincia oscilan entre 58,36 y 188,50 c€/kWh_e, reduciéndose para el año 2050 hasta quedar comprendidos entre 11,37 y 36,72 c€/kWh_e.

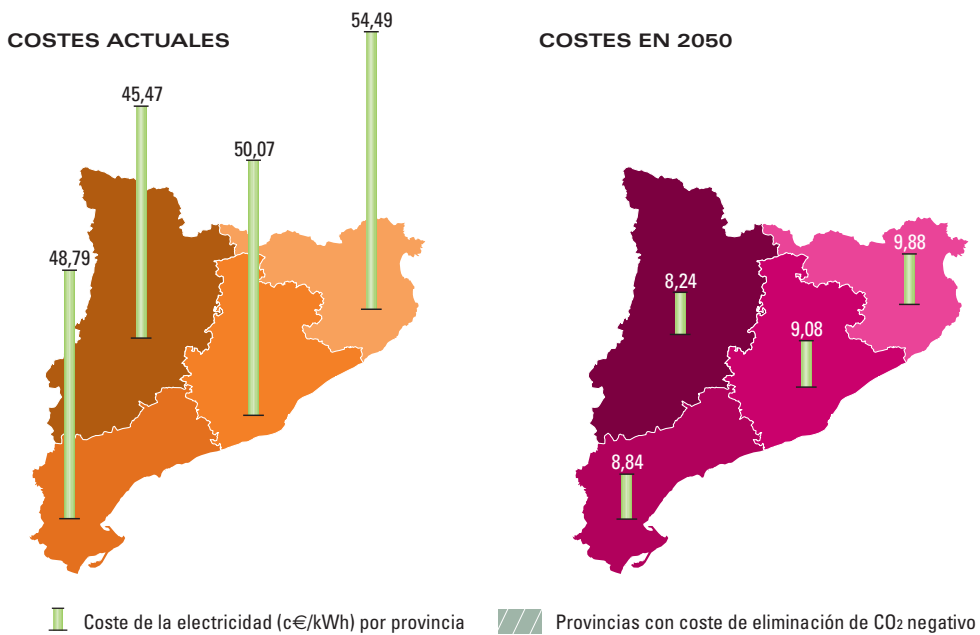


FOTOVOLTAICA CON SEGUIMIENTO

Al igual que en la fotovoltaica integrada, para la fotovoltaica con seguimiento las prestaciones económicas quedan determinadas por la disponibilidad de recurso solar, la orientación del campo solar y los costes de inversión de los equipos.

En este caso se ha considerado un incremento de un 25% del coste de inversión con respecto a la fotovoltaica integrada.

DISTRIBUCIÓN PROVINCIAL DEL COSTE DE LA ELECTRICIDAD Y DE ELIMINACIÓN DE CO₂.
($i = 8\%$, $f = 2,6\%$ y $N = 40$ años)



El caso más favorable de coste de la solar fotovoltaica lo presenta la fotovoltaica con seguimiento.

Los mapas muestran que el coste actual de la electricidad comprende valores entre 45,47 y 54,49 c€/kWh, según la provincia considerada. En 2050 pasará a estar comprendido entre 8,24 y 9,88 c€/kWh, por

debajo del coste proyectado para nuclear y térmica en todos los emplazamientos.

También se puede apreciar que los costes de la electricidad generada con esta tecnología experimentarán una gran reducción para el año 2050, si bien seguirán siendo relativamente elevados respecto a otras tecnologías renovables.



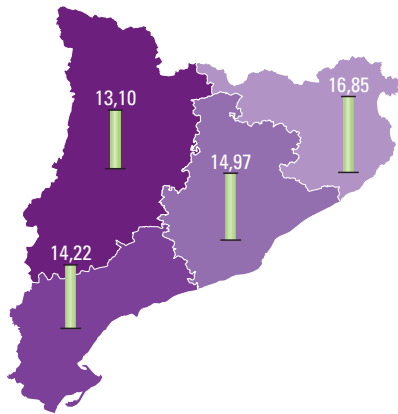
TERMOSOLAR

En el caso de la electricidad termosolar, la evolución de costes está asociada al volumen de producción, además de a otros factores como: tamaño, criterio de dimensionado, capacidad de almacenamiento y evolución tecnológica, permitiendo acceder a ciclos de potencia de mayores prestaciones.

En el caso de este estudio, se considera una central de colectores cilindro-parabólicos con seguimiento en un eje de orientación Norte-Sur.

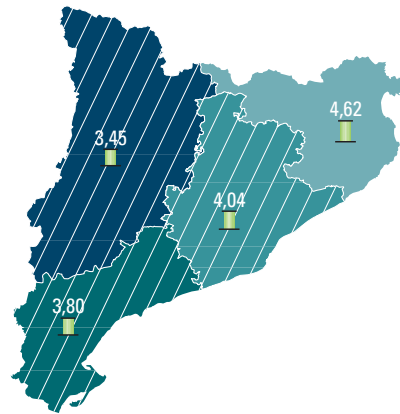
DISTRIBUCIÓN PROVINCIAL DEL COSTE DE LA ELECTRICIDAD Y DE ELIMINACIÓN DE CO₂. (i = 8%, f = 2,6% y N = 30 años)

COSTES ACTUALES



Coste de la electricidad (c€/kWh) por provincia

COSTES EN 2050



Provincias con coste de eliminación de CO₂ negativo

Bajo la estructura de costes actual, el coste de la electricidad oscila en las distintas provincias entre 13,10 y 16,85 c€/kWh. Bajo la estructura de costes proyectada para el año 2050, el coste de la electricidad se reduce significativamente, situándose en valores entre 3,45 y 4,62 c€/kWh.

Estos costes son muy inferiores a los proyectados para térmica y nuclear en 2050 y alcanzan en todas las provincias, excepto Girona, costes de eliminación de CO₂ negativos, es decir inferiores al coste actual de generar electricidad en una central de ciclo combinado.

2.2.3. Comparativa de tecnologías. Síntesis de resultados

En las figuras 3 y 4 se muestra gráficamente, en orden ascendente, **el coste de la electricidad proyectado para el año 2050**, de cada una de las **tecnologías consideradas en el estudio para Cataluña**.

Como se aprecia en las figuras, las categorías de menor coste en Cataluña en 2050 corresponden a la eólica, tanto en terreno llano como accidentado, que tendrían en toda la Comunidad Autónoma un coste de la electricidad menor o igual que el valor de referencia 4 c€/kWh_e; es decir, que el de una central térmica con la estructura de costes de 2003. La termosolar alcanzaría también precios muy competitivos en toda Cataluña, a excepción de

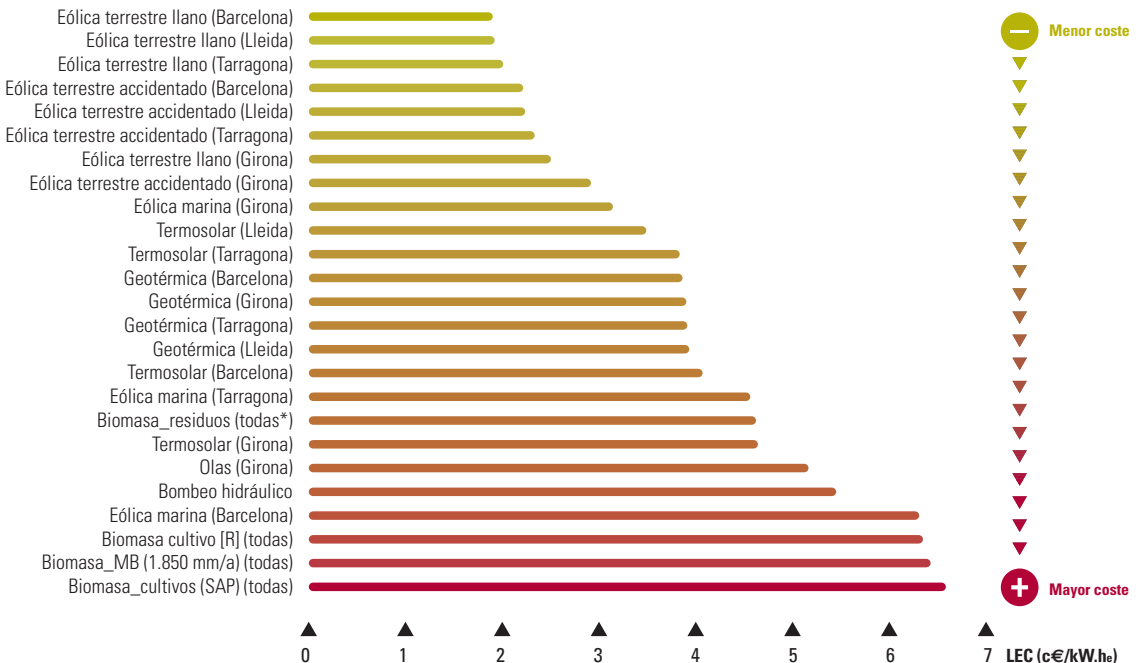
Girona; la geotérmica en todos los emplazamientos y la eólica marina en Girona entrarían también dentro de este intervalo.

La eólica marina en Tarragona tendría un coste de la electricidad proyectado para 2050 de 4,54 c€/kWh_e. Unos costes similares se dan también en Girona para la termosolar (4,62 c€/kWh_e) y la de las olas (5,15 c€/kWh_e).

Dentro de la tecnología de la biomasa, la que utiliza los residuos agrícolas, forestales y de la industria agroforestal como combustible es la que tendría un coste de la electricidad menor: 4,60 c€/kWh_e.

El coste de la electricidad con otros combustibles (cultivo energético, cultivo forestal y monte bajo) estaría comprendido entre 6,35 c€/kWh_e y 8,06 c€/kWh_e.

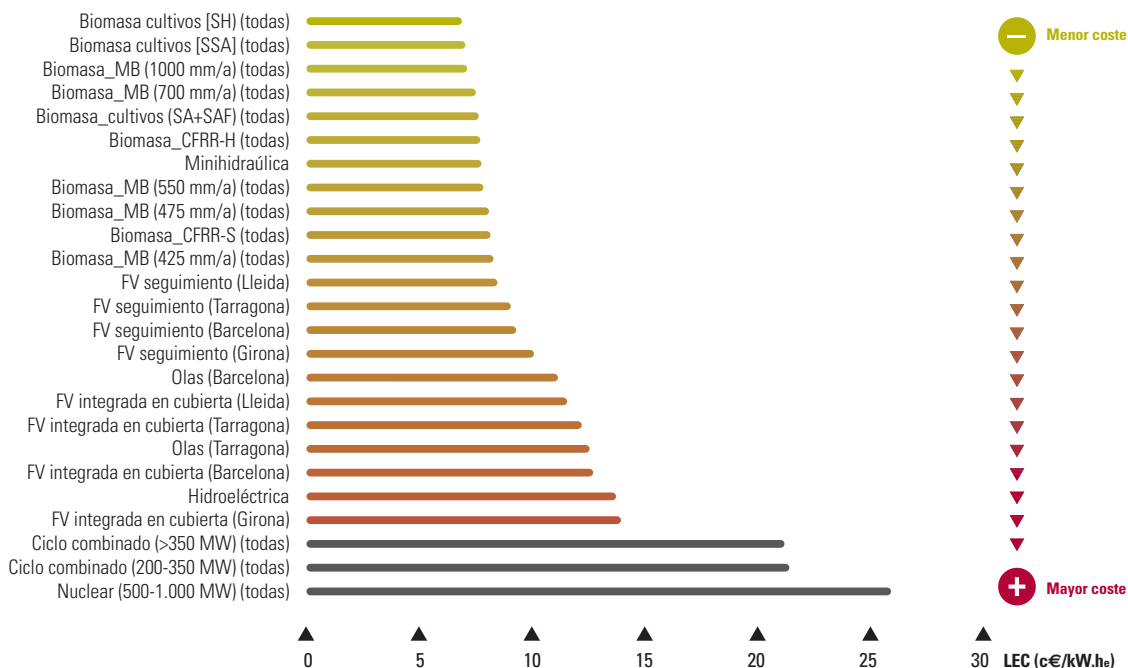
Figura 3. Tecnologías de menor coste



R- Regadíos. MB- Aprovechamiento monte bajo. SAP- Secano alta productividad. SH- Secano húmedo. SSA- Secano semi-árido. SA+SAF- Secano árido y sistema agroforestal. CFRR-H- Cultivo forestal de rotación rápida (zona húmeda). CFRR-S- Cultivo forestal de rotación rápida (zona seca).

* Barcelona, Girona, Lleida y Tarragona

Figura 4. Tecnologías de mayor coste



R- Regadíos. MB- Aprovechamiento monte bajo. SAP- Secano alta productividad. SH- Secano húmedo. SSA- Secano semi-árido. SA+SAF- Secano árido y sistema agroforestal. CFRR-H- Cultivo forestal de rotación rápida (zona húmeda). CFRR-S- Cultivo forestal de rotación rápida (zona seca).

Tabla 2. Costes de inversión

	Costes medios de inversión (actual) €/kW.	Costes medios de operación y mantenimiento (actual) c€/kWh.	Costes medios de inversión (2050) €/kW.	Costes medios de operación y mantenimiento (2050) c €/kWh.
Geotérmica	entre 3.888 y 4.859 según situación	4	1.729	1,50
Olas	3.600	entre 11,83 y 24,14 según situación	825	entre 1,48 y 2,64 según situación
Biomasa	6.223	0,80	2.503	0,42
Eólica terrestre (terreno llano)	880	entre 0,51 y 0,65 según situación	481	entre 0,34 y 0,43 según situación
Eólica terrestre (terreno accidentado)	950	entre 0,69 y 0,86 según situación	520	entre 0,51 y 0,65 según situación
Eólica marina	1.600	entre 1,66 y 3,23 según situación	864	entre 0,69 y 1,35 según situación
Fotovoltaica integrada (cubierta)	8.114	entre 4,53 y 5,46 según situación	962	entre 3,78 y 4,55 según situación
Fotovoltaica con seguimiento	10.123	entre 2,87 y 3,57 según situación	1.200	entre 2,39 y 2,98 según situación
Termosolar	4.439	2,80	1.373	0,4
Minihidráulica	2.500	2,42	1.800	1,74
Nuclear (500 – 1.000 MW)	2.200	0,94	3.200	8,94
Ciclo combinado (200 – 350 MW)	520	0,35	520	3,35
Ciclo combinado (>350 MW)	422	0,29	422	3,29

Dentro de las tecnologías renovables de mayor coste encontramos la biomasa, la minihidráulica, la hidroeléctrica y la fotovoltaica.

Como puede apreciarse, las tecnologías de ciclo combinado y nuclear aparecen en los últimos lugares –más de 21 c€/kWh⁸ para ciclo combinado y casi 26 c€/kWh⁹ para nuclear– con costes superiores a todas las categorías de todas las tecnologías renovables.

En la tabla 2 se muestran los costes medios de inversión y mantenimiento, actuales y en 2050, de todas las tecnologías analizadas para Cataluña.

2.3. Conclusiones

■ **Las tecnologías de menor coste en el horizonte del 2050 serán las renovables.** Todas ellas, al alcanzar su periodo de madurez industrial, podrán proporcionar electricidad a un coste inferior, y en muchos casos muy inferior, al proyectado para nuclear y térmica de ciclo combinado.

■ La eólica terrestre sería la tecnología de menor coste en Cataluña. Para todos los tipos de emplazamientos considerados (llanos y accidentados) los costes de la electricidad generada en 2050 se situarían entre un mínimo de 1,84 c€/kWh_e y un máximo de 2,87 c€/kWh_e.

■ Dentro de las tecnologías solares, la tecnología más competitiva sería la solar termoeléctrica,

cuyos costes de la electricidad proyectados para 2050 se situarían entre un mínimo de 3,45 c€/kWh_e y un coste máximo de 4,62 c€/kWh_e en los peores emplazamientos.

■ Los costes de electricidad proyectados para las centrales de ciclo combinado alimentadas con gas natural se situarían por encima de 15 c€/kWh_e. Tan sólo los peores emplazamientos de la solar fotovoltaica en edificación estarían por encima de estos costes.

■ Para la energía nuclear, y a pesar de la gran incertidumbre sobre costes que tiene asociada, se puede esperar un coste de la electricidad proyectado para 2050 del orden de los 20 c€/kWh_e, considerablemente superior a los costes de la electricidad con las tecnologías renovables en 2050.

■ El sistema energético actual es insostenible y no internaliza todos sus costes. La progresiva internalización de ellos conducirá a un notable incremento del coste de la electricidad generada por las tecnologías sucias. Reconvertir el sistema energético hacia la sostenibilidad requerirá un esfuerzo económico, especialmente en el proceso de evolución de las tecnologías renovables hacia la madurez industrial. Este esfuerzo económico es una inversión que tendrá como consecuencia un sistema sostenible, con costes de la electricidad muy inferiores incluso a los actuales.



8 En este caso en particular se considera un coste actual del combustible de 2,3 c€/kWh_{PCI}, inflacionado con un 2,5% de media por encima de la inflación general hasta 2050, que conduce a un coste de combustible en 2050 de 6,82 c€/kWh_{PCI}, y con un incremento en costes de O&M debido a motivos medioambientales de 3 c€/kWh_e. El coste de la electricidad generada con ciclo combinado que aparece en las conclusiones (15 c€/kWh_e) corresponde a la media de las predicciones que se han realizado.

9 En este caso se considera un coste actual del combustible de 0,55 c€/kWh_{PCI}, inflacionado con un 3% de media por encima de la inflación general hasta 2050, que conduce a un coste de combustible en 2050 de 2,02 c€/kWh_{PCI}, y con un incremento en costes de O&M debido a motivos medioambientales y de seguridad de 8 c€/kWh_e. El coste de la electricidad generada con nuclear que aparece en el resto del documento (20 c€/kWh_e) corresponde a la media de las predicciones que se han realizado.

EJEMPLO DE MIX 100% RENOVABLE PARA CATALUÑA

En este capítulo se presenta un ejemplo de posible mix de tecnologías de generación de electricidad 100% renovable que produciría toda la electricidad demandada en Cataluña en 2050 con instalaciones ubicadas dentro de este territorio.

Ante todo es necesario advertir de que se trata sólo de un ejemplo, para mostrar que, si se desea, sería posible satisfacer toda la demanda catalana con renovables catalanas. Pero eso no quiere decir que ésta fuese necesariamente la mejor opción. Normalmente sería más económico tender hacia sistemas más interconectados en los que las instalaciones de generación renovables se ubicasen en los lugares donde se encuentran los recursos energéticos más favorables (donde haya más sol, viento, etc.), lo cual no siempre coincide con los lugares donde está la demanda de energía, pero permitiría obtener los mejores rendimientos a las instalaciones, y por tanto a las inversiones, lo que conllevaría un menor coste de la electricidad producida. Pero tampoco es disparatado, como se puede ver en el ejemplo presentado, optar por instalar las centrales¹⁰ de generación en un espacio territorial más acotado, en este caso el de Cataluña, de forma que el reparto de la potencia a instalar se hiciese en proporción a la demanda energética de cada comunidad, aunque el coste final resultase mayor, ya que también habría un “bonus” de eficiencia al acercar producción a consumo. En cualquier caso, con toda esta información se puede apreciar que es posible hacerlo, y la decisión de optar por un modelo u otro es finalmente política.

Para desarrollar este ejemplo se ha partido de los datos elaborados en el informe *Renovables 100%*, tomando uno de los mix de generación que allí se presentaban, basado en un criterio de diversidad tecnológica, que cumplía la condición de abastecer con energías renovables la totalidad de la demanda eléctrica de la España peninsular en todo momento durante todo el año. Esta condición se mantendría en el mix catalán incluido en este documento, porque sería el mismo nivel de interconexión con el resto de la península. Esto significa que no se ha exigido que la generación ubicada en Cataluña tuviese que garantizar la cobertura de la demanda en todo momento sino que se aprovecharían las sinergias de la interconexión intrapeninsular, pues de otro modo obligaría a disponer de más instalaciones en Cataluña que funcionarían durante menos tiempo y resultarían por tanto más costosas. Lo que sí se ha asegurado en este mix es que la electricidad total producida no fuese inferior a la electricidad demandada en Cataluña en 2050.

La metodología, por tanto, consiste en partir de un mix 100% renovable peninsular de los presentados en el informe *Renovables 100%*, y realizar un reparto de la potencia a instalar en Cataluña construyendo un mix que cubra el 100% de la demanda anual en 2050. Para hacerlo, se ha supuesto que la demanda máxima de potencia catalana fuese proporcional a la demanda máxima de potencia peninsular en la misma proporción que tendría la demanda de energía eléctrica total de Cataluña respecto a la peninsular. Todas las demás hipótesis son las mismas que las utilizadas en los informes *Renovables 2050* y *Renovables 100%*.

•••••

¹⁰ Se usa el término “central” para referirse a cualquier instalación de generación de electricidad, independientemente de su potencia o tamaño.

Como se aprecia en la figura 5, el mix de este ejemplo constaría de 20.310 MW instalados, de los cuales 7.299 MW serían de centrales termosolares, 7.030 MW de parques eólicos terrestres (la mayoría de ellos en terreno llano), 1.970 MW de gran hidráulica ya existente en la actualidad, 1.266 MW de parques eólicos marinos, 932 MW con energía de las olas, 478 MW de centrales de biomasa (que se abastecerían de residuos orgánicos y biogás, que son la fuente de biomasa de menor coste y además no ocupan territorio adicional), 474 MW de techados y cubiertas solares fotovoltaicas en edificios, 409 MW de parques solares fotovoltaicos (con seguimiento del sol en un eje), 310 MW de mini-centrales hidráulicas ya disponibles o previstas y 142 MW de centrales abastecidas con energía geotérmica de roca seca.

La figura 6 muestra cómo se repartiría la energía eléctrica generada en cada una de las centrales instaladas. De los 58,38 TWh anuales generados, cerca de la mitad (27,52 TWh) procederían de las centrales termosolares, debido a su gran capacidad de producción a un régimen bastante estable (por su capacidad de acumulación de energía en forma de calor, que eventualmente podría ser complementada o sustituida por la quema de biogás procedente de la biomasa, en vez de utilizar la biomasa en centrales específicas). También destaca la producción eólica terrestre (19,13 TWh/año), equivalente a una tercera parte del total, dado que sería la generación de menor coste, a pesar de su mayor dificultad de predicción. El resto de sistemas de generación aportarían menos del 10% del total cada uno de ellos, pero permitirían disponer de una amplia variedad de tecnologías, lo cual aumenta la seguridad de suministro y reduce el coste total.

Figura 5. Mix 100% renovable: potencia instalada por tecnologías

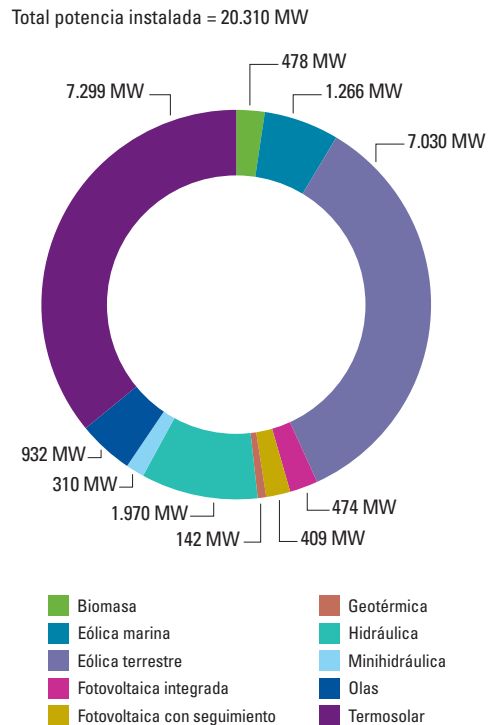


Figura 6. Mix 100% renovable: generación de electricidad por tecnologías

Total energía generada = 58,38 TWh/a

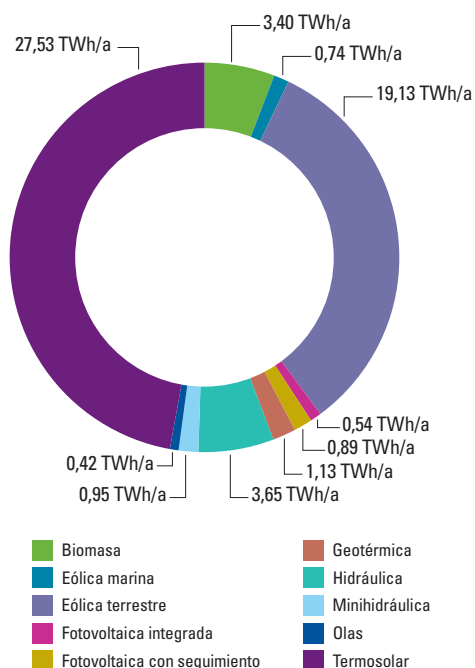


Tabla 3. Mix 100% renovable: datos generales

Múltiplo solar (SM)	2,35
Potencia instalada	20.310 MW
Fracción utilizada del techo de potencia	5,7%
Energía generada	58,38 TWh/año
Fracción utilizada del techo de generación	6,32%
Demanda eléctrica anual cubierta (SF)	108,6%
Ocupación territorio	7,64%
Coste normalizado electricidad 2050 (LEC)	3,89 c€/kWh
Coste inversión 2050	18.274,41 M€

En las tablas 3 y 4 aparecen los datos principales correspondientes a este mix, en conjunto y desagregados por tecnologías:

- El múltiplo solar (2,35) aporta una medida del tamaño del sistema; en este caso se tendrían centrales con capacidad para producir 2,35 veces la máxima demanda prevista; sería un valor algo inferior al mix original peninsular, ya que éste necesita una mayor sobrecapacidad dado que es en el ámbito peninsular donde se ha incorporado la exigencia de garantizar el suministro en todo momento.
- La energía eléctrica generada en base anual (58,38 TWh/año) sería un 8,6% mayor que la demanda (53,78 TWh), con lo que se cumple el requisito de generar en Cataluña la totalidad de la electricidad consumida en la comunidad.
- La potencia total instalada en el mix del ejemplo (20.310 MW) supone sólo un 5,7% del techo de potencia, y la electricidad generada equivale a sólo el 6,32% del techo de generación. Es decir, si la demanda en 2050 resultase ser mayor de la que se ha utilizado en este ejemplo, seguiría habiendo un amplio margen de potencia renovable a instalar y de energía a generar en Cataluña para suministrar esa demanda. En el ejemplo sólo se estaría utilizando íntegramente el potencial de la energía hidráulica, ya que sólo se ha considerado la ya disponible. En las demás el margen es amplio, sobre todo en el caso de la fotovoltaica en edificación, de la que sólo estaríamos utilizando un 0,6%.
- La utilización de territorio que se necesitaría para generar la energía de este mix sería del 7,64%, en su mayoría debido a los parques eólicos. Sin embargo, hay que recordar que la utilización del

Tabla 4. Mix 100% renovable: datos por tecnologías

	Potencia instalada (MW)	% techo potencia	Energía generada (TWh/año)	Ocupación territorio (%)	LEC (c€/kWh)	Coste inversión 2050 (M€)
Biomasa	478	31,3	3,4	0	4,6	1.197,08
Eólica marina	1.266	6,3	0,74	0	3,10	1.093,61
Eólica terrestre	7.030	13,3	19,13	7,0	1,95	3.442,99
FV cubierta edificio	474	0,6	0,54	0	11,37	456,39
FV seguimiento	409	2,4	0,89	0,1	8,24	490,93
Geotérmica	142	80,4	1,13	0	3,87	245,75
Hidráulica >10 MW	1.970	100	3,65	0	13,57	–
Minihidráulica	310	100	0,95	0	7,52	558,00
Olas	932	6,1	0,42	0	5,15	768,53
Termosolar	7.299	4,8	27,53	0,6	3,45	10.021,13
Total	20.310	5,7	58,38	7,6	3,89	18.274,41

suelo por parte de la eólica no es excluyente ni incompatible con otros usos (como los agrícolas o ganaderos, por ejemplo) y que la densidad de ocupación sería bastante baja (menos de dos aerogeneradores por km² en terreno llano y menos de cuatro en terreno accidentado)¹¹. Además, en los cálculos se han excluido las zonas protegidas por razones ambientales. La conclusión es que hay espacio suficiente para disponer de la energía renovable que se necesite, teniendo en cuenta la indudable ventaja de no necesitar ninguna central térmica ni nuclear.

- El coste normalizado de la electricidad (LEC) en este mix resultaría ser 3,89 c€/kWh. Para calcularlo, se han tomado los valores de las provincias en orden creciente de LEC en cada tecnología, hasta alcanzar la generación necesaria con cada una de ellas en este mix, dentro de los límites de sus respectivos techos de potencia y de generación. Se aprecia que el LEC sería muy favorable respecto a cualquier escenario de generación

con tecnologías sucias en 2050, e incluso resulta menor que el valor que se tenía en el mix original peninsular, pero esto es debido a que los costes derivados de la sobrecapacidad para garantizar en todo momento el suministro recaen sobre el mix peninsular.

- El coste de inversión total sería de 18.274 millones de euros a costes de 2050, es decir, 731 millones anuales durante 25 años, en su mayor parte destinados a la termosolar. Si se contabilizan a costes actuales, el coste de inversión sería de 52.660 M€, es decir, 2.106 millones anuales durante 25 años. Puesto que las inversiones habría que hacerlas a lo largo del tiempo, el coste real resultará intermedio entre ambos. Sin embargo, hay que tener en cuenta que estas inversiones comportarían unos ahorros muy importantes en términos de inversión en centrales térmicas, costes de combustible, emisión de CO₂, contaminación y gestión de residuos radiactivos. Considerando sólo los ahorros económicos



¹¹ Las máquinas consideradas tendrían 2,05 MW en terreno llano y 810 kW en terreno accidentado. La densidad de potencia sería respectivamente de 3,84 MW/km² y 3,04 MW/km².

de combustible y de emisión de CO₂, los costes evitados ascenderían a 5.351 millones de euros anuales, que se amortizarían en menos de diez años (considerando costes de inversión actuales) o en menos de cuatro años (a costes de inversión de 2050). Es decir, lo que costaría un sistema de generación eléctrica 100% renovable en Cataluña se recuperaría en un periodo de entre tres y diez años.

3.1. Comparación con el Plan de la Energía de Cataluña 2006-2015

Se considera interesante comparar la actual planificación energética de Cataluña (PEC), que alcanza hasta 2015, con el mix 100% renovable que aquí se presenta. Esta comparación es fundamentalmente cualitativa, ya que ambos se refieren a horizontes temporales diferentes y a demandas diferentes.

Si se comparan los objetivos de potencia fijados en el PEC para 2015 y los valores presentados en el ejemplo de mix 100% renovable, se observa que cuantitativamente aquellos están en general muy por debajo e incluso para algunas de las tecnologías son inexistentes.

Lo primero que llama la atención es el claro contraste entre la contribución que pueden tener las tecnologías solares y el objetivo marcado en el PEC. Entre estas tecnologías destaca la solar termoeléctrica, de la que el objetivo que el PEC contempla equivale sólo a un ridículo 1% comparado con el papel que esta tecnología tendría en un mix 100% renovable como el aquí propuesto. El objetivo planteado en el PEC de potencia de solar fotovoltaica es tan sólo del 11% respecto al del mix 100% renovable.

La eólica tendría un papel en el mix renovable de más del doble que el objetivo del PEC. A pesar de su apuesta por la eólica, importante si se compara con el pasado y con el resto de tecnologías renovables, el objetivo del PEC no significa ni mucho menos agotar el potencial de esta tecnología.

Llama la atención también la potencialidad de tecnologías actualmente no incorporadas en el PEC, como son la energía geotérmica o la de las olas, que tiene grandes sinergias con la eólica marina en su desarrollo tecnológico.

Respecto a la biomasa, el PEC considera distintas fuentes de energía primaria, incluyendo incineración de residuos sólidos urbanos. En este estudio no se considera la incineración como un recurso renovable, y por tanto se ha descontado para hacer la comparación.

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. De ahí que las diferencias entre ambos escenarios no son significativas.



Figura 7. Comparativa con Plan de Energía de Cataluña 2006-2015. Datos de potencia

Datos de potencia por tecnologías

■ Objetivos PEC 2015 ■ Mix Greenpeace 2050

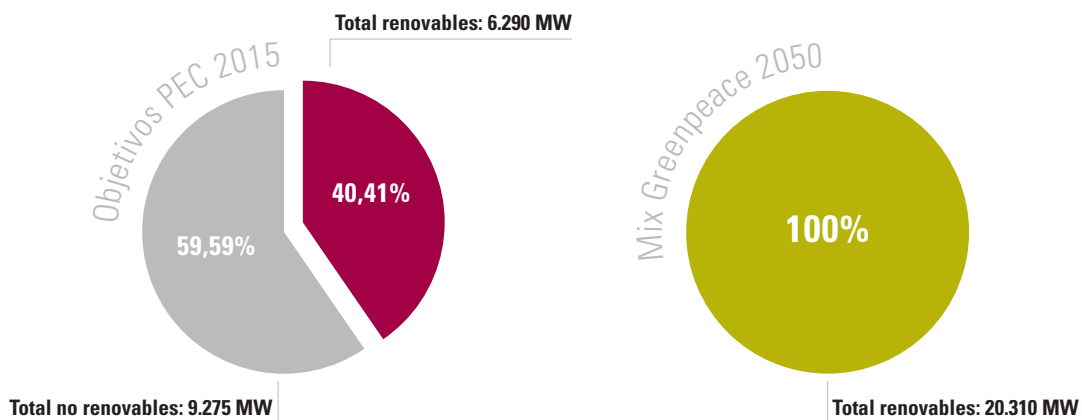
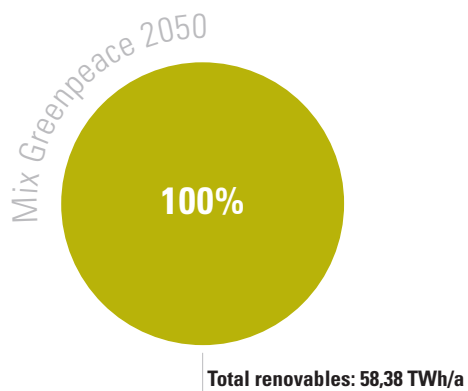
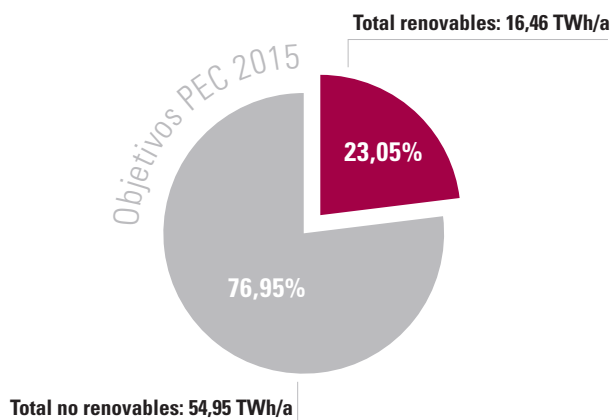
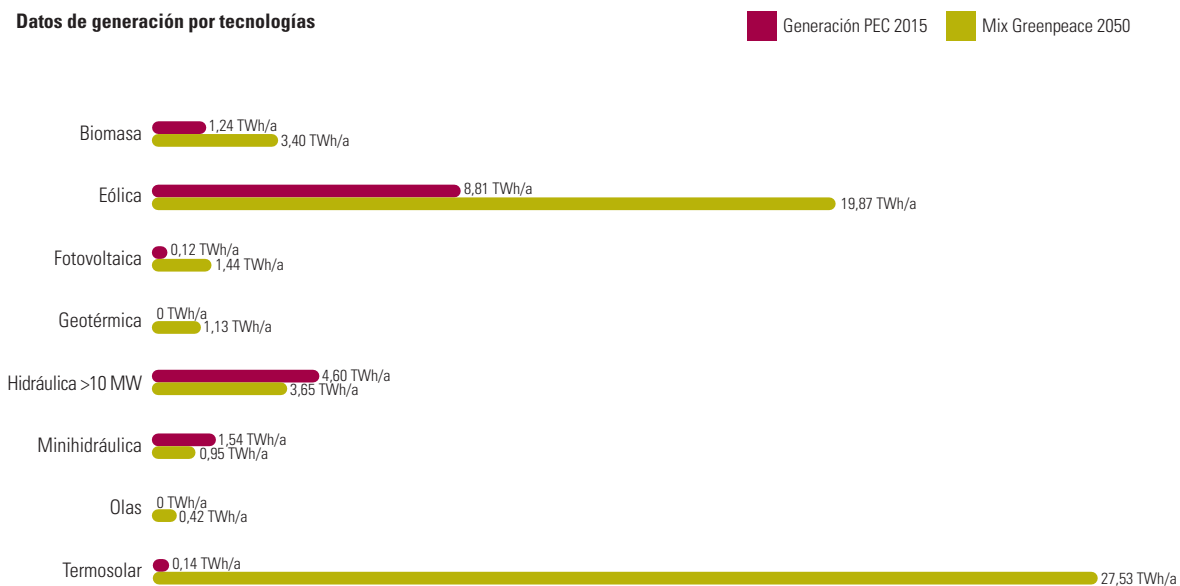


Figura 8. Comparativa con Plan de Energía de Cataluña 2006-2015. Datos de generación

Datos de generación por tecnologías



CONCLUSIONES

Después de los análisis realizados en los informes *Renovables 2050* y *Renovables 100%* sobre los sistemas de generación eléctrica peninsulares basados en renovables, desde el punto de vista de acoplamiento temporal generación-demanda, costes y optimización de la inversión y del uso, y teniendo en cuenta los datos relativos a Cataluña, se concluye que:

- Cataluña dispone de recursos renovables suficientes para, con las tecnologías actuales, poder generar una cantidad de electricidad superior a **17 veces la demanda eléctrica** proyectada en 2050.
- **Las tecnologías de menor coste en el horizonte del 2050 serán las renovables.** Todas ellas, al alcanzar su periodo de madurez industrial, podrán proporcionar electricidad a un coste inferior, y en muchos casos muy inferior, al proyectado para nuclear y térmica de ciclo combinado.
- **Es viable plantearse un sistema de generación basado al 100% en energías renovables,** que produzca la totalidad de la electricidad que se demandaría en Cataluña en 2050 mediante instalaciones renovables situadas dentro de Cataluña, con una baja ocupación de territorio.
- **Los costes totales de la electricidad generada serían perfectamente asumibles y muy favorables** respecto a un escenario tendencial.
- Para dotarse de un sistema de generación eléctrica 100% renovable en Cataluña, **la inversión necesaria se recuperaría en un periodo de entre tres y diez años,** considerando sólo los ahorros económicos de combustible y de emisión de CO₂.
- **Existen herramientas suficientes para garantizar una cobertura de la demanda** a lo largo de toda la vida útil del sistema de generación, manteniendo las ventajas de un sistema interconectado con el resto de la península.
- Se necesita una **nueva estrategia energética en Cataluña** que considere adecuadamente estas posibilidades.



PROPUESTAS DE GREENPEACE

Cataluña necesita definir su papel en la lucha mundial contra el cambio climático, reorientando su sistema energético teniendo en cuenta su responsabilidad como comunidad autónoma desarrollada y las posibilidades y ventajas que ofrecen las energías renovables. Por ello, Greenpeace pide a la Generalitat de Cataluña que revise su política energética, para:

- Asumir un objetivo de reducción real de emisiones de CO₂ en 2020 respecto a 1990, para alcanzar una reducción de, al menos, el 80% en 2050.
- Comprometerse con un objetivo de reducción de la demanda de energía de, al menos, un 20% para 2020 respecto a 2005, haciendo un amplio uso de las opciones de eficiencia energética y gestión de la demanda.
- **Incorporar un objetivo de abastecer con energías renovables el 100% de la demanda eléctrica de Cataluña para 2050.** Realizar con urgencia un análisis técnico y económico para determinar la estrategia óptima para alcanzar este objetivo.
- Establecer objetivos intermedios de aumento progresivo de la generación con energías renovables. Estos objetivos deberían desglosarse, a su vez, en promoción pública (específicamente para los edificios y terrenos de titularidad pública, siempre que sea compatible con la conservación ambiental y demás usos de interés social) y promoción privada (haciendo uso de todos los instrumentos fiscales que la ley permite para favorecer la instalación de energías renovables, y facilitando a los ciudadanos la realización de trámites a través de sistemas de "ventanilla única").
- Analizar la viabilidad técnica y económica de transformar el sistema energético para lograr que la totalidad de los servicios energéticos de la sociedad sean atendidos mediante energías renovables y con la mayor eficiencia energética.
- Eliminar obstáculos innecesarios para la instalación de energías renovables.
- Obligar a las compañías de transporte y distribución de electricidad a facilitar la integración de la electricidad de origen renovable en sus redes, acometiendo las adaptaciones de las mismas que sea necesario.
- Extender las obligaciones de incorporar energía solar térmica y fotovoltaica a todos los edificios y asegurar su estricto cumplimiento.
- Promover la comercialización de energía térmica de origen renovable.
- Oponerse a la instalación de centrales térmicas o nucleares en su territorio, ejerciendo para ello todas las competencias que le son propias, como la aprobación de la evaluación ambiental integrada, autorizaciones de construcción, planeamiento urbanístico, etc.
- Planificar el cierre de las actuales centrales nucleares antes del fin de 2015, así como el cierre progresivo de las térmicas de combustible fósil.
- Todas estas propuestas deberían incluirse en una Estrategia para una Cataluña Renovable, a la cual debería adaptarse el Plan de la Energía de Cataluña.



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 cápita se expresa en kWh/habitante.

Para hablar de la demanda eléctrica 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, etc.

Para hacerla comparable con la demanda eléctrica se usan 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) = 1.000 vatios.

1MW (megavatio) = 1.000 kW.

1GW (gigavatio) = 1.000 MW o mil millones de vatios.

1TW (teravatio) = 1.000 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

Hace referencia 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