



CIUDADANÍA Y VALORES  
FUNDACIÓN

DOCUMENTO PARA EL DEBATE:

ESTRATEGIAS PARA LOS OBJETIVOS DE  
ENERGÍA LIMPIA

***Francisco Laverón***

Responsable de Coordinación y Estudios de la  
Dirección de Regulación de IBERDROLA

Madrid, 6 de octubre de 2011

## Indice

1. Resumen y conclusiones .....	3
2. Soluciones a los retos del modelo energético por el lado de la demanda y de la oferta .....	6
2.1. Principios y objetivos básicos del modelo energético.....	11
3. Opciones de oferta: análisis desde la óptica española .....	13
3.1. Análisis por tecnología.....	13
3.1.1. Energías renovables .....	13
3.1.2. Nuclear.....	18
3.1.3. Captura y Almacenamiento de CO <sub>2</sub> .....	19
3.1.4. Resumen .....	21
4. Reflexiones estratégicas para las energías limpias en España.....	22
4.1. El desarrollo renovable.....	22
4.2. Nuclear.....	29
4.3. Captura y Almacenamiento de CO <sub>2</sub> .....	30
4.4. El papel de las infraestructuras .....	30
4.5. Cuestiones de carácter horizontal.....	32
4.5.1. Electrificación.....	32
4.5.2. Principios de buena regulación.....	33
4.5.3. Fiscalidad ambiental .....	34
4.5.4. Reparto del coste de apoyo a las energías renovables .....	36
Referencias bibliográficas.....	37

# ESTRATEGIAS PARA LOS OBJETIVOS DE ENERGÍA LIMPIA

Francisco Laverón, IBERDROLA

## 1. Resumen y conclusiones

### Retos del modelo energético y opciones disponibles

- El modelo energético global se enfrenta a retos económicos, ambientales y en términos de seguridad. El crecimiento sostenido de la demanda mundial y de los precios de las materias primas energéticas, la elevada dependencia exterior de los grandes países consumidores y su creciente vulnerabilidad, y el elevado impacto ambiental derivado de las pautas de producción y consumo de energía son algunos de los más importantes.
- Ante esta situación, se plantean dos grandes bloques de medidas: de demanda y de oferta. Las primeras, encaminadas a mejorar la eficiencia energética y el ahorro. Las segundas, suponen la creciente implantación de tecnologías que permitan la *descarbonización* del mix energético (es decir, producir energía sin emitir CO<sub>2</sub>), menos dependientes de combustibles fósiles, siendo las más factibles y económicas, las actuaciones encaminadas a fomentar las energías renovables, la energía nuclear y la captura y almacenamiento de CO<sub>2</sub> (comúnmente se hace referencia a CCS, en sus siglas en inglés).
- Centrando el análisis en las opciones de oferta, uno de los principales bloques lo constituyen las energías renovables, que presentan importantes diferencias tecnológicas y de costes:
  - Eólica: tecnología renovable madura con unos costes próximos al precio medio de mercado.
  - Solar fotovoltaica. Si bien está registrando una fuerte reducción de costes, todavía se encuentra muy lejana de la competitividad.
  - Termosolar. Actualmente con costes muy elevados (mayores que la fotovoltaica) y pocas perspectivas de reducción significativas. La hibridación con gas natural le confiere mayor garantía de suministro que a la eólica o a la fotovoltaica, pero con mayores costes de inversión y un rendimiento muy inferior y emisiones de CO<sub>2</sub> muy superiores al de un ciclo combinado de gas.

- La energía nuclear está sujeta hoy a mayores incertidumbres, no solo por el apoyo social, sino por la presión sobre sus costes que pueden suponer unos estándares de diseño y operación que serán cada vez más exigentes.
- Por su parte, el CCS sigue en fase de investigación, desarrollo y demostración y presenta importantes incógnitas, no solo de cuándo tendremos una tecnología comercialmente disponible, sino a qué coste.
- El cumplimiento de los objetivos de reducción de emisiones de forma compatible con la competitividad y la garantía del suministro requiere contar también con infraestructuras de redes, en transporte y distribución, más robustas y efectivas.

### **Reflexiones estratégicas en el caso español**

- En el sector energético y, en particular, en el eléctrico, se requieren grandes inversiones que aseguren un suministro competitivo y seguro, cumpliendo a su vez con los requisitos ambientales cada vez más ambiciosos. Para hacer posible todo ello, se requiere un marco regulatorio predecible y transparente, que sirva de señal de inversión y comportamiento a los agentes, y que esté basado en los principios de la buena regulación.
- Otro elemento transversal de vital importancia para alcanzar los objetivos de sostenibilidad, especialmente en los sectores difusos (transporte, edificación,...), es la fiscalidad ambiental. A través de los instrumentos fiscales se debería avanzar en la internalización del coste ambiental derivado de la actividad de estos sectores.
- Las energías renovables son una de las principales opciones para avanzar en la sostenibilidad del sector energético español. Sin embargo, los retos en materia de competitividad aconsejan limitarse a cumplir el objetivo del 20% de energía final renovable en 2020, apostando fundamentalmente por las tecnologías más maduras y menos costosas. Junto a esto, las políticas orientadas a fomentar las energías renovables deberán adaptar objetivos y marcos de apoyo al estado de desarrollo y problemática de cada tecnología.
- El nuevo paradigma caracterizado por una implantación creciente de renovables hará necesario incrementar las inversiones en infraestructuras y plantear nuevas fórmulas regulatorias para su financiación; entre las principales medidas que se deberían abordar en este ámbito destacan las siguientes:
  - Incrementar las interconexiones con el resto de Europa. En particular, promover la ampliación de la interconexión con Francia para lograr el objetivo de que la interconexión sea al menos de un 10% de la capacidad en 2020, cumpliendo el mandato del Consejo Europeo de 2002.

- Realizar mayores inversiones en redes de transporte y distribución, que tendrán que asumir una cantidad creciente de flujos de energía variables y más difíciles de prever, con el objetivo de mantener la robustez del conjunto del sistema eléctrico
- Repartir el coste del cumplimiento de objetivos energéticos globales (es decir, el 20% sobre el consumo total de energía final) asignados mayoritariamente a un solo sector (al sector eléctrico se le asigna un objetivo mayor, de cerca del 40%, para compensar la menor producción renovable en otros sectores energéticos), ya sea con recargos sobre el conjunto de productos energéticos o el establecimiento de una partida en los Presupuestos Generales del Estado.
- Dos opciones muy importantes a tener en cuenta dentro del análisis estratégico son la energía nuclear y la captura y almacenamiento de CO<sub>2</sub>.
- En relación a la energía nuclear, se hace necesario más que nunca un debate público riguroso, explicando sus pros y sus contras. La urgencia de esta medida es máxima ya que las inversiones a realizar para la ampliación de la vida de las centrales existentes o para la construcción de nuevas plantas se deben planificar con 10-15 años de anticipación.
- En cuanto a la captura y almacenamiento de CO<sub>2</sub>, será necesario realizar un seguimiento detallado del desarrollo de las diversas alternativas aplicadas a la generación, actualmente en fase de I+D y demostración.

## **2. Soluciones a los retos del modelo energético por el lado de la demanda y de la oferta**

Las tendencias que caracterizan el modelo energético global ponen de manifiesto su insostenibilidad económica y ambiental y su vulnerabilidad en términos de seguridad energética; entre los elementos más destacables que analizamos con mayor detalle a continuación, aparecen: el crecimiento sostenido de la demanda de energía mundial y de los precios de las materias primas energéticas; la elevada dependencia exterior de los grandes países consumidores de energía y su creciente vulnerabilidad; y el elevado impacto ambiental derivado de las pautas de producción y consumo de energía, que incrementan las emisiones globales de gases de efecto invernadero que se aleja de la senda que permitiría limitar el incremento de la temperatura global a los 2 °C.

En este marco, la estrategia que se adopte en materia de políticas energéticas y ambientales permitirá situarse en uno u otro escenario energético, con consecuencias muy distintas. Los análisis de la Agencia Internacional de la Energía (AIE) resultan de gran utilidad para abordar el diagnóstico del modelo energético global, así como para vislumbrar las potenciales vías de solución. Así, presenta tres escenarios: *Current Policies* (incluye exclusivamente las políticas adoptadas hasta 2010) muestra el mayor nivel previsto de precios, *New Policies* (escenario central) tiene en cuenta todos los compromisos políticos asumidos en el horizonte 2020 (por ejemplo, los objetivos europeos 20/20/20) y, por último, el escenario *450 ppm*<sup>1</sup> (contempla importantes medidas adicionales para limitar el incremento de la temperatura a 2 °C). (1)

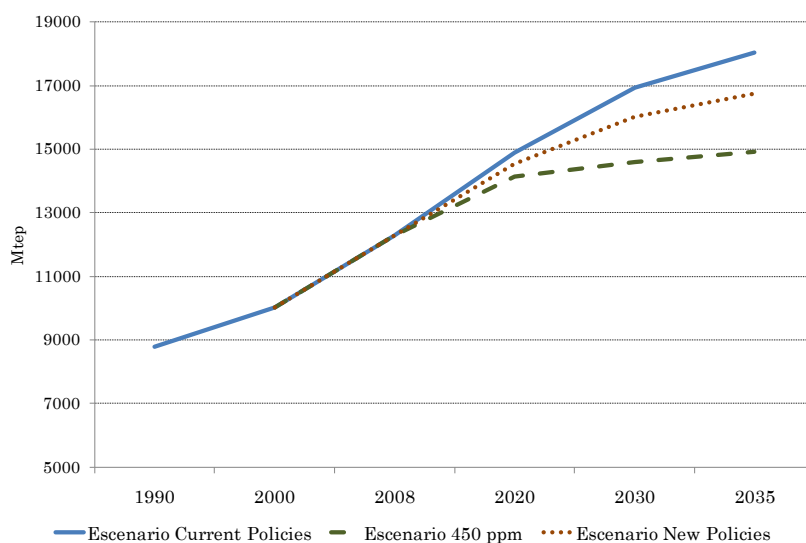
### **Aumento de la demanda y su estructura**

Uno de los primeros elementos que caracterizan el sector energético global es la continua tendencia creciente del consumo. La evolución prevista de la demanda global de energía primaria muestra un importante crecimiento, que se modulará en función del escenario considerado. Como se muestra en la Figura 1, en el escenario *Current Policies*, la demanda experimenta un crecimiento promedio interanual del 1,4% en el periodo 2008-2035. Dicho crecimiento se reduce hasta el 1,2% en el escenario *New Policies*. Incluso en el escenario *450 ppm* la demanda de energía registrará un crecimiento importante, del 0,7% anual.

---

<sup>1</sup> Hace referencia a la concentración de gases de efecto invernadero medida en partes por millón.

Figura 1. Evolución prevista de la demanda mundial de energía primaria



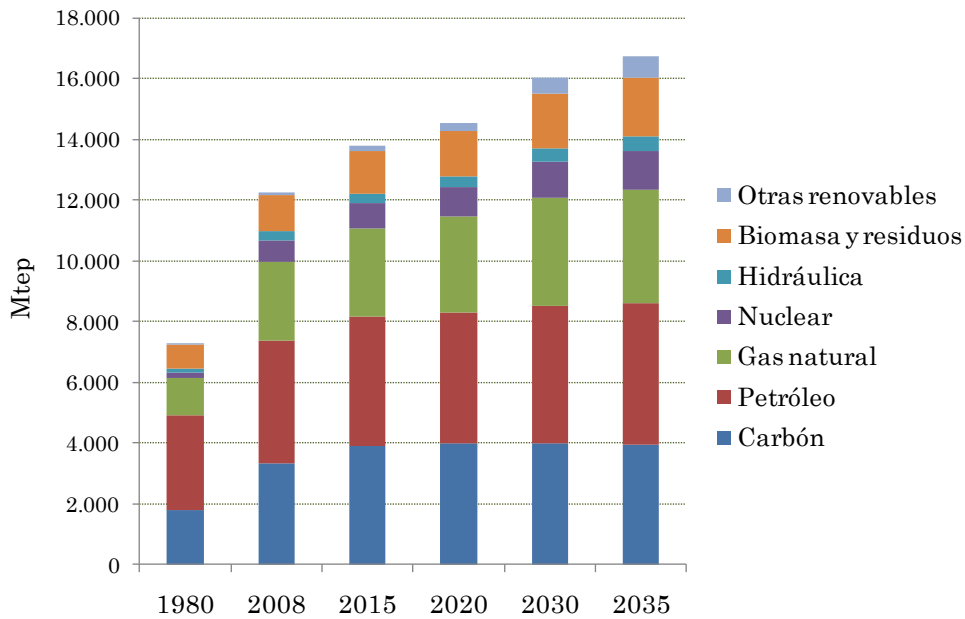
Fuente: World Energy Outlook 2010. Agencia Internacional de la Energía.

La evolución de la demanda global de energía presenta importantes diferencias geográficas. En términos generales, se prevé que continúe la senda de elevado incremento del consumo energético que han registrado los países emergentes en las últimas décadas como resultado de las elevadas tasas de crecimiento de su población, de su actividad económica y, particularmente, de su actividad industrial, y por los intensos procesos de urbanización. El país que más contribuirá al impulso de la demanda global será China, cuyo consumo de energía primaria en 2035 será un 75% superior al de 2008. En el escenario *New Policies* el crecimiento energético del conjunto de países no incluidos en la OCDE será del 64% entre 2008 y 2035, muy superior al ligero incremento que experimentarán los países de la OCDE, que apenas alcanzará el 3% en ese mismo periodo.

La Figura 2 indica que los combustibles fósiles continuarán cubriendo el grueso del consumo de energía primaria global, tal y como ocurre en la actualidad, si bien su peso disminuirá bajo el escenario central del 81% en la actualidad al 74% en 2035. El petróleo y el carbón irán perdiendo peso de forma progresiva en el mix global, lugar que irá siendo ocupado por el gas natural.

Un fenómeno de vital importancia para la reducción de la dependencia de los combustibles fósiles es el incremento del peso de las energías renovables en la cobertura de la demanda de energía final.

Figura 2. Evolución de la demanda global de energía primaria por tipo de energía en el escenario New Policies



Fuente: World Energy Outlook 2010. Agencia Internacional de la Energía.

Otra conclusión interesante a la que llegan la mayoría de los análisis prospectivos es la tendencia hacia la progresiva electrificación de la economía, puesta de manifiesto muy claramente en el escenario *New Policies*, que considera un crecimiento de la demanda de electricidad del 75% para el conjunto del periodo 2008-2035, frente a un incremento del 37% en la demanda global de energía. Junto a esto, el sector eléctrico avanzará hacia un mix de producción menos intensivo en emisiones de CO<sub>2</sub>, donde las energías renovables, la nuclear y el gas natural jugarán un papel determinante. La generación eléctrica a partir de estas tres tecnologías crecerá anualmente al 8,1%, 2,2%, y 1,6% en el periodo 2008-2035.<sup>2</sup>

<sup>2</sup> Este análisis fue realizado antes del accidente nuclear en Fukushima, que podrá tener repercusiones significativas en los ejercicios de previsión del mix de generación eléctrica en el medio plazo.

Figura 3 Evolución del consumo de energía final por tipo de energía en el escenario *New Policies*

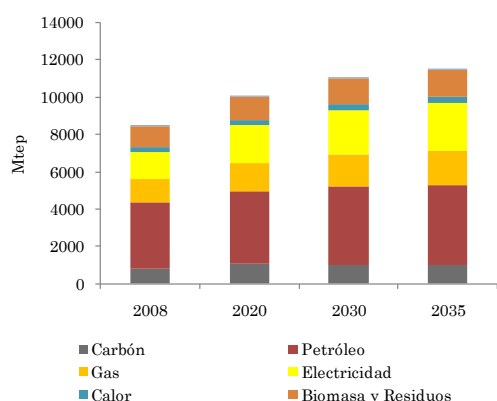
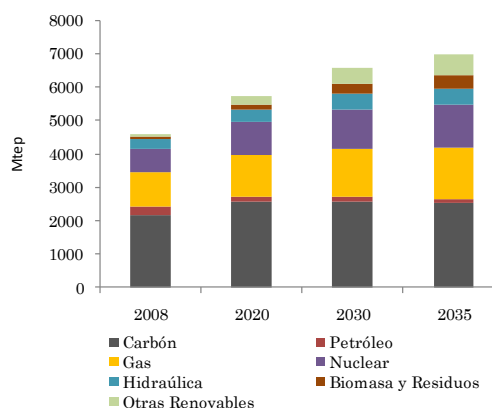


Figura 4 Evolución de generación eléctrica en el escenario *New Policies*.

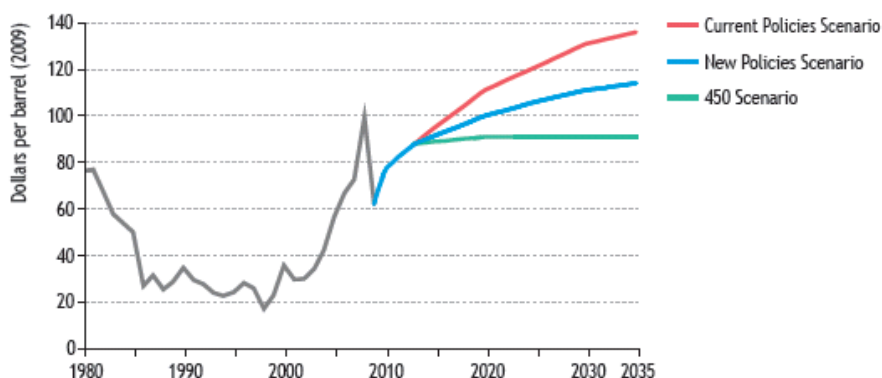


Fuente: World Energy Outlook 2010. Agencia Internacional de la Energía.

### Incremento de precios

Las amenazas a la competitividad de la economía mundial, especialmente para aquellas economías muy intensivas en energía, provendrán de los crecimientos de los precios de las materias primas energéticas, tendencia que se observa en todos los escenarios. No obstante, la aplicación de políticas ambientales y energéticas que reduzcan la dependencia de la economía global de los combustibles fósiles mitigará la senda alcista de precios, tal y como se observa para los precios del petróleo en la Figura 5, en la que los escenarios con objetivos ambientales más ambiciosos (por ejemplo, objetivos de reducción de emisiones, incremento de participación de tecnologías con bajas emisiones de CO<sub>2</sub>,...) registran un menor ascenso de los precios del petróleo, derivado de la menor demanda.

Figura 5 Evolución prevista de los precios del petróleo (dólares por barril).



Fuente: World Energy Outlook 2010. AIE.

## Seguridad de suministro

A la vulnerabilidad económica resultante del incremento de precios energéticos se unirán los riesgos en términos de seguridad de suministro, procedentes de la creciente dependencia exterior de los principales países consumidores, en un contexto en el que las reservas de combustibles fósiles tienden a concentrarse en áreas geográficas con creciente inestabilidad política.

Esta cuestión es especialmente importante en el marco europeo, con una dependencia exterior creciente que alcanza ya el 50%, y se agrava en el caso español, que cubre el 80% de sus necesidades energéticas con importaciones.

## Emisiones de CO<sub>2</sub>

Por el lado de la sostenibilidad ambiental, la evolución del consumo energético del escenario de referencia (*Current Policies*) implica un incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero del 45% durante el periodo 2008-2035, alejándose mucho de la reducción necesaria para limitar el incremento de la temperatura global a 2 °C (del 25% para ese mismo periodo).

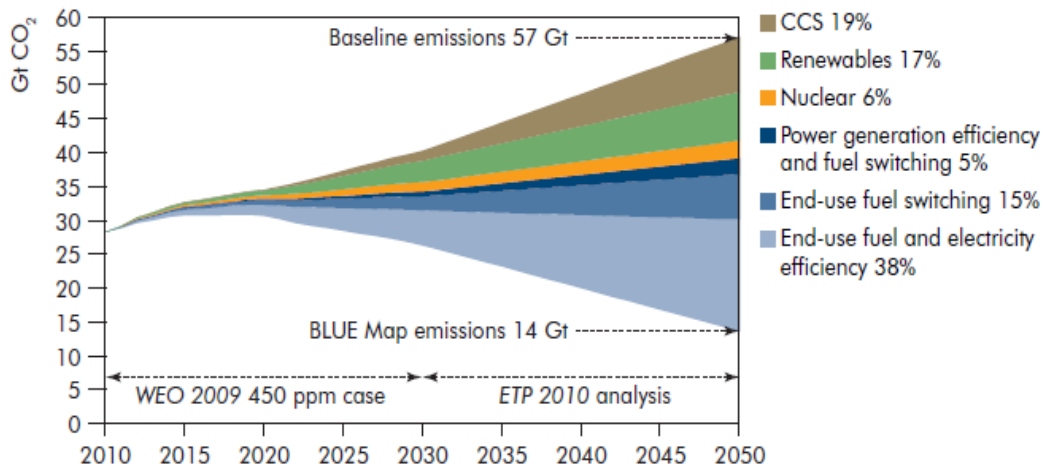
Es habitual que los objetivos de reducción de emisiones de GEI a nivel global y la senda prevista asociada a los diversos escenarios se constituyan como el marco de referencia para sintetizar el análisis las soluciones eficientes frente a los retos del modelo energético, que más allá de la reducción de emisiones también permiten mitigar la dependencia de combustibles fósiles.

Se plantean así dos grandes bloques de medidas: de demanda y de oferta. Las primeras consisten, en general, en actuaciones encaminadas a mejorar la eficiencia energética y el ahorro, y se desarrollan habitualmente en los usos finales –reduciendo el consumo energético en iluminación, calefacción y refrigeración, desplazamientos, etc. Las medidas de oferta suponen la creciente implantación de tecnologías menos dependientes de combustibles fósiles, que permitan la *descarbonización* del mix energético (es decir, producir energía sin emitir CO<sub>2</sub>), considerándose las más factibles y las más económicas, las actuaciones encaminadas a fomentar las energías renovables, la energía nuclear y la captura y almacenamiento de CO<sub>2</sub>.

En la Figura 6, la curva superior presenta la previsión de las toneladas que se emitirán a la atmósfera globalmente si no se cambia el modo de producción y consumo, 57 Gt de CO<sub>2</sub> en el año 2050. La curva inferior presenta las emisiones si se aplicaran las medidas que la Agencia Internacional de la Energía (AIE) propone bajo el escenario *450 ppm*: se emitirían 14 Gt de CO<sub>2</sub> en el año 2050, una reducción del 50% sobre las

emisiones de 2010 y un 75% sobre la alternativa pasiva. Como se aprecia en la parte azul del gráfico, las medidas de mejora de la eficiencia energética y electrificación del consumo final suponen casi el 60% del ahorro de emisiones en el horizonte 2050 (2).

Figura 6. Contribución de cada opción tecnológica a la reducción de emisiones del escenario 450 ppm.



Fuente: Energy Technology Perspectives 2010. AIE.

Tras el análisis del contexto global, este documento se centra en el ámbito de la oferta. En particular, en el bloque de tecnologías limpias que contribuyen a hacer frente a los retos del modelo energético. Además, teniendo en cuenta las características técnicas y económicas de las opciones en energías limpias más sostenibles, se hará énfasis en su desarrollo dentro del sector eléctrico.

### 2.1. Principios y objetivos básicos del modelo energético

Tras analizar las tendencias energéticas, las diferentes opciones tecnológicas, y plantear los principales retos a los que tendrá que hacer frente el sector energético, en general, y el eléctrico, en particular, se presentan a continuación los pilares básicos que deben regir la política energética para alcanzar un modelo sostenible en el medio y largo plazos (Figura 7):

- La sostenibilidad ambiental (entendida principalmente como una senda de emisiones de CO<sub>2</sub> compatible con objetivos ambientales).
- La contribución a una economía competitiva y dinámica.
- La seguridad de suministro.

Figura 7. Principios básicos de la política energética



El sector energético es básico de cara al correcto funcionamiento de nuestra sociedad, ya sea como elemento de consumo para el ámbito doméstico o como factor de producción, que puede llegar a representar una de las claves de la competitividad de muchos sectores económicos. En este contexto, una aproximación estratégica deberá realizar una rigurosa labor de predicción de los distintos componentes del sector energético por el lado de la demanda y de la oferta, así como un análisis de las distintas opciones para hacer frente a las necesidades energéticas de forma sostenible, competitiva y segura. (3)

En el caso de España se deberá tener en cuenta las características de su sector energético y de su economía como paso previo al establecimiento de los objetivos del modelo. Podrían destacarse los siguientes:

- *Garantía de suministro.* El correcto funcionamiento de la sociedad requiere un suministro energético garantizado en todo momento.
- *Reducción de emisiones de gases de efecto invernadero.* La necesidad de avanzar en este ámbito, en el que España tiene todavía mucho camino por recorrer, vendrá condicionada por los compromisos actuales en materia de cambio climático así como los que previsiblemente se establecerán en el futuro.
- *Eficiencia económica.* La preservación de la competitividad de la economía hace necesario disponer de un suministro a coste razonable.
- *Reducción de la dependencia exterior.* Este objetivo es de especial importancia debido a la elevada dependencia exterior de la economía española cuyas necesidades energéticas son cubiertas en un 80% con suministros que provienen del exterior, lo que supone una elevada vulnerabilidad en términos de riesgo de precio y garantía de suministro.

- *Contribución al crecimiento de la economía.* Es deseable que el modelo energético tenga un impacto positivo sobre la balanza comercial, así como sobre el desarrollo industrial y la creación de empleo.

### **3. Opciones de oferta: análisis desde la óptica española**

#### **3.1. Análisis por tecnología**

##### **3.1.1. Energías renovables**

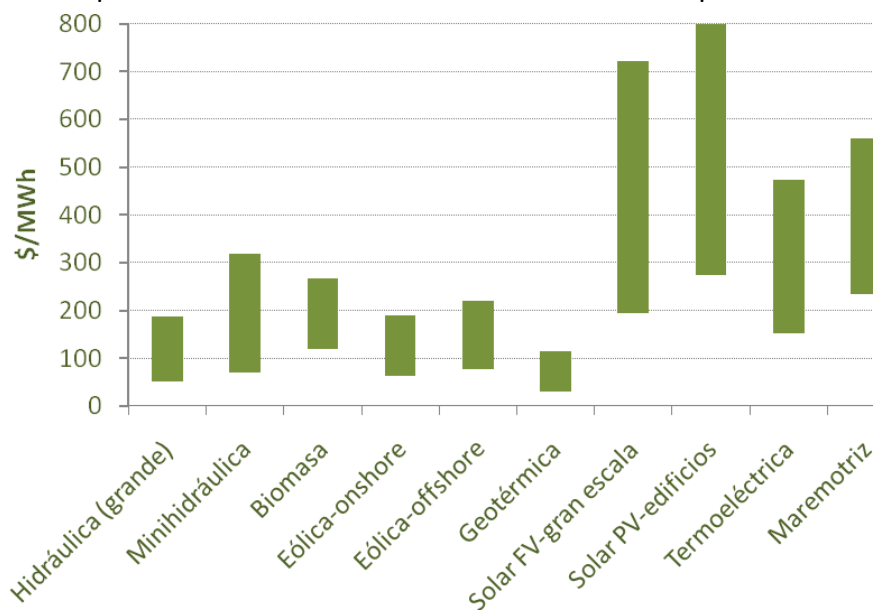
Las distintas energías renovables presentan importantes diferencias tecnológicas y de costes, por lo que el análisis de su papel en el modelo energético y su potencial futuro debe realizarse de forma individualizada, atendiendo a tres vertientes: la sostenibilidad ambiental, la eficiencia económica y la garantía de suministro.

Las diferencias entre las distintas tecnologías renovables en cuanto a grado de madurez tecnológica y comercial se ponen de manifiesto en el análisis de costes de generación que realiza la AIE en el *World Energy Outlook* de 2010<sup>3</sup> (Figura 8). Las tecnologías solares muestran para el periodo considerado una franja de costes superiores a la tecnología eólica. En el caso de la eólica terrestre presenta un rango de costes que va de los 63 \$/MWh a los 126 \$/MWh, cifra muy inferior a la franja de 195 \$/MWh – 527 \$/MWh, en la que se sitúa la solar fotovoltaica a gran escala.

---

<sup>3</sup> Si bien los datos utilizados para elaborar este gráfico provienen del último *World Energy Outlook* disponible, publicado el 9 de noviembre de 2010, la posición en la curva de aprendizaje tecnológico de algunas tecnologías renovables (por ejemplo, la solar fotovoltaica) y la rápida evolución de sus costes hacen que algunas cifras puedan estar algo desfasadas. No obstante, ello no limita su validez de cara a ilustrar las importantes diferencias entre los costes de las tecnologías de origen renovable en el sector eléctrico.

Figura 8. Costes de generación con energías renovables en el sector eléctrico en el periodo 2010-2020 en el escenario de Nuevas políticas.



Fuente: “World Energy Outlook 2010”, Agencia Internacional de la Energía. 2010.

### Hidráulica

La sostenibilidad ambiental de una central hidráulica es muy elevada ya que no emite CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> o azufre. Una central hidráulica aprovecha la energía potencial del agua para convertirla primero en energía mecánica (movimiento de una turbina) y posteriormente en electricidad. La energía hidráulica, independientemente de su tamaño, es una energía renovable gracias al ciclo hidrológico natural. Así se reconoce en la Directiva de la UE de promoción de fuentes renovables (Directiva 28/2009).

Ni las centrales hidráulicas regulables ni las fluyentes son emisoras. Sin embargo, la energía primaria de ambas está sujeta a restricciones naturales (aportaciones hidráulicas y dimensiones de los embalses limitadas), lo que restringe sus horas de funcionamiento anuales. Junto a esto, hay que considerar también limitaciones causadas por los condicionantes ambientales cada vez más exigentes.

Desde el punto de vista económico, es destacable la existencia de costes fijos muy importantes a recuperar en el largo plazo y horas de utilización reducidas. Sin embargo, cuenta con costes de operación y mantenimiento moderados o bajos. Todo ello hace que se encuentre entre las tecnologías renovables con menor coste de producción.

Para completar su análisis económico así como el de su contribución a la garantía de suministro es necesario distinguir entre las distintas opciones de desarrollos dentro de la hidráulica:

- *Regulable*. Con embalse, lo cual aporta una elevada flexibilidad y firmeza<sup>4</sup>. Se sitúan debajo de los embalses destinados a usos hidroeléctricos o a otros fines.
- *Fluyente*. Sin embalse o de tamaño muy limitado, lo que reduce su flexibilidad y firmeza. Una central fluyente capta una parte del caudal del río, lo traslada hacia una central y, una vez utilizado, se devuelve al río.
- *Bombeo*. El bombeo es una tecnología muy flexible y emisora según la energía que consume para bombear. Tiene una elevada firmeza (más del 85% de su capacidad instalada es firme), similar a la de las tecnologías térmicas ya que es un ciclo cerrado, bombeándose agua en horas de demanda valle que luego se turbinan en horas punta para producir electricidad. Su eficiencia es elevada, aproximadamente del 70%, y su dinámica bombeo–turbinado contribuye a aplanar la curva de carga.

En realidad, prácticamente ninguna central es ni regulable ni fluyente pura (todas tienen, en mayor o menor medida, un componente regulable y fluyente). El bombeo, en cambio, sí puede ser puro, aunque no son infrecuentes las hidráulicas regulables mixtas (con capacidad de bombeo al embalse).

Al tratarse de energía autóctona, estas centrales contribuyen a reducir la dependencia energética. Asimismo, por ser inversiones con un componente mayoritariamente nacional (componente de obra civil muy importante), su efecto sobre la balanza de pagos es también positivo.

### **Eólica**

La generación eólica también está libre de emisiones de CO<sub>2</sub> así como de otros gases y partículas contaminantes. Las turbinas eólicas o aerogeneradores transforman la energía cinética del viento en electricidad.

Desde el punto de vista técnico y económico, se trata de una tecnología muy consolidada, sobretodo en la ubicación onshore (en tierra), registrando un menor grado de madurez la eólica offshore (ubicada mar adentro). El recurso es abundante aunque en tierra, a medida que se vayan ocupando los emplazamientos con mayores horas de viento, el sector deberá ir mejorando la capacidad de las palas para captación a bajas velocidades.

---

<sup>4</sup> Cada unidad de producción aporta una determinada firmeza al sistema, es decir, una capacidad de producción mínima probable, que contribuye a cubrir la máxima demanda probable.

A medida que se ha ido desarrollando el mercado, los costes de producción de eólica han mostrado una fuerte reducción, siendo hoy una quinta parte de los de hace 20 años, configurándose en la actualidad como la opción renovable más madura y competitiva. El coste de inversión, según la información que ofrece la AIE en el *WEO 2010*, se sitúa en torno a 1,3 millones de euros por MW.

Su madurez económica y comercial ha otorgado un papel importante a esta tecnología, que ocupa el segundo lugar en cuanto a producción de energía de origen renovable tras la hidráulica.

Su contribución a la garantía del suministro viene limitada por el hecho de que la energía eólica es una energía fluyente (su disponibilidad está sujeta a la del recurso eólico); por tanto, tiene una reducida firmeza y gestionabilidad, lo que hace necesarias inversiones en tecnologías de apoyo e infraestructuras de red. Su firmeza se sitúa en torno al 7-8%, lo que significa que la potencia eólica disponible, con un 95% de probabilidad, para cubrir la demanda máxima probable sería del 7-8%.

Más allá de las características de la tecnología, es destacable la existencia de una industria nacional bastante desarrollada, con importantes fabricantes españoles que operan todo el mundo (por ej., Gamesa). Esta tecnología permite, además, conseguir importantes ahorros de combustible y en términos de emisiones, con el consiguiente impacto positivo sobre la balanza de pagos y el medio ambiente.

### **Solar fotovoltaica**

La energía solar fotovoltaica se basa en la captación de radiación solar y su transformación directa en electricidad por medio de módulos compuestos por células fotovoltaicas, formadas por materiales sensibles a la luz que desprenden electrones cuando los fotones inciden sobre ellos, convirtiendo la energía luminosa en energía eléctrica. Su sostenibilidad ambiental es elevada, al igual que la de otras tecnologías renovables, ya que tampoco emite CO<sub>2</sub> o gases contaminantes.

Desde el punto de vista económico y de aprovechamiento comercial, España, por su localización y climatología, es uno de los países de Europa donde el recurso solar es más abundante. Tal y como se muestra al comienzo del apartado, su coste de generación es muy elevado en la actualidad, situándose en la banda alta de las tecnologías renovables. No obstante, existe un consenso generalizado sobre el importante potencial de reducción de coste por mejoras tecnológicas y de fabricación, que llevaría a una convergencia con las energías convencionales en el largo plazo. Las expectativas de reducción de costes se muestran en todas las fases de la cadena de valor, desde materiales y procesos hasta elementos y sistemas de instalación.

Una muestra del importante proceso de reducción de costes que está sufriendo la fotovoltaica es la evolución a la baja de tarifas<sup>5</sup> que se está registrando en las sucesivas convocatorias de pre-asignación de retribución para las nuevas instalaciones. La tarifa de aplicación para la convocatoria del tercer trimestre de 2011 se sitúa por debajo de los 150 €/MWh para las instalaciones de tipo II (instalaciones sobre suelo).

Desde algunos ámbitos del sector energético se insta a esta tecnología a acelerar sus esfuerzos de reducción de costes a través de I+D+i para avanzar hacia la convergencia con el precio de mercado de la electricidad.

En términos de garantía de suministro su aportación es muy limitada ya que no es firme ni gestionable. Se suele asumir una firmeza nula, ya que su disponibilidad es nula en la punta de demanda de invierno, entre las 20:00 y las 22:00.

### **Termosolar**

La tecnología mayoritaria en términos de potencia instalada y en construcción es la de colectores cilindroparábolicos (CCP), que concentra el calor en un tubo mediante espejos cilindro-parabólicos. En dicho tubo circula un fluido de trabajo, típicamente aceite térmico, que se calienta hasta los 400 °C. Este fluido a su vez calienta vapor en un intercambiador de calor, que hace funcionar una turbina de vapor clásica.

Estas características implican que el campo solar sólo aporta calor de forma efectiva con radiación solar directa. Por esta razón no es una tecnología libre de emisiones, ya que, en ausencia de luz solar– (por ejemplo, un día nuboso o por las noches), es necesario contar con una aportación de calor –habitualmente gas natural para mantener la temperatura del aceite térmico en todo momento por encima de 12 °C para evitar su deterioro. Esta dependencia del gas natural es especialmente relevante en el caso español debido a las condiciones climáticas. En otros lugares con climas más suaves la necesidad de gas se ve muy reducida.

En relación a la utilización de gas natural para calentar el fluido térmico con la idea de generar electricidad cuando no hay radiación solar directa, la eficiencia típica obtenida en este proceso es de un 20%, frente a una eficiencia del 50% cuando el mismo gas se quema en un ciclo combinado. Además, hay que tener en cuenta que la utilización de gas natural en los distintos procesos asociados al funcionamiento de la termosolar hace que una instalación en España tenga unas emisiones de CO<sub>2</sub> del orden de entre un 40% y un 60% de las de un ciclo combinado.

En España, una regulación favorable fomenta las plantas termosolares con almacenamiento e hibridación con gas natural.

---

<sup>5</sup> Véase el Real Decreto 1578/2008.

El almacenamiento térmico (Sistema Almacenamiento Térmico) se suele desarrollar mediante sales fundidas, que en todo momento deben mantener una temperatura superior a los 220 °C para que no degeneren y estropeen la planta; ello supone un sobredimensionamiento del campo solar (típicamente se puede hablar de duplicar o incluso, en algunos casos, llegar a triplicarlo). Para mantener las sales fundidas a la temperatura adecuada será necesario disponer de otro intercambiador de calor a base de gas natural, especialmente relevante en invierno, cuando la temperatura exterior es baja y puede haber varios días seguidos sin sol.

En términos económicos, la termosolar se encuentra entre las tecnologías renovables con elevados costes. Alrededor del 40% de sus costes de inversión provienen de la isla de potencia y el 60% del campo solar (estructuras, tubos, espejos, tanques...). En general, los análisis prospectivos muestran un moderado recorrido de reducción tanto en sus costes de inversión a largo plazo como en sus costes de O&M.

En cuanto a la garantía de suministro, la termosolar con apoyo aporta más firmeza que la eólica o la fotovoltaica debido a la utilización de gas natural, situándose alrededor del 20%, aunque el almacenamiento térmico “obliga” a generar también de noche, por lo que esta tecnología puede disminuir la flexibilidad del sistema eléctrico y perjudicar la integración de otras renovables.

También es destacable señalar que los altos requerimientos de agua representan un serio inconveniente ya que habitualmente escasea en las zonas aptas para su implantación.

### **3.1.2. Nuclear**

La electricidad de origen nuclear se origina a partir de la división de los átomos de uranio en un proceso denominado fisión. La fisión libera energía que puede ser utilizada para producir vapor, que acciona una turbina para generar electricidad.<sup>6</sup>

El uranio es un recurso mineral y, por tanto, no renovable. En la planta de energía, el uranio genera una reacción en cadena que produce calor. Este calor se utiliza para generar vapor, que es utilizado por una turbina para generar electricidad.

La contribución a la sostenibilidad ambiental de esta tecnología es muy elevada ya que puede contribuir de forma importante a la cobertura de la demanda sin emitir CO<sub>2</sub>, dióxido de azufre o los óxidos de nitrógeno. No obstante, cada 18 o 24 meses, las

---

<sup>6</sup> El análisis a largo plazo de la tecnología nuclear deberá incluir un seguimiento de la investigación que se está llevando a cabo en el ámbito de la fusión nuclear, que se basa en la energía que se libera de la unión entre los átomos. La fusión nuclear resolvería los problemas asociados a la fisión nuclear, fundamentalmente derivados de la necesidad de combustible nuclear y de la gestión de residuos radiactivos.

centrales nucleares suelen cerrar para reemplazar el combustible de uranio “gastado”, que se convierte en un residuo radiactivo.

Desde la perspectiva de su viabilidad económica, es importante destacar que estas centrales tienen unos costes muy estables (independientes del petróleo y del CO<sub>2</sub>) y pueden tener alargamientos de su vida útil rentables. En cambio, presentan el inconveniente de ser poco gestionables, de tener unos costes de inversión elevados e inciertos y poca aceptación social.

El análisis tecnológico prospectivo de la AIE muestra a la energía nuclear como un elemento importante para alcanzar una reducción de emisiones compatible con limitar el incremento de la temperatura global a 2 °C, aunque su papel como respaldo para las renovables es más limitado.

La contribución a la garantía de suministro es uno de los aspectos más importantes de esta tecnología de base, que cuenta con una firmeza del 90%.

### **3.1.3. Captura y Almacenamiento de CO<sub>2</sub>**

Desde el punto de vista ambiental, la captura y el almacenamiento de CO<sub>2</sub> (CCS, en sus siglas en inglés) se considera como una de las principales opciones para usar el carbón y simultáneamente alcanzar los objetivos globales de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. La Agencia Internacional de la Energía, en el Energy Technology Perspectives 2010, otorga al CCS una participación del 19% en la reducción total de emisiones necesaria para alcanzar el escenario *450 ppm*.

Sin embargo, esta contribución se debe matizar. Por un lado, el CCS no evita totalmente la emisión a la atmósfera de CO<sub>2</sub>, pues se captura alrededor del 90% de las emisiones de las centrales térmicas convencionales. Por otro, difícilmente se podrá disponer de CCS en las centrales actualmente en operación (cuando el CCS esté comercialmente disponible dichas centrales probablemente ya habrán agotado su vida útil). Sólo parecería razonable considerar el CCS para nuevas centrales. Por tanto, el CCS debería considerarse como palanca de reducción relevante de emisiones sólo para horizontes a partir de 2030, y en ningún caso para 2020.

El análisis económico de esta tecnología hace necesaria una breve descripción de sus diversas fases. En el ámbito de la captura, se están considerando tres posibles procesos (oxi-combustión, pre-combustión y post-combustión), todos aparentemente con similar coste y efectividad. El coste se compondría básicamente de inversión en equipos, coste de O&M asociado a los mismos y una reducción del rendimiento de la central (autoconsumo, etc.). Este menor rendimiento implica un mayor coste de combustible y una mayor emisión de CO<sub>2</sub> por MWh producido.

La fase de almacenamiento es una de las que presenta más incertidumbres. Básicamente, se podrían utilizar o bien yacimientos de petróleo o gas agotados, o bien acuíferos salinos a gran profundidad. En Europa Occidental:

- Los yacimientos agotados del Mar del Norte (offshore) son bien conocidos y suman un elevado potencial de almacenamiento;
- La disponibilidad de acuíferos salinos profundos es incierta. En teoría, el potencial a nivel agregado es alto, aunque son probables fuertes diferencias regionales. De hecho, es también en el Mar del Norte donde se sitúan los acuíferos salinos mejor definidos.

El potencial del CCS en España es incierto, ya que se dispone de muy pocas reservas de carbón, no hay yacimientos agotados relevantes y parece que el potencial de acuíferos salinos profundos es moderado (indirectamente señalado por la dificultad para desarrollar almacenamientos de gas). Así, es probable que el almacenamiento deba ser distante, e incluso offshore, lo cual implica inevitablemente un mayor coste.

En cuanto al transporte, para conectar puntos de captura con almacenamientos será necesario desarrollar una red de transporte de CO<sub>2</sub>. Su coste dependerá, entre otros, de la distancia entre las centrales, de la distancia al almacenamiento y del tipo de éste (onshore u offshore). Al igual que ocurre con el coste del almacenamiento, el del transporte es muy incierto.

Tras analizar las distintas fases se pone de manifiesto la incertidumbre sobre la viabilidad comercial de esta tecnología. La AIE en el Energy Technology Perspectives 2010 muestra algunas cifras de costes de las distintas tecnologías de CCS aplicadas a la generación eléctrica, poniendo de manifiesto las elevadas incertidumbres sobre las que se fundamentan sus cálculos (Tabla 1).

Tabla 1. Previsiones de coste para distintas tecnologías de generación eléctrica convencional con CCS <sup>7</sup>

	Costes de inversión		Costes de O&M		Eficiencia neta	
	\$/kW		\$/kW/año		%	
	2010	2050	2010	2050	2010	2050
Carbón ultra supercrítico + post-combustión.	3.400	2.500	102	75	36	44
Carbón ultra supercrítico + oxi-combustión.	3.700	2.700	111	81	36	44
Sistema de gasificación integrado en un ciclo combinado de gas + pre-combustión.	3.200	2.450	96	74	33	48
Ciclo combinado de gas natural + post-combustión.	1.450	1.100	44	33	49	56
Ciclo combinado de gas natural + oxi-combustión.	1.650	1.350	50	41	47	54

Fuente: Energy Technology Perspectives 2010. Agencia Internacional de la Energía.

Desde el punto de vista de la garantía de suministro, el principal aspecto positivo de esta tecnología es que permitirá aprovechar las elevadas reservas de carbón para generar electricidad sin poner en peligro los ambiciosos objetivos de reducción de emisiones que tiene el sector eléctrico (por ejemplo, en el marco europeo, se ha planteado la descarbonización total de la generación eléctrica en el horizonte 2050).

#### 3.1.4. Resumen

Tras analizar las diferentes características técnicas y económicas de cada opción de oferta se presenta en la Tabla 2 un resumen de las mismas, atendiendo su perfil de

<sup>7</sup> El Energy Technology Perspectives 2010 pone de manifiesto la gran incertidumbre a la que están sometidas estas cifras, extraídas de proyectos ubicados en Estados Unidos.

coste y riesgo, su impacto sobre las emisiones de CO2, y su contribución a la flexibilidad y firmeza del sistema.<sup>8</sup>

Tabla 2: Resumen de las características de las de las opciones tecnológicas disponibles

	Coste		Emisiones	Flexibilidad	Firmeza
	Nivel	Riesgo evolución			
<b>Hidráulica</b>					
Nueva	=	+	+	+ <sup>9</sup>	70-80% (regulable)
Ampliación	+	+			~10% (no regulable)
<b>Carbón</b>					
Nueva (CCS)	-	-	=	=	>90%
Ampliación	+	-	-		
<b>Nuclear</b>					
Nueva	=	+	+	-	>90%
Ampliación	+	+			
<b>Ciclos combinados de gas natural</b>					
Eólica	=	+	+	-	~ 7-8%
Solar Fotovoltaica	-	+	+	-	0%
Solar Termoeléctric	-	+	+	=	20%

#### 4. Reflexiones estratégicas para las energías limpias en España

##### 4.1. El desarrollo renovable

La descarbonización completa del sector eléctrico en el horizonte 2050 exige, sin lugar a dudas, un intensivo desarrollo de las energías renovables, ya que son condición necesaria para que el sistema sea sostenible ambientalmente. En esta línea, España cuenta con el objetivo vinculante de alcanzar una participación del 20% de energías

<sup>8</sup> Se utilizan los símbolos “+” para indicar una contribución positiva, “-” una contribución negativa u “=” una contribución moderada.

<sup>9</sup> La hidráulica regulable tiene una flexibilidad elevada y la hidráulica fluyente una flexibilidad reducida.

renovables sobre el consumo de energía final en 2020, lo que implica una participación cercana al 40% para el sector eléctrico.

No obstante, el desarrollo masivo de energías renovables presenta importantes retos debido a: mayores costes de producción a corto plazo, mayores costes por necesidad de energía de respaldo y redes, incremento en la complejidad de la operación, entre otras cuestiones. Por todo esto, es muy importante realizar un planteamiento estratégico que tenga en cuenta las características de las tecnologías y proponga medidas para cumplir objetivos en el marco de los principios de sostenibilidad ambiental, eficiencia económica y garantía de suministro, sobre los que ha ido construyéndose todo el análisis realizado a lo largo del documento.

### **Garantía de suministro**

El mantenimiento de unos niveles razonables de garantía de suministro ante la elevada participación de las energías renovables que se alcanzará en cualquiera de los escenarios considerados, especialmente en el sector eléctrico, requerirá el cumplimiento de, al menos, dos elementos: 1) presencia de energía de respaldo que complemente la reducida gestionabilidad de las renovables; 2) incremento de las interconexiones para reforzar la seguridad de suministro y la eficiencia económica, reforzando la posibilidad de grandes flujos de energía entre distintos sistemas eléctricos.

En primer lugar, el nuevo contexto caracterizado por una elevada participación de energías renovables y una reducción en las horas de funcionamiento de las tecnologías térmicas convencionales, en particular, de los ciclos combinados de gas natural, plantea la necesidad de realizar ajustes regulatorios en el mercado eléctrico para adaptarlo a este nuevo paradigma. En éste, en el que los ciclos combinados pasan a ocupar una función de respaldo a la producción renovable con muy bajas utilidades, se produce una depresión del precio de mercado por desplazamiento de las tecnologías más caras, y se incrementa la complejidad de la operación del sistema, en un marco de importantes limitaciones ambientales en términos de emisiones de CO<sub>2</sub>.

Entre las medidas importantes a acometer en este ámbito para disponer del respaldo adecuado son destacables: un sistema de pagos de capacidad y nuevos servicios de flexibilidad en la generación eléctrica.

En segundo lugar, la variabilidad y reducida gestionabilidad de las energías renovables condiciona su integración en el sistema eléctrico español al desarrollo de interconexiones con otros sistemas. Un nivel adecuado de interconexiones permite, en un contexto caracterizado por el elevado y creciente peso de la producción renovable, por un lado, disponer de la posibilidad de importar electricidad en caso de una reducción de la producción renovable y, por otro, reducir los denominados “vertidos”

de energía renovable, que no es más que la desconexión de la red de plantas renovables (por ej., eólica) para ajustar a la baja la oferta, y así mantener el equilibrio con la demanda eléctrica en una situación en la que se produce un excedente de energía.

Teniendo en cuenta lo anterior, el cumplimiento del objetivo de renovables de forma eficiente y segura requiere el incremento de las interconexiones con el resto de Europa (es decir, con Francia), al menos, en línea con el objetivo europeo del 10% de capacidad de interconexión respecto de la potencia instalada para 2020, y más del 10% en el horizonte 2030. Para alcanzar este objetivo es necesario:

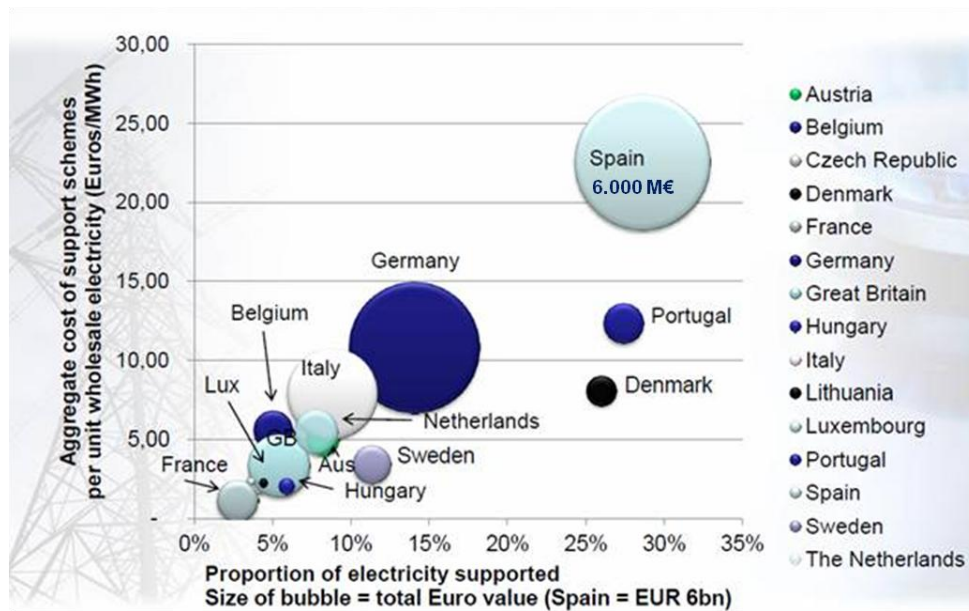
- Promover en el ámbito de las negociaciones comunitarias la ampliación de la interconexión con Francia para lograr el objetivo de que la interconexión alcance el objetivo del 10% en 2020.
- Condicionar el cumplimiento de los objetivos de renovables en España a un efectivo aumento de la capacidad de interconexión, o recibir una compensación económica por el aumento de costes que implica su desarrollo en un sistema aislado del europeo.

Más allá de las interconexiones, el mantenimiento de la robustez del conjunto del sistema eléctrico requerirá mayores inversiones en redes de transporte y distribución, que tendrán que asumir una cantidad creciente de flujos de energía variables y más difíciles de prever.

### **Eficiencia económica**

El análisis de este apartado debe partir del hecho de que en España los consumidores eléctricos están asumiendo ya un coste muy importante en términos de apoyos económicos a las energías renovables. Según un informe reciente del CEER (4), España es el país europeo en el que los consumidores eléctricos asumen un mayor coste por apoyar a estas tecnologías, que en 2009 alcanzó los 6.000 M€ y supuso un sobrecoste unitario de 22,5 €/MWh. Hay países que, con un peso de renovables similar, asumen un coste muy inferior (Figura 9).

Figura 9. Proporción de electricidad sometida a apoyos vs. coste unitario en términos de apoyo por MWh.

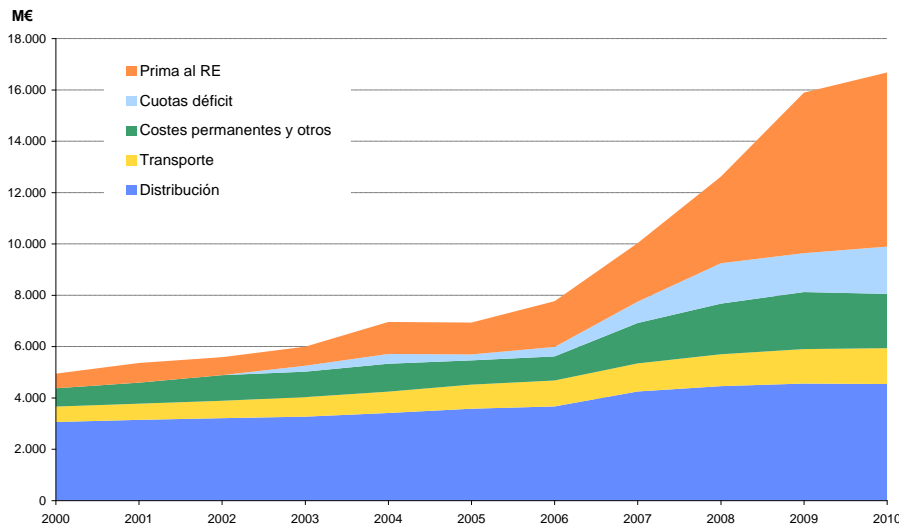


Fuente: CEER report on Renewable Energy Support in Europe. Ref: C10-SDE-19-04a. 4-May-2011.

Partiendo de este punto, el cumplimiento de los objetivos planteados debe basarse en dos principios fundamentales: 1) la contribución del conjunto del sector energético al cumplimiento de los objetivos; y 2) el diseño de marcos de apoyo adaptados a las características de las diferentes tecnologías y sus perspectivas de evolución, evitando ineficiencias en los procesos administrativos asociados a la implantación de renovables.

En relación al primer aspecto, es necesario tener en cuenta que el sector eléctrico está asumiendo parte del cumplimiento del objetivo renovable que tiene su origen en el consumo de energía final en otros sectores. Es eficiente y razonable que así sea, porque responde a los menores costes y mayor factibilidad técnica de producción de energía renovable en el sector eléctrico. No obstante, ello tiene un impacto sobre las tarifas del sector eléctrico, de donde provienen los recursos para financiar los apoyos, introduciéndose distorsiones en la competitividad relativa frente a otras fuentes de energía. En la Figura 10 se aprecia cómo el sobrecoste de las renovables representa ya el principal componente de los costes regulados que soportan los consumidores eléctricos y es, a su vez, la principal fuente de incremento de costes regulados en el sector eléctrico.

Figura 10. Evolución de los costes regulados del sistema eléctrico español.

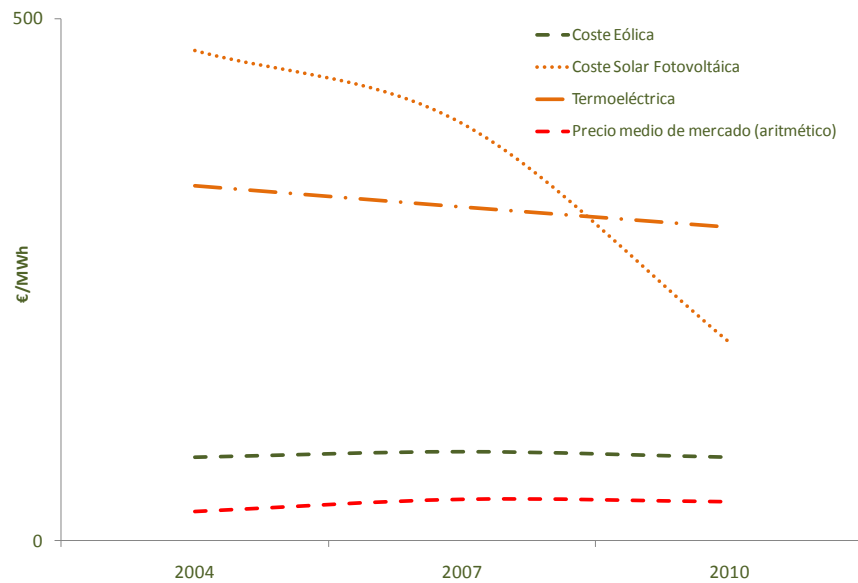


Fuente: CNE

Más allá de contemplar fórmulas para distribuir de forma más rigurosa entre el conjunto del sector energético el coste de los apoyos renovables (cuestión regulatoria que se analizará más adelante), es necesario explorar el elevado potencial de introducción de renovables en sectores que representan un elevado porcentaje del consumo total de energía. Este es el caso del sector edificación, que supone el 27% del consumo total de energía final en España, donde se presentan importantes oportunidades de incorporación de energías renovables para calefacción y refrigeración (5). En situación similar se encuentra el sector transporte, con cerca de un 40% del consumo de energía final, con el transporte de carretera como principal dinamizador del consumo energético.

En cuanto a los marcos de apoyo, el coste de estas tecnologías y sus perspectivas de evolución exigen gestionar bien la inversión dedicada a las mismas, priorizando aquellas cuya curva de aprendizaje se encuentra en una fase avanzada de madurez tecnológica. En la Figura 11 se ponen de manifiesto las importantes diferencias en la evolución de costes de las principales tecnologías renovables en España, viéndose cómo la tecnología eólica muestra unos costes próximos al precio medio de mercado a diferencia de la solar fotovoltaica que, si bien está registrando una fuerte reducción de costes, todavía se encuentra muy lejana de la competitividad. Por su parte, la termosolar tiene costes elevados y presenta menores perspectivas de reducción de los mismos. La hibridación con gas natural le confiere más garantía de servicios que la eólica o la fotovoltaica, pero con mayores costes de inversión y un rendimiento muy inferior al de un ciclo combinado de gas.

Figura 11. Evolución del coste normalizado de producción de eólica, SFV y Termoeléctrica vs precio de mercado.



Fuente: Elaboración propia en base a datos internos.

A la hora de plantear los marcos de apoyo para las distintas tecnologías renovables su diseño también deberá abordar medidas para corregir las ineficiencias que se han venido produciendo a lo largo del proceso de implantación renovable en España. De cara al diseño del futuro marco de apoyo para la eólica que entraría en vigor a partir de 2012, y que se encuentra actualmente en proceso de elaboración, se pone de manifiesto la necesidad de adoptar medidas para eliminar las ineficiencias y fenómenos especulativos provocados por la regulación de la instalación de parques eólicos a través de concursos autonómicos. Tras los resultados de gran parte de los concursos realizados se muestran algunas características muy preocupantes:

- Opacidad y arbitrariedad, que ha favorecido a agentes que hacen cuestionar la ejecución final de los proyectos (por ej., discotecas, panificadoras,...).
- Fomento de procesos especulativos con mercados de autorizaciones.
- En un elevado número de casos, los agentes locales reciben la capacidad sacada a concurso tras realizar ofertas muy arriesgadas, pero no realizan el proyecto, sino que lo venden a un promotor energético para que lo desarrolle.

En definitiva, los sistemas de apoyo y los objetivos deben adaptarse al estado de desarrollo y problemática de cada tecnología renovable. Un sistema de apoyo flexible debe considerar el grado de desarrollo tecnológico, los costes y la problemática e incentivos asociados a los procesos administrativos para su instalación. En la Tabla 3 se

resumen de forma genérica algunas propuestas de marcos de apoyo para las principales tecnologías renovables, atendiendo a su situación actual.

Tabla 3. Situación y propuesta de sistema de apoyo a las principales tecnologías renovables

	<b>Situación</b>	<b>Regulación de apoyo</b>
<b>Eólica</b>	Próxima a ser competitiva si se incorporan las externalidades de las convencionales. (Coste del CO <sub>2</sub> )  Tecnología base para conseguir desarrollo de renovables en el sector eléctrico.	Sistema de primas (evitar tarifas) que complementen el precio de mercado.  Tener en cuenta el grado de cumplimiento de objetivos.  Eliminar concursos CC.AA.
<b>Solar Térmica</b>	Tecnología cara.  Necesidad de fuerte desarrollo tecnológico.	Apoyos a plantas de demostración de nuevas tecnologías.
<b>Solar Fotovoltaica</b>	Posibilidad de importantes reducciones de costes por salto tecnológico.	Apoyo creciente vía I+D+i, para desarrollo industrial.

Fuente: elaboración propia.

### **Sostenibilidad ambiental**

El cumplimiento de los objetivos de energías renovables contribuye de forma importante a la sostenibilidad ambiental del modelo energético español. No obstante, hay que compatibilizar el desarrollo masivo de renovables con el objetivo de reducción de emisiones de GEI, para lo que puede plantear dificultades el hecho de que una de las principales tecnologías de respaldo, los ciclos combinados de gas, es una tecnología emisora.

Por esta razón, será necesario disponer de energía de respaldo con emisiones muy reducidas y tecnologías firmes no emisoras en el mix. Esto, por un lado, plantea la necesidad de avanzar en el desarrollo del CCS, teniendo en cuenta las grandes incertidumbres que todavía envuelven a esta tecnología y, por otro, contar con la energía nuclear, como tecnología firme, y no emisora.

Una vez realizado el análisis desde la óptica de la eficiencia económica, la sostenibilidad y la garantía de suministro las distintas características de las energías

renovables, se presenta en la Tabla 4 un cuadro resumen en el que se sintetizan las principales conclusiones alcanzadas al respecto.

Tabla 4. Síntesis de las principales características de las tecnologías renovables

	<b>Sostenibilidad</b>	<b>Eficiencia económica</b>	<b>Garantía de suministro</b>
<b>SFV</b>	++++	+	+
<b>Termosolar</b>	+++	-	++
<b>Eólica</b>	++++	+++	+
<b>Hidráulica</b>	++++	+++	+++

Fuente: elaboración propia.

#### **4.2. Nuclear**

El análisis actual de esta tecnología se está viendo condicionado por el reciente terremoto ocurrido en Japón y el posterior desastre nuclear desencadenado en la central de Fukushima, con consecuencias a nivel global sobre el sector nuclear, entre las que pueden destacarse: 1) revisión de la seguridad de las plantas actuales en prácticamente todos los países que puede llevar a cierre de instalaciones o a no alargar sus vidas útiles, o a la obligación de nuevas inversiones, 2) replanteamiento de la política nuclear en algunos países, como el caso de Alemania, 3) retraso en los programas nucleares de la mayoría de los países (los principales, como Francia, EEUU, China, Rusia, Reino Unido o Brasil, han anunciado que no renunciarán a este tipo de energía), 4) encarecimiento de esta energía a futuro por mayores estándares de seguridad, tanto en la construcción como en la operación y 5) mayor cuestionamiento de esta energía. Una consecuencia a nivel global de las medidas anteriores, será una mayor seguridad en las instalaciones nucleares y un mayor desarrollo de otras tecnologías no emisoras (por ej., renovables) y de la eficiencia energética, a costa de un mayor coste de la energía en general.

En el marco español, la energía nuclear forma parte muy importante del balance eléctrico, y su papel como tecnología de generación firme y libre de emisiones se hace más relevante en un marco de creciente penetración de energías renovables y objetivos de reducción de emisiones cada vez más ambiciosos.

Todo lo anterior hace más necesario que nunca la apertura de un debate público sobre esta tecnología, explicando sus pros y contras. La urgencia de esta medida es máxima, ya que estas inversiones, tanto para la ampliación de la vida de las instalaciones existentes como para las nuevas que hipotéticamente se aborden, se deben planificar con 10-15 años de anticipación. Retrasar esta decisión implicará tener que desarrollar otras tecnologías emisoras, ante la imposibilidad de realizar inversiones con la suficiente antelación para ampliar la vida de estas centrales debido a la incertidumbre generada con las decisiones adoptadas en esta materia.

### **4.3. Captura y Almacenamiento de CO<sub>2</sub>**

La captura y almacenamiento de CO<sub>2</sub>, aplicable a las fuentes de generación que utilizan fuentes de energía fósil (carbón y gas), se encuentra en fase de I+D y demostración, existiendo incertidumbre en cuanto al plazo para su disponibilidad comercial y a su coste.

En este sentido, se hace necesario realizar un seguimiento detallado del desarrollo de las diversas alternativas tecnológicas, fomentando la participación de las empresas españolas en proyectos liderados por proveedores tecnológicos y teniendo en cuenta las implicaciones en términos técnicos y económicos de la implantación de esta tecnología en las instalaciones de generación térmica. Además, para conocer el potencial de esta tecnología en España, se deberá promover el desarrollo de programas de evaluación del potencial de almacenamiento de CO<sub>2</sub> en formaciones geológicas en España e identificar emplazamientos teniendo en cuenta los condicionantes que impone la normativa europea.

### **4.4. El papel de las infraestructuras**

Las inversiones en infraestructuras de transporte y distribución son necesarias y complementarias a las de generación, para permitir el aumento de la producción con fuentes de energía renovable y distribuida, compatibles con los objetivos marcados en las políticas energéticas.

Se requiere un incremento general de la robustez del conjunto del sistema eléctrico. Redes diseñadas para llevar energía desde las redes de transporte a los centros de consumo deberán absorber cada vez más generación renovable. Esto tiene dos implicaciones fundamentales: 1) por un lado un flujo de energía bien conocido –al conocer la demanda– se convierte en otro mucho más variable e impredecible –al incluir la energía vertida por las centrales renovables– y 2) estas redes diseñadas (además de las líneas, todos los elementos de protección) para un flujo de un único sentido *transporte* → *distribución* → *consumo* deben absorber flujos de energía con sentidos cambiantes y no conocidos, por lo que su arquitectura y protecciones deben ser revisadas y reforzadas.

La distribución es la principal responsable de la calidad de suministro y todavía quedan muchos elementos regulatorios en los que avanzar en este ámbito. El nuevo sistema retributivo de esta actividad mejora las señales a la inversión, pero no se ha concretado. Así, se deberá avanzar en el desarrollo del nuevo sistema retributivo de la actividad de distribución, de forma que se garantice un nivel de calidad de suministro adecuado mediante el diálogo empresa–regulador–Administración (central y autonómica) para el desarrollo de las redes correspondientes, y un reconocimiento suficiente a los capitales invertidos.

El plazo actual para la tramitación administrativa y puesta en servicio de instalaciones de red es muy largo (4-8 años), lo que dificulta la disponibilidad de las instalaciones necesarias para garantizar la seguridad de suministro. Asimismo, criterios y requisitos de Administraciones locales sobre un tramo de línea pueden llegar a condicionar la ejecución de toda la instalación. Entre las medidas necesarias para afrontar esta problemática cabría destacarse las siguientes:

- Acortar el plazo de la puesta en servicio de las instalaciones de red de forma segura y sin disminuir los requisitos medioambientales.
- Establecer, en aras del bien común, mecanismos regulatorios para eliminar la posibilidad de que las Administraciones locales limiten la ejecución de toda una instalación cuyo ámbito excede a su marco geográfico. Todas las medidas que se desarrollen en este ámbito deben tener en cuenta el principio de corresponsabilidad institucional.

Las redes inteligentes permiten el uso sostenible y eficiente del servicio eléctrico, potenciando la reducción de pérdidas, el ahorro en emisiones, abaratando los costes y mejorando la calidad de servicio. Pero todo cambio tecnológico implica una inversión inicial fuerte que se rentabiliza por la sociedad a largo plazo. La política energética debe tener en cuenta todo esto y desarrollar mecanismos para incentivar la inversión en *smart-grids*, desarrollando inicialmente más proyectos de mediana escala, que permitan acelerar la progresiva introducción de estas tecnologías en las redes actuales.

Los niveles actuales de interconexión eléctrica con el resto del sistema eléctrico europeo, como se ha analizado en el punto *3.1 El desarrollo renovable*, son insuficientes para hacer frente a los objetivos de sostenibilidad fijados por la UE, especialmente los de energías renovables. Se debe aumentar los actuales niveles de interconexión, para cumplir los objetivos establecidos por la UE y reducir la necesidad de centrales de generación tradicional que sirvan de respaldo a las fuentes renovables.

## 4.5. Cuestiones de carácter horizontal

### 4.5.1. Electrificación

Tal y como se ha mencionado en el diagnóstico sobre el modelo energético global, la electrificación es una tendencia global que caracteriza la evolución del modelo energético.

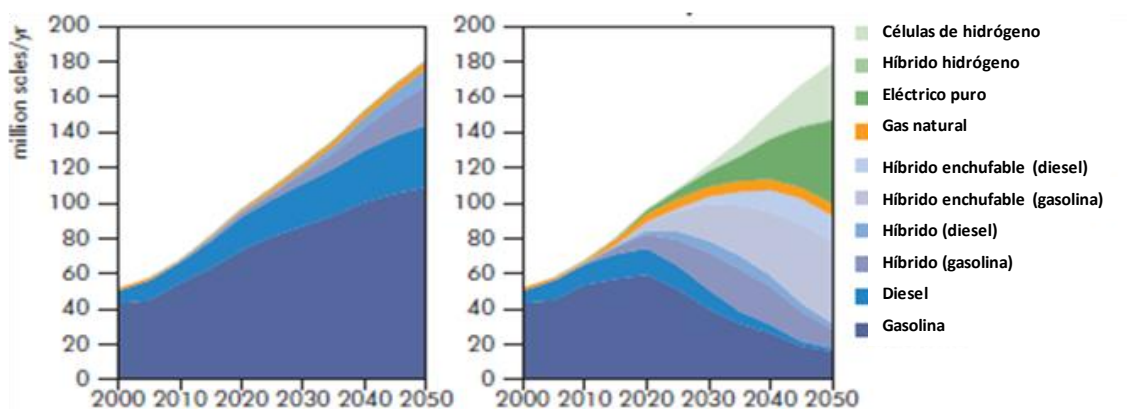
En particular, uno de los sectores donde la electrificación cobra una mayor importancia de cara a su sostenibilidad futura es el transporte, que supone cerca del 30% de las emisiones globales de CO<sub>2</sub>, con perspectivas de seguir incrementándose de la mano de la evolución de la población y el PIB, si no se adoptan políticas ambiciosas que reduzcan su dependencia de los combustibles fósiles.

En este sentido, el análisis realizado por la Agencia Internacional de la Energía señala la importancia que tendrá la electrificación del transporte, especialmente en el modo carretera, para el cumplimiento de los objetivos del escenario compatible con la limitación del incremento global de la temperatura a 2 °C, el equivalente al 450 ppm.

Tal y como se aprecia en la Figura 12, la configuración de las ventas de turismos es muy distinta en un escenario de referencia (BAU) frente al escenario 450 ppm. En el primero, se mantiene el predominio de vehículos convencionales. Sin embargo, en el segundo se aprecia cómo a partir de 2015 se incrementan las ventas de vehículos híbridos enchufables y eléctricos puros, alcanzándose en 2020 unas ventas anuales de 5 millones para los primeros y de 2 millones para los segundos.

El proceso de electrificación del parque de vehículos se agiliza a partir de 2030, cuando se empieza a acelerar la reducción en las ventas de vehículos convencionales diesel y de gasolina.

Figura 12. Evolución de las ventas de turismos por tipo de tecnología en un escenario BAU (izquierda) frente a un escenario equivalente al 450 ppm (derecha).



Fuente: Energy Technology Perspectives. 2010. Agencia Internacional de la Energía.

#### 4.5.2. Principios de buena regulación

En el sector energético, y en particular en el eléctrico, se requieren grandes inversiones que aseguren un suministro competitivo y seguro, cumpliendo a su vez con los requisitos ambientales cada vez más ambiciosos. Para hacer posible todo ello, se requiere un marco regulatorio predecible y transparente, que sirva de señal de inversión y comportamiento a los agentes. El marco regulatorio debe estar basado en lo que se ha venido conociendo como los principios de la buena regulación que, de forma muy sencilla, se pueden resumir de la siguiente manera:

- **Libertad.** La regulación debe otorgar a los agentes la mayor libertad de actuación compatible con la defensa de la competencia y con las exigencias intrínsecas a la realidad técnica del sistema eléctrico.
- **Previsibilidad.** El marco regulatorio debe asegurar que el mercado resultante es estable, coherente y previsible.
- **Credibilidad.** La eficiencia del mercado depende en gran medida de la credibilidad de las actuaciones en materia de regulación.

Su aplicación en la regulación de las actividades reguladas (por ej., distribución) ofrecerá perspectivas razonables de recuperación de los costes prudentemente incurridos, dará incentivos a los agentes para reducirlos, y permitirá a los consumidores compartir las ganancias de eficiencia.

En el marco de las actividades competitivas, se deberá buscar alcanzar la eficiencia por la propia competencia de los agentes, introducir las mínimas restricciones a los sistemas de transacción, dotar a las Autoridades de supervisión de la competencia de poderes adecuados para evitar posibles comportamientos anticompetitivos, sustituir las herramientas de protección al consumidor basadas en tarifas por la formación del consumidor y la supervisión de conductas.

El cumplimiento de estos principios es básico para mantener unos niveles adecuados de garantía de suministro en un mercado globalizado en capitales y combustibles, en el que el capital irá a los países con regulación más estable y atractiva y el combustible donde mejor se refleje el valor de la energía y su escasez.

Una regulación que desvirtúe dichos principios generará, por un lado, incertidumbre que dificultará la capacidad para captar capitales, necesarios para realizar inversiones y, por tanto, pondrá en peligro la seguridad a medio y largo plazo. Por otro, el riesgo regulatorio aumentará la prima de riesgo y el coste de la energía.

En el ámbito de la regulación de las energías limpias ha habido “luces y sombras” que han restado atractivo a las inversiones, como se ha mostrado en el ranking de

protección de inversiones elaborado por el banco mundial, en el que España ocupa en 2011 la posición 93 entre las 183 economías analizadas (6).

La regulación de las energías renovables en España se ha puesto como ejemplo de instrumento para alcanzar, e incluso superar, los objetivos planteados de forma eficiente. Sin embargo, existen importantes diferencias entre unas tecnologías y otras. Si bien el marco de apoyo basado en un sistema de primas y tarifas ha sido muy útil para fomentar la implantación ordenada y eficiente de una tecnología renovable madura como la eólica, en el caso de las solares, tecnologías ubicadas en una fase más temprana de su curva de evolución tecnológica, ese mismo sistema ha fomentado un desarrollo desordenado a base de “burbujas especulativas”. En la solar fotovoltaica, en 2007, los temores a la finalización de la vigencia del RD 661/2007 condujeron a una implantación masiva de esta tecnología en un año. El caso de la termoeléctrica es similar: la creación de un registro de pre-asignación, con una duración determinada, para poder acogerse al marco retributivo del RD 661/2007 desembocó en un aluvión de inscripciones que supusieron más de 2.000 MW. El impacto en términos de apoyos de estos dos errores regulatorios perdurará durante más de 20 años.

Las decisiones regulatorias en el caso de la tecnología nuclear también se han alejado de los principios de la buena regulación. Así, en la decisión adoptada sobre el cierre de Santa María de Garoña los criterios políticos prevalecieron sobre los técnicos, haciendo caso omiso al análisis del Consejo de Seguridad Nuclear. Y lo que es más importante, esta decisión ha generado incertidumbre para el resto de las centrales nucleares, que tendrán que ir acometiendo inversiones con mucha antelación si se quiere contar con ellas en el futuro.

Por último, otro ejemplo de incumplimiento de los principios de buena regulación se encuentra en la normativa aprobada para potenciar la generación eléctrica con carbón nacional, que supone una contradicción con la estrategia que se ha venido llevando a cabo para fomentar la implantación de energías limpias, en particular, energías renovables.

#### **4.5.3. Fiscalidad ambiental**

La descarbonización de la economía es un reto importante que requiere la aplicación de medidas en todos los sectores. Más allá de los sectores industriales o energéticos, cuyas emisiones se encuentran limitadas en el marco del comercio europeo de derechos de emisión, los sectores difusos (transporte, edificación, etc.) han venido registrando una senda de consumo energético y emisiones que ponen en peligro el cumplimiento de los objetivos de sostenibilidad ambiental, económica, y en materia de seguridad de suministro.

En este marco, la fiscalidad ambiental se presenta como un instrumento clave para avanzar hacia la sostenibilidad de los sectores difusos, permitiendo internalizar el coste ambiental derivado de su actividad a través de los instrumentos fiscales.

Uno de los hitos más importantes en materia de fiscalidad ambiental a nivel europeo será la aprobación de la Directiva de Impuestos Energéticos, actualmente en proceso de tramitación. Entre las novedades que introduce destaca el hecho de establecer dos tipos diferentes de impuestos, uno al consumo de energía y otro a las emisiones de CO<sub>2</sub>, cubriendo así dos impactos diferentes del consumo de energía que en la actualidad no se tienen en cuenta.

Con el impuesto a las emisiones de CO<sub>2</sub> se intenta replicar, para los sectores difusos, el coste que ya incorporan los sectores incluidos en el comercio de emisiones, evitando así el trato discriminatorio existente hasta ahora para estos sectores y para la electricidad utilizada en el consumo final respecto de otras energías.

Junto a esto, de manera análoga a lo que se propone en la Directiva de Comercio de Derechos de Emisión, se propone que sea obligatorio que al menos el 50% de los ingresos generados por el nuevo impuesto a las emisiones de CO<sub>2</sub> se destine a mejorar la sostenibilidad ambiental del modelo energético (reducción de emisiones, desarrollo de energías renovables, así como de otras tecnologías que contribuyan a la transición hacia una economía baja en emisiones de carbono, mejora de la eficiencia energética y del aislamiento, etc.)

La aplicación de lo establecido en la Propuesta de Directiva, incentivará la utilización tanto de tecnologías menos emisoras, especialmente las energías renovables, como de las más eficientes energéticamente.

Es importante destacar, cuando se habla de fiscalidad ambiental, que los impuestos ambientales debe cumplir como mínimo dos condiciones: tienen que tener como objetivo la “internalización de una externalidad”, y el sujeto y el hecho imponible se deben corresponder con el origen del “daño” (7). La experiencia ha venido mostrando que no siempre se utiliza de forma apropiada este término, introduciéndose figuras impositivas con esta denominación sin ajustarse estrictamente a las características mencionadas. Este es el caso de los impuestos “seudoambientales” introducidos por las Comunidades Autónomas en el ámbito de la producción de electricidad. Como por ejemplo, los introducidos por Extremadura a la producción de origen hidráulico o nuclear, o el canon eólico de Castilla La Mancha.

Junto con las distorsiones negativas sobre la eficiencia económica, esta proliferación de figuras impositivas “seudoambientales” incrementa el riesgo regulatorio y conlleva un impacto negativo sobre las inversiones en tecnologías limpias, absolutamente necesarias para el cumplimiento de objetivos ambientales que se ha marcado España.

#### **4.5.4. Reparto del coste de apoyo a las energías renovables**

En el ámbito de las energías renovables, España cuenta con un objetivo vinculante de alcanzar una participación de energías renovables que alcance el 20% de su consumo final en 2020. El cumplimiento de este objetivo supone un importante coste, en términos de apoyos económicos que recaen con mayor peso sobre el conjunto de los consumidores eléctricos. El sector eléctrico asume la mayor parte del objetivo de energías renovables y de su financiación. Lo primero es eficiente por su mayor capacidad técnica y eficiencia económica para abordar este objetivo. Sin embargo, lo segundo introduce importantes ineficiencias al distorsionar la competitividad de la electricidad frente al petróleo o el gas natural al soportar costes por el cumplimiento del objetivo de renovables cuyo origen es el consumo de las fuentes de energía emisoras de GEI.

Ante esta situación, se pone de manifiesto la necesidad de introducir mecanismos para repartir el coste del cumplimiento de objetivos de política energética, como el de energías renovables, entre el conjunto de la sociedad, ya sea con recargos sobre el conjunto de productos energéticos o el establecimiento de una partida en los Presupuestos Generales del Estado. Otra medida que resultaría muy interesante en esta línea, consistiría en destinar los recursos económicos obtenidos de las subastas de derechos de CO<sub>2</sub>, que se llevarán a cabo durante el periodo 2013-2020, o el posible impuesto al CO<sub>2</sub> que se está tratando en el ámbito de la UE a financiar el coste de los apoyos a las energías renovables.

## Referencias bibliográficas

1. **Agencia Internacional de la Energía** . *World Energy Outlook 2010*. 2010.
2. **Agencia Internacional de la Energía**. *Energy Technology Perspectives 2010*. 2010.
3. **Sáenz de Miera, Gonzalo**. *Un análisis prospectivo de la electricidad en España*. s.l. : Club Español de la Energía, 2011.
4. **Council of European Energy Regulators (CEER)**. *CEER report on Renewable Energy Support in Europe*. . 4 de Mayo 2011. Ref: C10-SDE-19-04a.
5. **Ministerio de Fomento. Secretaría de Estado de Vivienda y Actuaciones Urbanas**. *Código Técnico de la Edificación*. 2006.
6. *www.doingbusiness.org*.
7. *“Externalities: Let’s do it right”*. **Joskow, P.** s.l. : Electricity Journal , 1992.