

Renovables 100%

Un sistema eléctrico renovable
para la España peninsular y su
viabilidad económica.

Greenpeace Madrid

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

Greenpeace Barcelona

Ortígosa, 5 - 2º1º. 08003 Barcelona
Tel.: 93 310 13 00 - Fax: 93 310 51 18

Documento resumen, elaborado por José Luis García Ortega y Alicia Cantero, a partir del informe "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.

Abril 2007

ÍNDICE

1. Presentación	5
2. Metodología	6
Análisis temporal	6
Análisis del sistema de generación eléctrica	7
3. Conceptos fundamentales	7
4. ¿Puede un sistema basado únicamente en renovables cubrir toda nuestra demanda eléctrica?	8
4.1. Generación por tecnologías	8
4.2. Ejemplos de mix de generación	10
Mix 100% renovable. Objetivo: diversidad de tecnologías	11
Mix 100% renovable. Objetivo: optimización económica	14
Mix 100% renovable. Objetivo: aprovechar la gestión de la demanda	17
Mix 100% renovable. Objetivo: cubrir toda la demanda de energía (no sólo eléctrica)	19
4.3. Cobertura de la demanda: conclusiones	22
5. Cambios de paradigma necesarios para plantearse un sistema renovable	23
6. ¿Cuántas centrales renovables serían necesarias y cómo deberían de utilizarse, con el mínimo coste?	24
Necesidad de potencia instalada (análisis del múltiplo solar)	24
Análisis de la capacidad de acumulación	25
Análisis del sistema de generación eléctrica	25
Análisis del coste de la energía no suministrada (CENS)	26
7. Conclusión final	27
8. Propuestas de Greenpeace	28

PRESENTACIÓN

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 más de 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 logremos 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 las emisiones 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.

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. Incluso en España, que ha logrado situarse en cabeza del mundo en el desarrollo de renovables como la eólica, el apoyo a estas fuentes de energía limpias se pone en duda constantemente, lo que está creando tensiones que crecen a medida que la penetración de las renovables en el sistema eléctrico va dejando de ser testimonial, y más aún según algunas, como la eólica, se vayan acercando a lo que algunos consideran su "límite técnico". Llegados a este punto, chocan dos concepciones bien diferentes del papel que puede y debe correspon-

der 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.

El **objetivo** del estudio "Renovables 100%" es cuantificar y evaluar técnicamente la **viabilidad de un escenario basado en energías renovables para el sistema de generación eléctrica peninsular**.

En este documento presentamos un resumen de las principales conclusiones del informe relativas al análisis temporal y de red, que junto a las conclusiones del análisis de costes (ver documento "Renovables 100%: comparativa de costes") permiten demostrar que **existen muchas configuraciones posibles, con distintas combinaciones de sistemas de generación eléctrica basados en fuentes renovables, para satisfacer la demanda proyectada en 2050**. En este documento mostramos también ejemplos de combinaciones de tecnologías renovables ("mix" de generación) según distintos requisitos, que permiten comprender las principales características técnicas, económicas y geográficas de estos mix.

La gran aportación de este estudio reside en plantearse, por primera vez, la viabilidad técnica y económica de los sistemas de generación 100% renovables y haber iniciado un camino para encontrar las respuestas. Aunque son muchos los análisis a desarrollar para introducir estos sistemas, hemos avanzado lo suficiente como para tener claro que es viable, y ahora le corresponde a otros organismos y entidades continuar y convertirlo en realidad. Lo que ya no hay después de este estudio son excusas para no seguir avanzando y de forma muy urgente en esta dirección.

METODOLOGÍA

Una vez realizados los análisis de techos de potencia y generación y de costes, el resto del estudio ha seguido la metodología que describimos a continuación.

Análisis temporal

El análisis más importante es el de la capacidad de generación renovable y su acoplamiento temporal con la demanda, es decir, no basta saber cuánto se puede producir, sino cómo hacerlo llegar a los puntos de consumo, en los momentos y lugares donde se demanda. Se trata de determinar, teniendo en cuenta los costes y la variación temporal de la producción y de la demanda, qué combinaciones de tecnologías de generación renovables se pueden emplear para cubrir completamente la demanda. Como surgen muchas opciones, hay que determinar cuál de ellas sería la óptima, tanto en cuanto a potencia instalada como en cuanto a formas de utilizarla (despacho). En el caso de los sistemas 100% renovables, este análisis no puede hacerse por separado.

- Para ello, en primer lugar y a modo de caso de comparación **se ha analizado el caso de un sistema autónomo** para cobertura de la demanda eléctrica de una vivienda unifamiliar, algo bien sencillo de realizar hoy en día, a pesar de lo cual resulta incluso técnicamente mucho más sencillo y económicamente mucho menos costoso el cubrir la demanda eléctrica con tecnologías renovables para toda la España peninsular que para una vivienda autónoma. La comparación con el caso autónomo muestra que el plantearnos el 100% renovable no es tan “inalcanzable” como se suele pensar, y que ya tenemos casos (sistema autónomo) que nadie duda que sea posible y que en el fondo son mucho más complejos.

- Posteriormente se ha realizado el **análisis de la capacidad de generación temporal** de cada una de las tecnologías, estudiando cómo varía la generación de cada tecnología a lo largo del año y el efecto de instalar en distintos puntos geográficos las diferentes energías renovables (dispersión espacial y diversidad tecnológica).

- A continuación, se ha desarrollado un **análisis temporal detallado del acoplamiento de la capacidad de generación con la demanda eléctrica**:

Partiendo de la situación actual, dominada en renovables por la hidroeléctrica y la eólica terrestre, se han ido introduciendo tecnologías renovables por orden de mérito de sus actuaciones con la estructura de costes de 2050, sin tener en cuenta capacidad de almacenamiento y sin exigirles adaptar su producción de acuerdo a la demanda (tan sólo disipando la energía sobrante y utilizando las centrales de biomasa únicamente para operación en las puntas de consumo). De esta forma se analizan **distintos mix con distintos niveles de cobertura de la demanda**.

A continuación se ha estudiado cómo afecta a las actuaciones de los modelos presentados **el efecto de introducir capacidad de acumulación de energía**. Para ello se ha asumido que se opera en el sistema eléctrico sin otra regulación que la disipación de la energía sobrante y no usando la biomasa cuando existe generación excedente con las demás fuentes de energía. También se ha asumido que el sistema de almacenamiento tiene un coste de 10 €/kWh (en 2050) y un rendimiento global de carga-descarga del 70%.

Análisis del sistema de generación eléctrica

Por último, se ha abordado el análisis de los sistemas de generación 100% renovables desde la óptica y con las herramientas habituales dedicadas al análisis “convencional” de la red eléctrica.

- El primero de estos análisis se ha realizado mediante “modelos de expansión de la generación”, para determinar una **combinación óptima de tecnologías a instalar**.
- Una vez que se dispone de un mix de generación, el siguiente paso en el análisis convencional de red consiste en determinar **qué tecnologías de las instaladas conviene utilizar en cada momento para atender a la demanda**, para lo que se ha empleado un “modelo de explotación generación/red”. En éste se han incorporado los efectos de la inversión económica, para poder determinar qué centrales instalar (expansión de la generación) y cuáles utilizar (despacho óptimo); dos problemas que, para los sistemas de generación basados en renovables, deben ser resueltos simultáneamente.
- El último paso realizado ha consistido en **optimizar económicamente** los mix obtenidos, primero incorporando el efecto de la hibridación termosolar, es decir, utilizar centrales termoeléctricas que puedan funcionar incluso cuando no haya radiación solar, empleando biomasa como combustible, y luego considerando valores del coste de la energía que no ha llegado a ser suministrada, entre 2 y 10.000 c€/kWh_e.

CONCEPTOS FUNDAMENTALES

En primer lugar es conveniente introducir algunos conceptos importantes para este análisis:

- **Múltiplo solar (SM):** cociente de la potencia nominal instalada entre la máxima potencia demandada. Es decir, cuánta potencia o capacidad tiene instalada un sistema con relación a la electricidad que se demanda como máximo, o sea, cuántas centrales hay que tener “de más” para recurrir a ellas cuando otras no están disponibles. Por ejemplo, un mix con $SM = 2$ tendrá tantas centrales instaladas como para disponer de una potencia equivalente al doble de la potencia máxima que se demandaría en algún momento.
- **Factor de capacidad (CF):** cociente entre la energía útil generada y la máxima que se podría generar operando a su potencia nominal durante todo el año. Es decir, nos da idea de cuánto aprovechamos la potencia instalada de una central o de todo el sistema, o sea, cuánta potencia de la instalada se llega a utilizar. Por ejemplo, una central con $CF = 60\%$ quiere decir que esa central ha producido un 60% de la energía máxima que se generaría si la central pudiera mantenerse en operación a su potencia nominal durante todo el período considerado.
- **Fracción solar (SF):** fracción de la demanda cubierta por el sistema de generación renovable. Es decir, cuánta energía llegan a cubrir las renovables respecto a la total demandada. Por ejemplo, $SF = 100\%$ significaría que toda la demanda es cubierta mediante energías renovables.

¿PUEDE UN SISTEMA BASADO ÚNICAMENTE EN RENOVABLES CUBRIR TODA NUESTRA DEMANDA ELÉCTRICA?

Esta es, sin duda, la cuestión principal a la hora de analizar la viabilidad técnica de un sistema basado 100% en energías renovables, comprobar si es posible producir en todo momento toda la electricidad que se demanda. El estudio analiza en primer lugar la **capacidad de generación temporal de cada tecnología**, y a continuación realiza un detallado análisis de **cómo se acopla** la capacidad de generación de un sistema basado en renovables con la demanda eléctrica a lo largo del año.

El objeto de este análisis es poder evaluar cuánta energía se puede aprovechar de la que es posible producir con la potencia instalada (rendimiento de regulación), y comprobar cómo depende del reparto de las tecnologías que se instalen (mix) y del modo de operarlas (despacho).

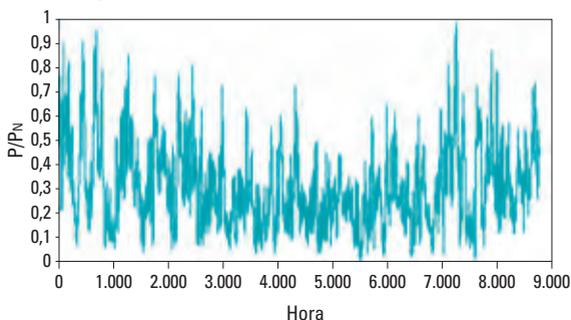
4.1. Generación por tecnologías

El análisis de cómo varía la generación de cada tecnología, a lo largo del año, incorpora el efecto de la dispersión espacial, es decir el efecto de sumar la generación de una misma tecnología repartida por todas las provincias. El resultado es conservador, puesto que al haber considerado cada provincia representada por una única serie temporal, no se está contando el efecto de la dispersión geográfica dentro de cada provincia. Aún así, la dispersión espacial da lugar a una generación mucho más regular, ya que en cada emplazamiento la generación está disponible en momentos diferentes. Es el mismo efecto que ocurre con la demanda eléctrica, que a escala peninsular es bastante regular, con una demanda mínima anual que es el 42,96% de la máxima. A continuación mostramos los resultados de cada tecnología:

La eólica marina es un recurso dominante en invierno-otoño, con capacidad de generación más reducida en los meses centrales del año:

Potencia eléctrica producida a lo largo del año para la serie temporal obtenida al promediar todos los emplazamientos peninsulares off-shore, en valor relativo a la potencia nominal instalada.

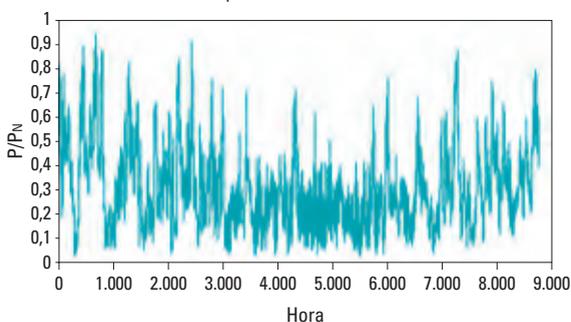
Total 23 emplazamientos



La eólica terrestre sigue un patrón similar al de la eólica marina:

Potencia eléctrica producida a lo largo del año para la serie temporal obtenida al promediar todos los emplazamientos peninsulares de eólica terrestre, en valor relativo a la potencia nominal instalada.

Eólica terrestre: total 47 emplazamientos

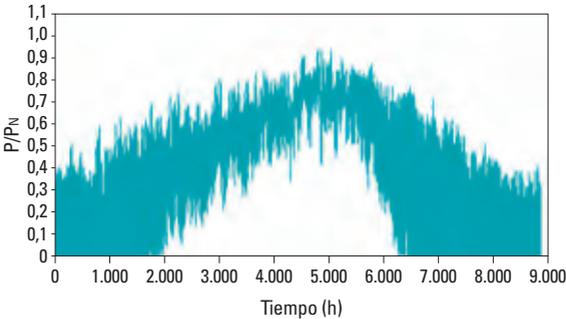


4.1

La termosolar es un recurso dominante en primavera-verano:

Potencia eléctrica producida a lo largo del año para la serie temporal obtenida al promediar todos los emplazamientos peninsulares de termosolar, en valor relativo a la potencia nominal instalada.

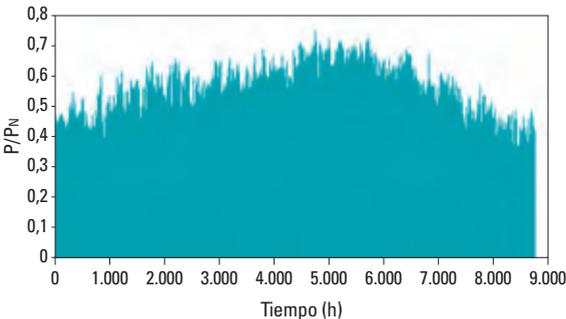
Termosolar: total 47 emplazamientos



La fotovoltaica con seguimiento azimutal también es dominante en primavera-verano, pero con mayor regularidad estacional que la termosolar:

Potencia eléctrica producida a lo largo del año para la serie temporal obtenida al promediar todos los emplazamientos peninsulares de fotovoltaica azimutal, en valor relativo a la potencia nominal instalada.

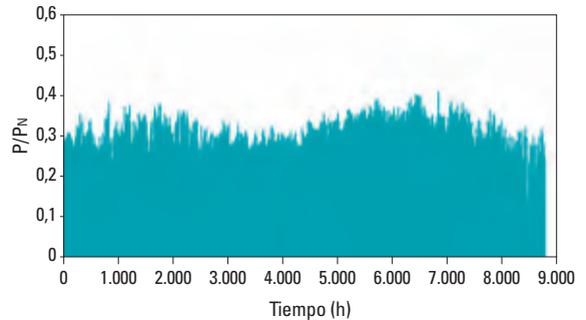
FV azimutal: total 47 emplazamientos



La fotovoltaica integrada en edificios es dominante en otoño-primavera (se ha tomado la siguiente combinación de orientaciones para la instalación de los módulos fotovoltaicos: por cada 4 módulos en cubierta, 2 al sur, 2 al sudeste, 2 al sudoeste, 1 al este y 1 al oeste):

Serie peninsular de potencia fotovoltaica integrada obtenida al agrupar todas las series fotovoltaicas provinciales resultado de promediar las distintas orientaciones con la relación indicada (4 cubierta + 2S + 2SE + 2SW + 1E + 1W).

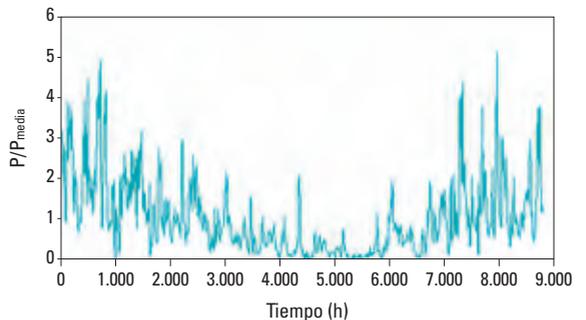
47 emplazamientos peninsulares. Potencia total FV-edificación



La tecnología de las olas presenta el siguiente perfil:

Serie de potencia horaria adimensionalizada con la potencia media anual de la serie peninsular resultante de promediar los 22 emplazamientos provinciales.

Olas. 22 emplazamientos

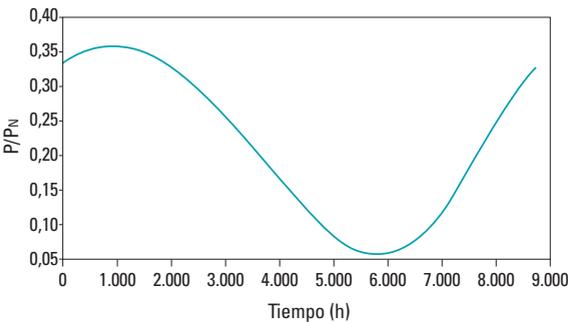


4.1

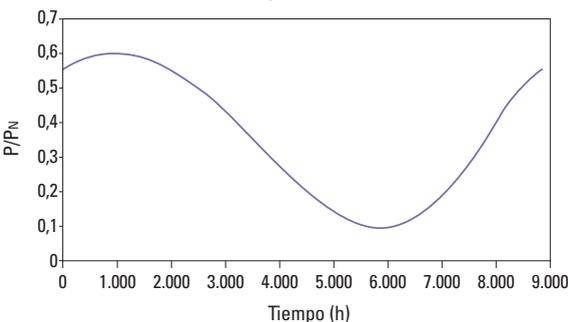
La hidroeléctrica presenta una variabilidad considerablemente inferior a las demás, por el efecto de acumulación y concentración de las cuencas hidro-lógicas. Por su capacidad de acumulación, en un sistema renovable, la explotación de las centrales hidroeléctricas sería diferente a la actual.

Series horarias de potencia hidroeléctrica en régimen ordinario y en régimen especial a nivel peninsular obtenidas al modular la generación potencial asumida para el año 2050 (IIT, 2005) con el producible medio histórico en el año 2003. Estas series de potencia hidroeléctrica no asumen regulación alguna del sistema eléctrico con esta tecnología.

Hidroeléctrica RO con modulación producible histórico



Hidroeléctrica RE con modulación producible histórico



4.2

En cuanto a las centrales de biomasa y geotérmica, tienen capacidad de funcionar a potencia constante durante todo el año, ofreciendo además la posibilidad de ajustar su potencia para regular el sistema, en función de la producción de las centrales de generación variable, con lo que operadas de forma adecuada pueden proporcionar capacidad de regulación y garantía de potencia.

4.2. Ejemplos de mix de generación

Para analizar el acoplamiento temporal generación-demanda hemos desarrollado el caso técnicamente más desfavorable con el objetivo de demostrar que incluso en este caso es posible cubrir la demanda energética. Es decir, se han buscado diferentes combinaciones de tecnologías renovables o mix tecnológicos que responden a las necesidades de una demanda energética que, como ocurre en la actualidad, no incorpora la gestión de la demanda¹.

En general, cualquier mix renovable se caracteriza por la dispersión espacial y la diversidad tecnológica. Además, hay que tener en cuenta que la mayoría de las tecnologías renovables disponen de una gran capacidad de regulación, es decir, pueden ajustar su producción a la demanda en cada momento, y hacerlo de forma más rápida que las tecnologías convencionales, si se trata de reducir la potencia entregada por debajo de la potencia disponible (que depende del sol, viento, etc.) en cada instante de tiempo.

^[1] Se llama gestión de la demanda al conjunto de medidas cuyo objetivo es modificar la forma en que se consume la energía, sea ahorrando una determinada cantidad de energía o desplazando su consumo a otro momento. Incluye medidas normativas, incentivos, información al consumidor, señales de precio, etc.

4.2

Sin embargo, muchas de las tecnologías renovables no tienen capacidad de regulación de potencia por encima de la potencia disponible en cada instante de tiempo, es decir, si en un momento dado el viento en un aerogenerador permite entregar 500 kW, la máquina no puede dar más.

Esta situación, en un sistema de generación en el que no se haga un extenso uso de la gestión de la demanda, obliga a contar con una "potencia rodante" (centrales que no están generando pero que están en disponibilidad de generar en cualquier momento en que se produzca un déficit de potencia) superior a la de los sistemas de generación convencionales, cuya función es mantener la generación de electricidad aún cuando el recurso disponible disminuya.

Hay varias herramientas para conseguir esta potencia rodante en los mix 100% renovables: aumentar la potencia instalada, usar la capacidad de almacenamiento y regulación de tecnologías como la hidroeléctrica de embalse (incluyendo bombeo), biomasa, geotérmica y termosolar, o mejor aún la hibridación con biomasa (gasificada) de las centrales termosolares, es decir, centrales que puedan utilizar indistintamente la energía del sol y la biomasa como combustible².

De la infinidad de combinaciones de tecnologías renovables para cubrir la demanda eléctrica que se pueden realizar, aquí vamos a mostrar algunos ejemplos ilustrativos buscando distintos objetivos: diversidad tecnológica, menor coste de generación, combinación con gestión de la demanda. También mostramos otro mix que, además de cubrir toda la demanda eléctrica, logra la cobertura de toda la demanda energética.

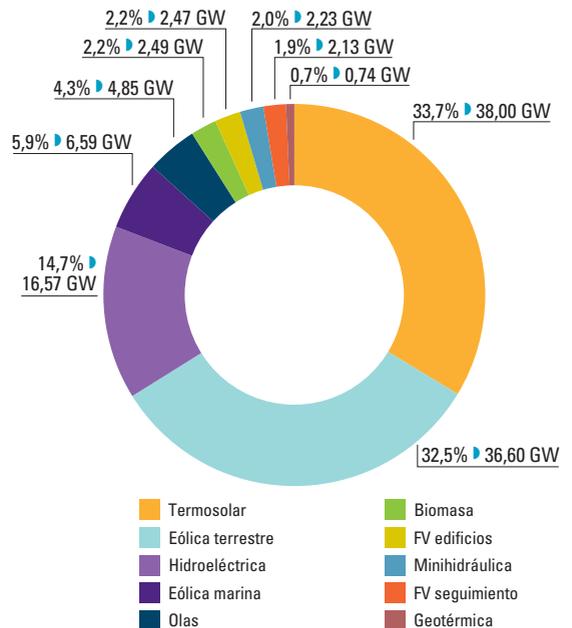
Mix 100% renovable

Objetivo: diversidad de tecnologías

En primer lugar mostramos un ejemplo de mix capaz de satisfacer completamente la demanda de electricidad en 2050 con energías renovables (SF = 100%), cuya característica principal es su diversidad tecnológica, es decir, hace uso de un amplio abanico de tecnologías basadas en fuentes renovables, y logra la cobertura completa de la demanda gracias a una pequeña capacidad de almacenamiento.

El mix de este ejemplo tendría una potencia instalada de 112.680 MW, con el siguiente reparto de tecnologías:

Potencia instalada por tecnologías.



[2] Hemos adoptado un criterio de dimensionamiento de los mix renovables consistente en exigirles que cuenten con una potencia rodante de al menos un 15% de exceso respecto a la potencia deficitaria máxima, y con energía disponible con capacidad de regulación en al menos un 25% de exceso respecto al déficit energético anual.

4.2

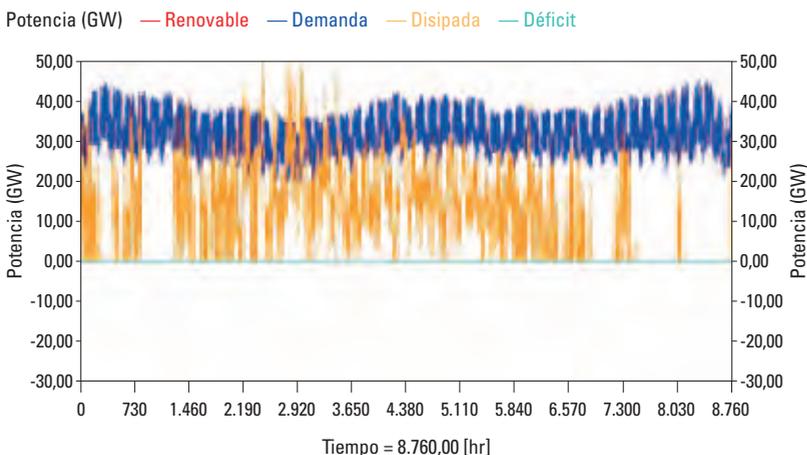
La tabla siguiente nos resume las principales características de este mix.

Características principales del mix.

Potencia instalada	112,68	GWp
Energía disponible	396,48	TWh/a
Múltiplo solar (SM)	2,5	
Capacidad de acumulación	1,5	TWh
Cobertura demanda (SF)	100	%
Déficit de energía en relación a la demanda anual	0	%
Energía a disipar en relación a la demanda anual	34,4	%
Generación disponible en relación a la demanda anual	141,6	%
Energía aportada por la biomasa	3,9	TWh/a
Potencia deficitaria máxima	0	GW
Potencia disipada máxima	60,9	GW
Coste electricidad anual (LEC) sin inversión hidráulica	4,51	c€/kWh
Hibridación solar-biomasa	No	
Funcionamiento minihidráulica	Base	
Fracción utilizada del techo de potencia eólica terrestre	4	%
Fracción utilizada del techo de potencia termosolar	1,387	%
Ocupación de territorio	2,47	%

En el gráfico siguiente vemos cómo a lo largo del año existe producción disponible para atender la demanda en todo momento, así como los momentos en que se disiparía la energía sobrante.

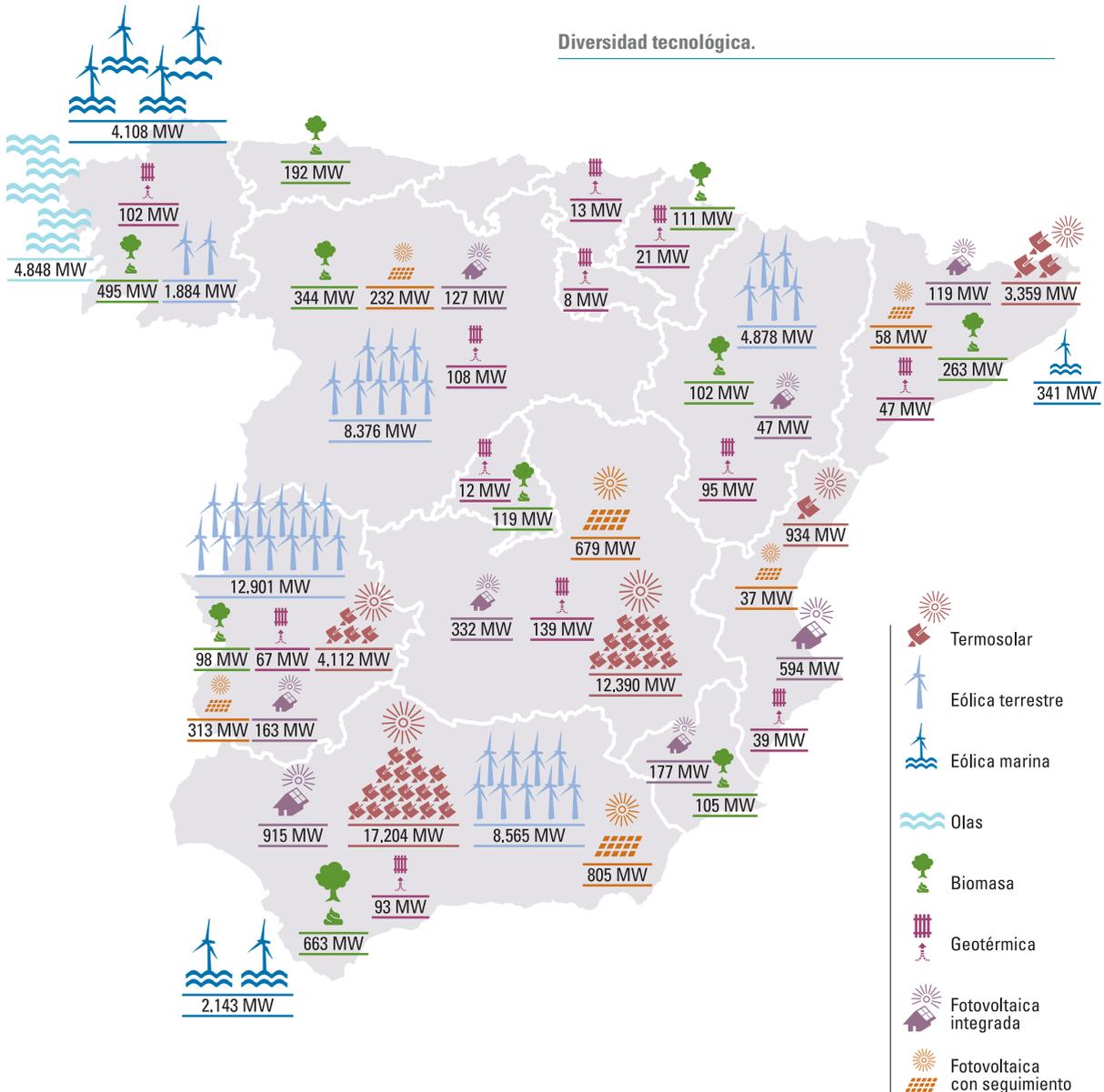
Evolución horaria anual de la potencia disponible, la demanda, la disipación y el déficit para un mix con SM = 2,5 con una capacidad de almacenamiento de 1,5 TWh. SF = 100%.



4.2

El mapa nos muestra el reparto geográfico por CC.AA. de la potencia instalada. Para elaborarlo se han seleccionado las provincias con menores costes

de generación para las respectivas tecnologías. Las hidráulicas no se señalan porque utilizan los emplazamientos ya existentes.



4.2

Mix 100% renovable

Objetivo: optimización económica

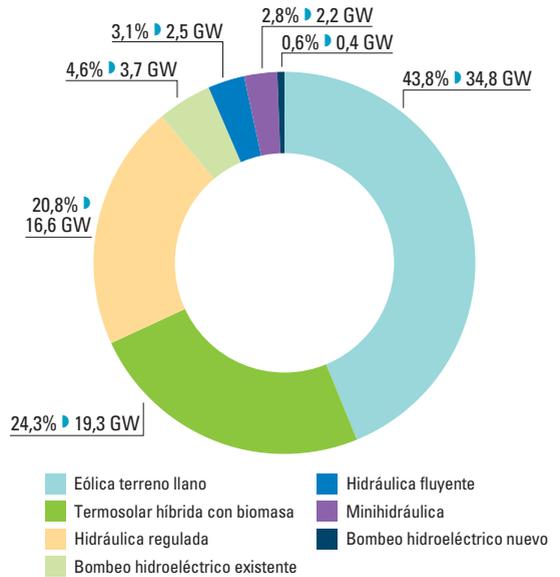
En este caso mostramos un mix en el que se ha buscado el óptimo económico, es decir el mínimo coste de la electricidad producida, manteniendo la condición de satisfacer completamente la demanda de electricidad en 2050 con energías renovables (SF = 100%), sin considerar ningún tipo de gestión de la demanda.

Para determinar el despacho óptimo, es decir, el cómo se reparte la generación entre las distintas centrales instaladas con el fin de minimizar los costes de operación, se han introducido aspectos como tener en cuenta la capacidad de almacenamiento de los embalses hidroeléctricos y la optimización de su gestión, incorporar la hibridación termosolar y la optimización de su gestión, incorporar el bombeo hidroeléctrico (con su capacidad de acumulación y de regulación de potencia) y optimizar el funcionamiento de cada tecnología a lo largo del año según sus costes variables y disponibilidad.

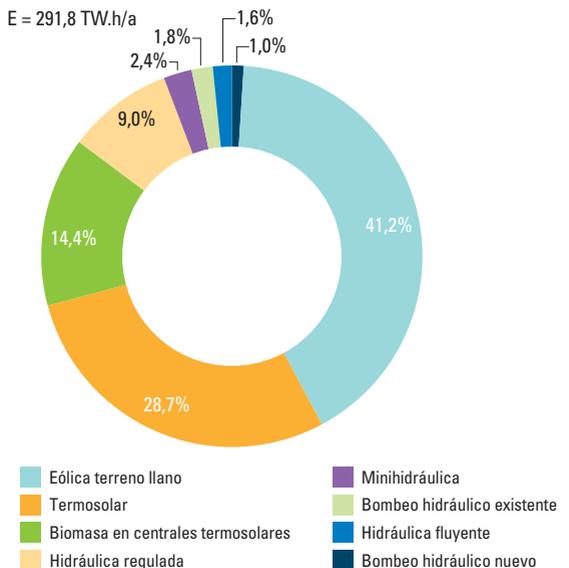
Para el análisis de mínimo coste se han optimizado además la inversión y costes en ciclo de vida, utilizando un modelo especial que, calculando unas 500.000 ecuaciones, resuelve simultáneamente el problema de qué centrales construir y cuáles operar en cada instante de tiempo a lo largo del año.

El mix de este ejemplo tendría una potencia instalada de 79.600 MW, con el siguiente reparto de tecnologías:

Potencia instalada por tecnologías.



Configuración y generación eléctrica de un mix, optimizado en ciclo de vida incorporando la hibridación termosolar para alcanzar una cobertura total de la demanda (SF = 100%). SM = 2,20; LEC = 2,47 c€/kWh.



4.2

La producción de electricidad en las centrales termosolares, todas ellas hibridadas con biomasa, aparece desglosada entre la que se realizaría con energía solar y la que, en las mismas centrales, se realizaría con biomasa.

La tabla siguiente nos resume las principales características de este mix.

Características principales del mix.

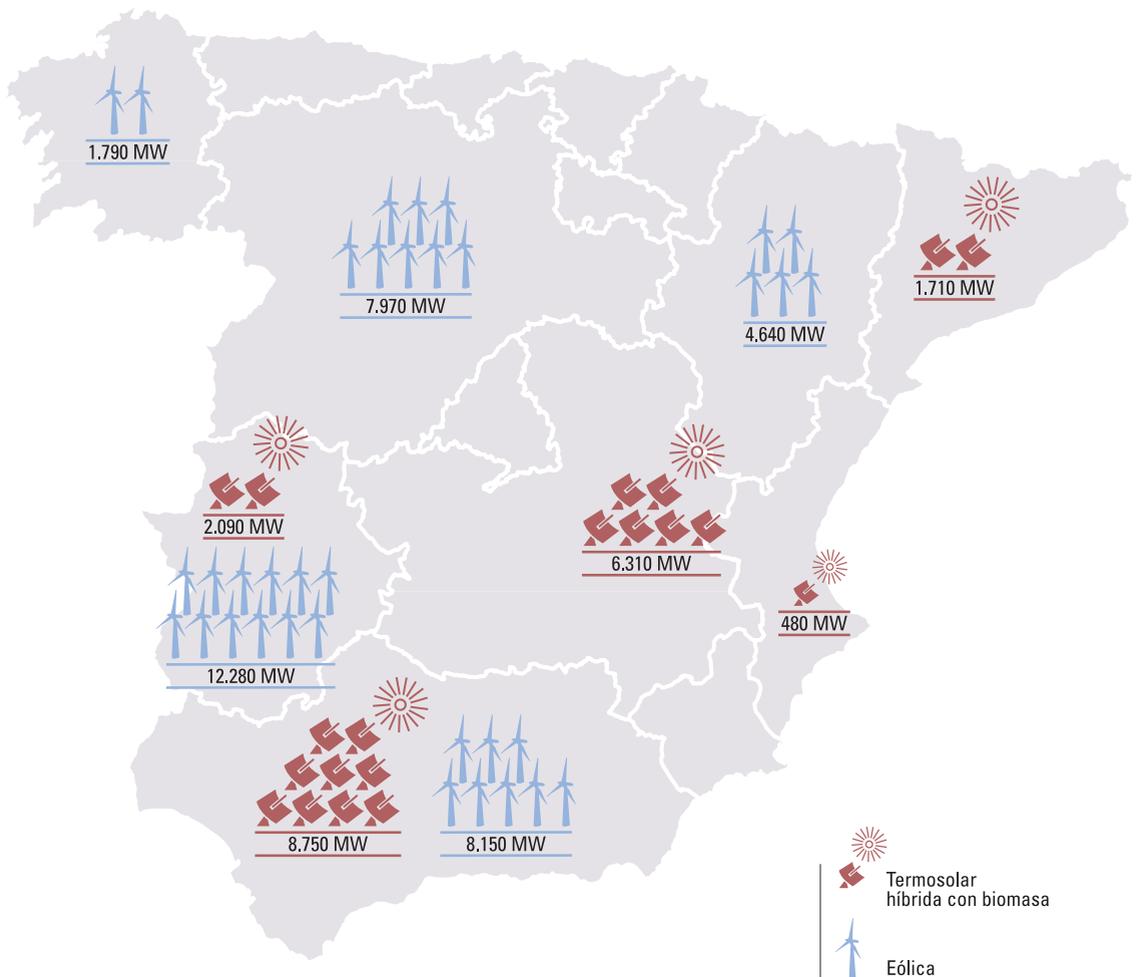
Potencia instalada	79,6	GWp
Energía disponible	291,8	TWh/a
Múltiplo solar (SM)	2,2	
Cobertura demanda (SF)	100	%
Coste electricidad anual (LEC) sin inversión hidráulica	2,47	c€/kWh
Coste máximo electricidad	9.883	c€/kWh
Duración coste máximo de electricidad	1	Hora
Hibridación solar-biomasa	Si	
Funcionamiento minihidráulica	Base	
Fracción utilizada del techo de potencia eólica terrestre	3,8	%
Fracción utilizada del techo de potencia termosolar	0,7	%
Fracción utilizada del techo de potencia de hibridación termosolar-biomasa	39,2	%
Ocupación de territorio	2,4	%

4.2

El mapa nos muestra el reparto geográfico por CC.AA. de la potencia instalada. Para elaborarlo se han seleccionado las provincias con menores costes

de generación para las respectivas tecnologías. Las hidráulicas no se señalan porque utilizan los emplazamientos ya existentes.

Optimización económica.

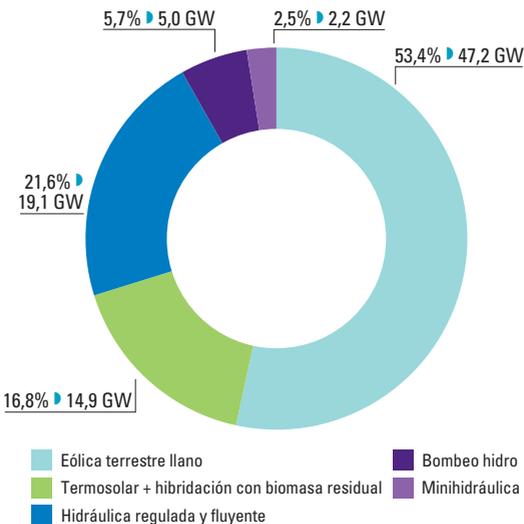


4.2

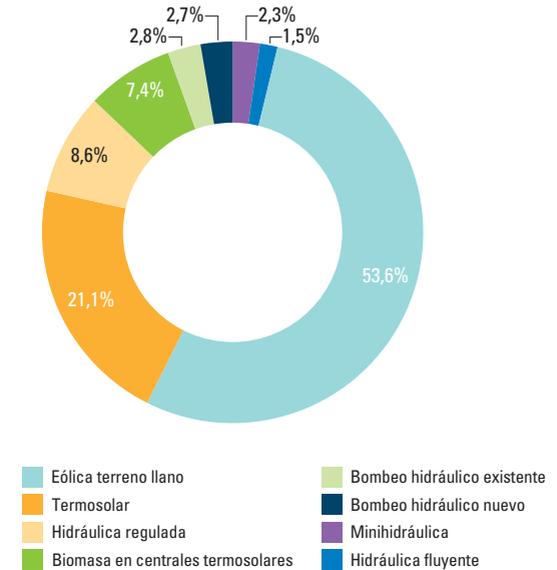
Mix 100% renovable**Objetivo: aprovechar gestión de la demanda**

En este ejemplo buscamos reducir aún más el coste de la electricidad, para alcanzar el mínimo coste posible, viendo el efecto de gestionar puntas con gestión de la demanda sin renunciar a utilizar únicamente energías renovables. Para ello se ha asumido un coste de la energía no suministrada (CENS) de 500 c€/kWh, de forma que en aquellas horas en que el coste de generación de electricidad superara ese valor (por las inversiones adicionales requeridas), se recurriría a la gestión de la demanda para evitar que esos consumos se produzcan en ese instante (desplazándolos a instantes de tiempo con exceso de capacidad de generación).

En las siguientes gráficas vemos las principales características de este mix, el reparto por tecnologías de la potencia instalada (88.400 MW) y de la energía producida, el reparto en el año de la potencia no suministrada (sustituida por gestión de la demanda) y el coste de la electricidad a lo largo del año.

Potencia instalada por tecnologías.
Configuración y generación eléctrica de un mix optimizado para CENS = 500 c€/kWh. SM = 2,29; SF = 99,993%; LEC = 2,42 c€/kWh.

E = 303,9 TW.h/a



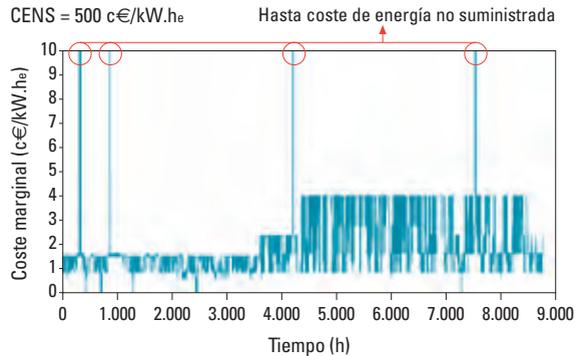
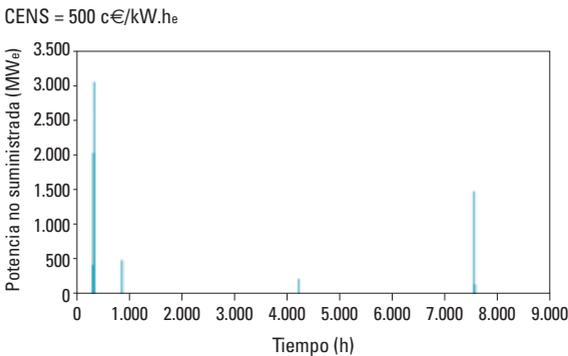
4.2

Características principales del mix.

Potencia instalada	88,4	GWp
Energía disponible	303,9	TWh/a
Múltiplo solar (SM)	2,29	
Cobertura demanda (SF)	99,993	%
Coste electricidad anual (LEC) sin inversión hidráulica	2,42	c€/kWh
Coste máximo electricidad (CENS)	500	c€/kWh
Horas al año en que la producción de electricidad es menor que la demanda	7	Horas
Hibridación solar-biomasa	Si	
Funcionamiento minihidráulica	Según costes	
Fracción utilizada del techo de potencia eólica terrestre total peninsular	5,2	%
Fracción utilizada del techo de potencia termosolar total peninsular	0,5	%
Tipo de biomasa utilizada	Residual	
Fracción utilizada del techo de generación con biomasa residual peninsular	44	%
Fracción utilizada del techo de generación con biomasa total peninsular	21,1	%
Ocupación territorio	3	%

Evolución horaria anual de la potencia no suministrada para un mix optimizado para CENS = 500 c€/kWh.
 SM = 2,29; SF = 99,993%; LEC = 2,42 c€/kWh.

Evolución horaria anual del coste marginal de la electricidad para un mix optimizado para CENS = 500 c€/kWh.
 SM = 2,29; SF = 99,993%; LEC = 2,42 c€/kWh.



4.2

Este ejemplo es muy conservador, y sólo deja sin generar el 0,007% del total de la electricidad demandada en el instante requerido (desplazamiento del consumo), pero en realidad sería económicamente más favorable actuar sobre la demanda en vez de producir la electricidad en todos aquellos casos en que, siendo técnicamente posible, sea más barato gestionar la demanda de electricidad (ahorrándola o desplazando esa demanda a otros instantes en los que sobra capacidad de generación) que producirla. Serían los casos en que el coste del kWh gestionado sea menor que el del kWh producido (es decir, para valores mucho menores del CENS).

En este caso, con CENS = 500, se muestra un caso particular, pero ya desde CENS = 8 c€/kWh se alcanzan SF de prácticamente 100%, es decir, el sistema de generación sigue haciendo frente a la gran mayoría de la demanda incluso permitiendo incluir medidas de gestión de la demanda desde niveles de coste bajos.

Mix 100% renovable

Objetivo: cubrir toda la demanda de energía (no sólo eléctrica)

Por último, vamos a mostrar un ejemplo de cómo sería posible satisfacer con renovables no sólo toda la demanda de electricidad, sino todas las demandas energéticas de la España peninsular en 2050.

Recordemos que para todo el estudio asumimos una demanda de energía final total en 2050 de 1.525 TWh/año, de la cual 280 TWh/año sería la demanda en forma de electricidad. Por tanto, si además de la demanda eléctrica se tuviesen que atender con electricidad el resto de demandas energéticas, la demanda eléctrica adicional sería de $1.525 - 280 = 1.245$ TWh/año. Para evaluar la energía eléctrica que sería necesario producir para atender todas esas demandas finales, suponemos que estas otras demandas estarían repartidas en un 60% en forma de demanda de calor/frío para los sectores edificación, industria y otros y un 40% para el sector transporte (éste a su vez repartido en un 75% con vehículos eléctricos y 25% con hidrógeno), y suponemos los siguientes rendimientos: 90% para conversión de electricidad en calor útil, 70% para los vehículos eléctricos y 25% para los vehículos de hidrógeno. Por tanto, para atender la demanda de energía final de 1.245 TWh/año, haría falta suministrar 1.862 TWh/año. Ello implica una demanda eléctrica adicional de 1.862 TWh/año para 2050, a añadir a los 280 TWh/año de la demanda eléctrica original, resultando una demanda eléctrica total de 2.142 TWh/año.

A continuación vemos para este ejemplo cómo se repartirían por tecnologías los 851 GW de potencia instalada, los 2.390 GWh de electricidad que se generarían (para cubrir los 2.142 TWh de demanda), el desarrollo potencial respecto al total disponible y el 14,9% del territorio que se ocuparía.

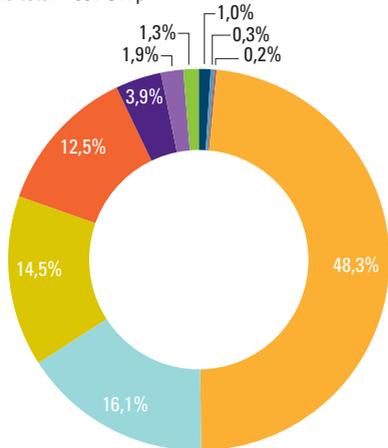
4.2

Composición, capacidad de generación y ocupación del territorio de un mix con 851 GW_p de potencia nominal instalada.

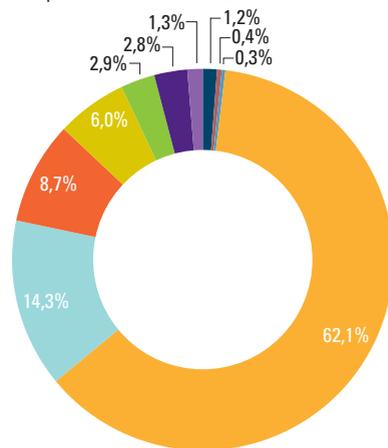
	Potencia (GW _p)	Generación (TW.h/año)	Desarrollo potencial (%)	Ocupación territorio (%)
Hidroeléctrica (P >10 MW)	16,6	30,7	100	-
Minihidráulica (P < 10 MW)	2,2	6,9	100	-
Eólica terrestre	137,3	342,8	15	8,50
Eólica marina	33,0	66,8	20	-
Fotovoltaica integrada	123,6	142,3	25	-
Fotovoltaica azimutal	106,3	207,3	15	1,32
Biomasa total	11,0	69,1	-	3,05
Biomasa residual y biogás	8,25	50,9	100	-
Cultivos energéticos	1,61	10,6	30	1,90
Cultivos forestales de rotación rápida	1,16	7,6	20	1,15
Monte bajo	0,0	0,0	0	0,00
Solar termoeléctrica	410,8	1.484,6	15	1,99
Olas	8,4	29,6	10	-
Geotérmica roca seca	1,49	9,8	50	0,00
TOTAL renovables	850,7	2.389,7	-	14,9

Reparto porcentual de potencias y capacidad de generación de las distintas tecnologías consideradas en un mix con 851 GW_p de potencia nominal instalada.

Potencia total = 851 GW_p



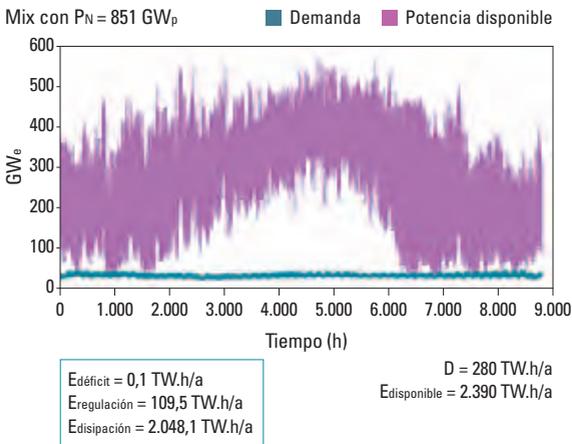
Generación potencial = 2.390 TW.h/a



4.2

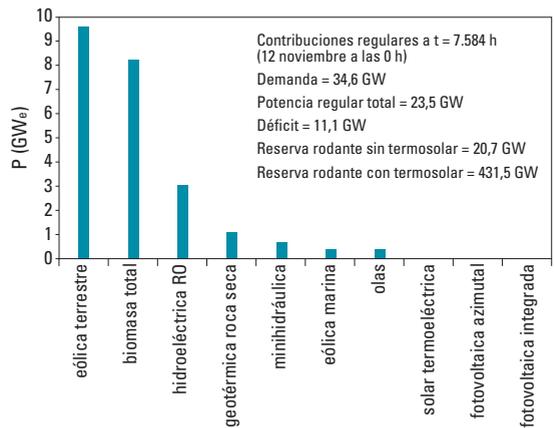
También vemos cómo varía a lo largo del año la generación de electricidad en comparación con la demanda eléctrica original.

Evolución de la capacidad de generación horaria anual junto a la de la demanda peninsular, para un mix con 851 GWp de potencia nominal instalada.



Vemos que, frente a una demanda eléctrica original anual de 280 TWh, estarían disponibles un total de 2.390 TWh. Los pequeños déficit de potencia a lo largo del año suman 0,1 TWh, que pueden ser atendidos perfectamente con gestión de la demanda, o mediante sistemas de almacenamiento energético o con los 110 TWh disponibles en centrales que pueden regular su producción. Una vez atendida toda la demanda eléctrica original, a este mix le sobran 2.048 TWh para poder atender sin problemas los 1.862 TWh de demanda eléctrica adicional. Incluso en el instante más crítico del año habría reservas suficientes para atender la demanda, como vemos en la gráfica:

Contribución de las distintas tecnologías de un mix con 851 GWp a la cobertura de la demanda en $t = 7.584 \text{ h}$ (12 noviembre a las 0 h), el instante de máximo déficit de potencia.



Este ejemplo, sin embargo, no ha sido optimizado como los anteriores que hemos visto, por lo que no significa que haga falta necesariamente toda esa potencia renovable para atender la demanda total, sino que demuestra una de las maneras posibles de hacerlo. Tampoco quiere decir que la mejor manera de atender la demanda total sea produciendo electricidad en todos los casos, sino que con la producción de electricidad 100% renovable se podría hacer.

4.3

4.3. Cobertura de la demanda: conclusiones

Como hemos visto, se pueden realizar múltiples combinaciones de sistemas de generación renovables para cubrir completamente a lo largo del año la demanda de electricidad, e incluso la de energía total, teniendo en cuenta que:

- Una importante característica del mix de generación renovable es la diversidad tecnológica, gracias a la cual el recurso energético disponible se hace muy regular en el tiempo. Si bien existe potencial renovable suficiente para configurar fácilmente un mix que cubra la demanda, incluso en los instantes críticos (puntas de calefacción), empleando unas pocas tecnologías, **dotar de una mayor diversidad tecnológica al mix de generación permite reducir la potencia total a instalar y aumentar la seguridad de suministro.** Estos objetivos también se pueden alcanzar usando la capacidad de regulación de tecnologías como la hidroeléctrica, biomasa y geotérmica.
- Además, habría que hacer todo lo posible para **impulsar el despegue de la tecnología termosolar, por sus ventajas únicas:** elevado potencial, disponibilidad de potencia para puntas de demanda (en hibridación con biomasa), capacidad de acumulación energética diaria, generación de actividad económica en nuestro país, liderazgo industrial español, utilidad en regiones clave del mundo y contribución al desarrollo sostenible.
- Debido a que un mix que cubra el 100% de la demanda eléctrica y garantice la seguridad de suministro con energías renovables conlleva la necesidad de disipar una gran cantidad de energía, sería **conveniente integrar el sistema energético total para cubrir toda o parte del resto de demandas energéticas, mediante la electricidad excedente del sistema eléctrico renovable.**

CAMBIOS DE PARADIGMA NECESARIOS PARA PLANTEARSE UN SISTEMA RENOVABLE

El informe plantea distintos “cambios de paradigma” necesarios para poder romper algunas barreras que impiden hoy siquiera pensar en un sistema completamente renovable:

■ Las tecnologías renovables como elemento principal del sistema eléctrico

- Para que las tecnologías renovables pasen de ser un apéndice del sistema eléctrico a ser consideradas como elementos principales, tendrán que pasar de operarse en “modo de máxima potencia” (siempre que la central está disponible ha de inyectar en la red la electricidad que produce) a hacerlo en “modo de regulación” (las centrales deben de funcionar según la demanda eléctrica lo requiera).

■ El papel a desempeñar por la electricidad y la gestión de la demanda

- Para evitar disipar una gran cantidad de la capacidad de generación renovable, se podría aprovechar esa energía para otras demandas energéticas, como las demandas de calor de baja temperatura o los vehículos. Esto proporcionaría una gran “capacidad de acumulación distribuida” (calor acumulado en edificios, depósitos de agua caliente y calefacción, baterías de vehículos...), muy útil para una gestión de la demanda. De esta manera se podría acelerar la conversión hacia la sostenibilidad de los sectores edificación y transporte, junto al uso de otras opciones renovables no eléctricas.

- La gestión de la demanda debería buscar desplazar el consumo hacia las horas centrales del día (al revés que ahora), que es cuando hay más producción en las centrales solares.

- Un sistema renovable integrado permitiría cubrir con renovables, además de la demanda de electricidad, una gran parte (incluso el 100%) de la demanda energética de los sectores edificación y transporte, de forma más económica que haciendo las dos cosas por separado (utilizar unas tecnologías renovables sólo para generar electricidad y otras tecnologías renovables sólo para las demandas no eléctricas). Esto podría abrir una puerta para conseguir reconducir a esos otros sectores hacia la sostenibilidad en el corto plazo de tiempo disponible, si bien esta no sería la única manera de hacerlo y, desde luego, en el proceso de transición habría que apoyarse en otras opciones renovables no eléctricas para cubrir la demanda de esos sectores.

¿CUÁNTAS CENTRALES RENOVABLES SERÍAN NECESARIAS Y CÓMO DEBERÍAN DE UTILIZARSE, CON EL MÍNIMO COSTE?

Una vez hemos visto que es posible satisfacer completamente la demanda mediante energías renovables, y que existen múltiples combinaciones para lograrlo, a continuación presentamos los principales resultados y conclusiones de cada una de las etapas del estudio dirigidas a responder a las cuestiones de cuánta potencia renovable sería necesario instalar y cuál sería el modo de operar el parque generador, para lograr cubrir la demanda con renovables al mínimo coste. En primer lugar, presentamos conclusiones relacionadas con la potencia necesaria a instalar: análisis del múltiplo solar y análisis de la capacidad de acumulación. Por último, presentamos conclusiones relacionadas, además de con la combinación de tecnologías a instalar, con la forma de operar el parque generador para obtener el mínimo coste: análisis del sistema de generación eléctrica y análisis del coste de la energía no suministrada.

Necesidad de potencia instalada (análisis del múltiplo solar)

Podemos ajustar la potencia que sea necesario instalar para cubrir completamente la demanda con renovables, teniendo en cuenta que:

- La **dispersión geográfica y diversidad tecnológica** en el sistema peninsular permiten lograr mayores coberturas con renovables (SF) y menores costes (LEC³) para cada nivel de potencia instalada (SM) en relación a lo que se consigue en un sistema autónomo unifamiliar, de forma que lo que en el sistema peninsular se consigue con un

parque generador de $SM = 2$, requiere emplear en un sistema autónomo $SM > 30$.

- Según aumenta la potencia renovable instalada, la parte de la demanda no cubierta por las renovables resulta más crítica en términos de potencia que de energía, es decir, el problema no está en disponer de energía suficiente sino en poderla suministrar justo en los momentos en que la demanda sea elevada. La solución más adecuada sería cubrir esos déficits con una buena gestión de la demanda, o en su defecto utilizar centrales que pueden regular su producción, como las instalaciones termosolares con biomasa o las centrales hidroeléctricas y geotérmicas, o con una pequeña capacidad de almacenamiento.
- En un sistema con alto porcentaje renovable **el uso más apropiado de la biomasa sería en hibridación de centrales termosolares.**
- A partir de $SM = 2,5$ la potencia que no se utilizará a lo largo del año es del orden de la potencia eléctrica demandada, lo que obligaría a desaprovechar una gran cantidad de energía. Esto supone que, a partir de esos valores de SM, el coste de la electricidad suministrada resulta mayor que el que resultaría si, con un mismo mix de generación, se aprovechara la electricidad excedente, y esa diferencia crece según aumenta el SM. Por tanto, los mix con SM por encima de 2,5 serían más apropiados en el marco de sistemas energéticos integrados, en los que el gran excedente de capacidad de generación respecto a la demanda eléctrica se pueda dedicar a atender otras demandas energéticas.

[3] LEC: coste normalizado de la electricidad (ver documento Renovables 100%. Comparativa de costes).

- Puede entenderse el coste de regular con un parque generador dado para ajustarse a la demanda como la diferencia entre el coste de la electricidad en ese mix y el mínimo que se tendría si se aprovechara toda la electricidad producida. Por ejemplo, esa diferencia de costes es de tan sólo 0,53 c€/kWh en un mix con SM = 2, pero asciende a 29,13 c€/kWh en un mix con SM = 15.

Análisis de la capacidad de acumulación

Se necesita muy poca capacidad de acumulación de energía, o incluso ninguna, para gestionar adecuadamente el sistema, teniendo en cuenta que:

- Para que la capacidad de almacenamiento permita cubrir totalmente la demanda, el desempeño total del sistema de generación debe permitir que haya más energía excedentaria disponible (disipación) que la que se necesita (déficit) en total anual. **Cuanto más equilibradas a lo largo del año estén la disipación y el déficit, menos acumulación se necesitará.**
- **A partir de SM = 2,5, resulta más rentable para cubrir la demanda usar la capacidad de almacenamiento que seguir aumentando la potencia instalada.** Pero será todavía más económico aprovechar la potencia disponible en las centrales termosolares en hibridación con biomasa, y más económico aún gestionar las escasas puntas de déficit con gestión de la demanda.
- Para cubrir el 100% de la demanda con mix de SM superior a 2,5 **las bajas capacidades de almacenamiento requeridas están disponibles con una gestión adecuada de los recursos hidroeléctricos y de bombeo ya existentes.**

- **El valor económico óptimo de la capacidad de acumulación (0,15 TWh) corresponde a unas cuatro horas de autonomía** frente a la demanda eléctrica media.

Análisis del sistema de generación eléctrica

El análisis de la combinación óptima de tecnologías de generación a instalar y de cuáles de ellas conviene utilizar en cada momento para atender la demanda permite optimizar el coste de la generación de electricidad en un sistema completamente renovable, teniendo en cuenta que:

- Los mix obtenidos al **incorporar el coste en ciclo de vida** (como resultado de la optimización del problema acoplado de qué centrales instalar y cuáles operar) tienen una **diversidad tecnológica considerable, no estando dominados por ninguna tecnología.**
- El **bombeo hidroeléctrico** se usa con factores de capacidad mucho mayores a los actualmente empleados, si bien no requiere grandes potencias instaladas.
- Una planificación adecuada del desarrollo del mix de generación renovable puede apuntar en una dirección bien distinta de la que nos llevaría la situación actual del mercado. La ausencia de esta planificación nos conducirá a la realización de inversiones no óptimas, y por tanto a un mayor coste de la electricidad en ciclo de vida, al quedar éste condicionado por las inversiones realizadas. Por tanto, **para alcanzar un mix 100% renovable económicamente óptimo, es necesaria una adecuada planificación**, pues de lo contrario se desarrollarán al máximo las renovables más económicas en el momento actual y no se logrará desplazar a las energías sucias completamente.

- Los mix optimizados hacen un **uso extenso de la hibridación con biomasa de las centrales termosolares**, que pasan a tener disponibilidad continua de generación, desempeñando el mismo papel que tendría una central termoeléctrica convencional.
- El **coste marginal de la electricidad**, para mix optimizados con hibridación solar-biomasa, se mantiene acotado durante prácticamente todo el año **por debajo de 2,4 c€/kWh**. Sólo existe del orden de una hora al año en la que el coste marginal se dispara a valores mucho más elevados.
- A la hora de tratar con mix de generación con gran contribución de tecnologías renovables se han constatado las limitaciones existentes en las herramientas convencionales para los análisis de red. **Se requiere un desarrollo técnico-científico importante para adaptar las herramientas de análisis a la nueva situación**, lo cual debería abordarse de forma absolutamente prioritaria.
- **La capacidad de gestionar correctamente un mix de generación 100% renovable, incluso con la red de transporte actual, no parece representar una barrera tecnológica significativa.** Cualitativamente, los resultados obtenidos relativos a la gestión de la capacidad de generación, al potencial disponible y a su homogéneo reparto peninsular, hacen pensar que se podría operar el sistema 100% renovable, aunque ello requerirá probablemente adaptaciones importantes tanto de la red como de la forma de operarla en la actualidad. La red de transporte eléctrico es un medio y no un fin, y se debe adaptar a los requerimientos de un sistema de generación renovable.

Análisis del coste de la energía no suministrada (CENS)

Podemos optimizar aún más el coste de generación de electricidad en un sistema renovable gracias a la gestión de la demanda, teniendo en cuenta que:

- Desde el punto de vista económico, **la solución más apropiada sería la combinación de un mix renovable optimizado para un valor razonable del coste de la electricidad no suministrada (CENS), más una apropiada gestión de la demanda**⁴.
- Para no sobredimensionar irreversiblemente una tecnología, hay que tener en cuenta que **la estructura del mix de generación óptimo varía significativamente según el CENS**.
- **Aumentar el valor del CENS no tiene por qué aumentar la potencia instalada y la ocupación de territorio**, pues para mix con valores elevados de fracción solar, la tecnología termosolar sustituye a la eólica, reduciendo la necesidad de potencia instalada.
- **No es necesaria una gran potencia de bombeo hidroeléctrico para cubrir los desacoplamientos entre capacidad de generación y demanda** (bastaría un máximo de 2,69 GW de bombeo, con CENS = 8 c€/kWh, respecto a 15 GW que se podrían instalar con la capacidad de embalse existente).

[4] Por ejemplo, un mix optimizado para CENS = 5 c€/kWh, tiene un LEC = 2,24 c€/kWh. (y en ausencia de gestión de la demanda proporcionaría SF = 92%), mientras el mix optimizado para cobertura completa de la demanda (SF = 100%) tiene un LEC = 2,48 c€/kWh (aunque hay una hora al año en que alcanza un coste marginal máximo de 9.883 c€/kWh).

- La optimización resultante de los cálculos realizados es relativa, ya que se basa en proyecciones de costes y tecnologías, y en tan largo plazo la realidad podría ser diferente. Además, los resultados concretos en cuanto a la determinación de los mix “óptimos” serían diferentes según el grado de utilización de la gestión de la demanda. Lo importante es que se ha demostrado que **se pueden desarrollar herramientas para analizar y optimizar los mix de generación eléctrica peninsular basados en renovables y con costes asociados muy favorables** (por debajo de 2,5 c€/kWh_e).
- **La hibridación con biomasa de las centrales termosolares proporciona gran seguridad de suministro y reduce el coste del sistema de generación.** Sin embargo, dada la escasez relativa de la biomasa en nuestro país, debe cuidarse de no usarla con más intensidad de la recomendable.
- Aunque los mix “óptimos” no requieren más que unas pocas tecnologías, **es recomendable emplear una mayor diversidad tecnológica, aunque ello conlleve costes mayores**, para repartir mejor espacialmente la capacidad de generación y resolver mejor hipotéticas congestiones de transporte. Por ejemplo, convendría disponer de suficiente potencia cerca de las zonas de gran demanda.
- **La gestión de la demanda sería la herramienta más económica y apropiada para cubrir los escasos picos de potencia que quedan a lo largo del año.** Sin embargo, como lo que importa es la relación entre la demanda y la capacidad de generación en cada momento, los esquemas de gestión de la demanda podrían ser muy diferentes a los empleados hasta ahora, pues en un mix renovable podría ser más adecuado desplazar la demanda a las horas centrales del día, a pesar de ser cuando se produce la punta de demanda absoluta, ya que la capacidad de generación solar podría hacer que esas horas fuesen “valle” en términos relativos).

CONCLUSIÓN FINAL

Después de analizar en detalle 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, se concluye que:

- **Es viable plantearse un sistema de generación basado al 100% en energías renovables**, tanto para cobertura de la demanda eléctrica como de la demanda de energía total.
- **Los costes totales de la electricidad generada son perfectamente asumibles y muy favorables** respecto a un escenario tendencial.
- **Existen herramientas suficientes para garantizar una cobertura de la demanda** a lo largo de toda la vida útil del sistema de generación.

PROPUESTAS DE GREENPEACE

Para evitar un cambio climático peligroso es necesaria una revolución energética que cambie la forma en que generamos y en que utilizamos la energía. Este informe demuestra que España puede alcanzar un horizonte 100% renovable para su generación de electricidad, e incluso es posible plantearse un objetivo tan ambicioso para atender todas las necesidades energéticas. "Renovables 100%" es económica y técnicamente viable, y proporciona la única opción seria de cambiar el modelo energético por uno que permita a la humanidad sobrevivir al cambio climático sin provocar o acrecentar otros graves problemas ambientales y sociales. España puede y debe asumir el liderazgo de esa revolución energética. Lo que hace falta es voluntad política para hacerlo. Lo mínimo que hay que exigir a un Estado responsable es que analice con seriedad y detalle la opción renovable 100% y la incorpore en sus objetivos de planificación energética. Por eso, Greenpeace pide al Gobierno español:

- Establecer **objetivos de obligatorio cumplimiento de planificación energética** de medio y largo plazo, concretamente los siguientes:
 - Eficiencia energética: reducción de la demanda de energía primaria en un 20% en 2020 respecto a la actual.
 - Contribución de las renovables a la energía primaria: 30% en 2020, 80% en 2050.
 - **Contribución de las renovables a la generación de electricidad: 50% en 2020, 100% en 2050.**
 - Contribución de las renovables a la climatización de edificios: 80% en 2050.

- Adoptar **objetivos de reducción de emisiones de CO₂** con los que contribuir a una reducción de las emisiones en la UE respecto a 1990 del 30% en 2020 y del 80% en 2050.
- Reforzar el sistema de primas, mediante una **Ley de energías renovables**, para asegurar el cumplimiento de los objetivos y un retorno definido y estable a las inversiones, que deben ser más atractivas que las inversiones en energía sucia.
- **Acabar con las distorsiones de mercado** que perjudican a las energías renovables. Poner fin a todas las subvenciones, directas e indirectas, a los combustibles fósiles y a la energía nuclear, e internalizar todos sus costes externos sociales y ambientales, asegurando que el precio de la energía final refleje todos los costes según la fuente de energía utilizada. Contaminar tiene que salir caro.
- **Reformar el mercado eléctrico**, eliminando las barreras a las renovables, mediante:
 - Procesos administrativos y de autorización simplificados, coordinados y uniformes en todo el territorio para los proyectos renovables.
 - Acceso prioritario a la red garantizado para los generadores renovables, eliminando toda discriminación en las tarifas de acceso.
 - Reparto de los costes de modificación y extensión de la red entre todos los consumidores.
 - Separación completa de actividades entre empresas generadoras y distribuidoras, no permitiendo su pertenencia a un mismo grupo empresarial.

· Derecho de todos los consumidores a elegir el origen de la energía que consumen, estableciendo un sistema oficial de etiquetado eléctrico y garantía del origen de toda la electricidad, que asegure que todas las empresas comercializadoras de electricidad queden obligadas a informar en las facturas, con un formato uniforme, sobre las fuentes de energía empleadas y su impacto ambiental.

- Adaptar el **diseño de las redes** eléctricas y de gaseoductos, así como las herramientas y normativas para su gestión, para facilitar la puesta en práctica de un sistema 100% renovable.
- Utilizar la **gestión de la demanda** para lograr un sistema 100% renovable al mínimo coste posible.
- Acabar con el derroche de energía, imponiendo **niveles obligatorios de eficiencia** para el consumo energético de todos los electrodomésticos, edificios y vehículos.
- **Continuar la investigación** iniciada por Greenpeace para analizar la viabilidad técnica de un sistema eléctrico 100% renovable, dotando los recursos económicos necesarios para desarrollar las herramientas que permitan realizar los análisis.



PROYECTO REVOLUCIÓN ENERGÉTICA

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” donde 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.**





GREENPEACE