

**Arthur D Little**

**El papel de la  
generación  
fotovoltaica en  
España**

**Informe para**



**Madrid, 23 de noviembre de  
2007**

Arthur D. Little  
c/ Velazquez, 50  
Madrid,  
España  
28001  
Tel: +34 91 7027400  
Fax: +34 917027499  
[www.adlittle.com](http://www.adlittle.com)

Referencia: ASIF071123

<b>Índice</b>	<b>Páginas</b>
1. Carta de presentación.....	3
2. Principales conclusiones.....	6
3. Situación actual del sector fotovoltaico español.....	8
3.1. Estructura industrial .....	8
3.1.1. Potencial de la generación fotovoltaica en España.....	8
3.1.2. Desarrollo de la industria solar fotovoltaica española.....	8
3.1.3. Costes de generación fotovoltaica en España.....	12
3.1.4. Impacto potencial del desarrollo de la generación fotovoltaica en España .....	13
3.2. Pulso social .....	18
3.2.1. Apoyo social a la energía solar fotovoltaica .....	18
3.2.2. Impacto en el entorno de la energía solar fotovoltaica.....	20
3.2.3. Facilidad de acceso al recurso .....	20
4. Papel de la generación fotovoltaica en la cobertura de la demanda energética española .....	22
4.1. Demanda energética global y cobertura actual .....	22
4.1.1. El problema de la dependencia energética .....	22
4.1.2. El problema de las emisiones de gases de efecto invernadero .....	23
4.1.3. Resistencia social a instalaciones de generación, transporte y distribución.....	25
4.2. La cobertura de la demanda eléctrica en España .....	26
4.2.1. Perspectivas de crecimiento de la demanda eléctrica en España.....	26
4.2.2. Alternativas para la cobertura de la demanda eléctrica en España.....	27
4.2.3. Escenarios de cobertura de la demanda eléctrica en España .....	27
4.2.4. Impacto de los diferentes escenarios de cobertura de la demanda eléctrica en España .....	29
5. Recomendaciones para el desarrollo del marco regulatorio.....	33
5.1. Limitaciones de la regulación actual.....	33
5.2. Comparativa internacional: Alemania .....	33
5.3. Recomendaciones .....	34
5.3.1. Evolución prevista del coste de la generación fotovoltaica e impacto en la tarifa .....	34

<b>Figuras</b>	<b>Páginas</b>
Figura 1: Cadena de valor de la industria solar fotovoltaica.....	9
Figura 2: Fábricas de componentes fotovoltaicos en España.....	10
Figura 3: Potencia fotovoltaica anual instalada y volumen de la industria instaladora en España .....	11
Figura 4: Fabricación mundial de células fotovoltaicas en 2006 .....	11
Figura 5: Previsión del número de empleos directos generados por la industria solar fotovoltaica.....	14
Figura 6: Factores considerados en la estimación del nivel de empleo generado .....	15
Figura 7: Simulación de la contribución potencial de la solar fotovoltaica a la cobertura del pico de demanda en verano en el año 2006.....	17
Figura 8: Simulación del impacto de una mayor potencia solar fotovoltaica operativa en el precio mayorista del año 2006.....	17
Figura 9: Previsiones mundiales de desarrollo de la energía solar fotovoltaica.....	18
Figura 10: Resultado Eurobarómetros sobre actitud acerca de la energía.....	19
Figura 11: Distribución geográfica instalaciones fotovoltaicas en España, noviembre de 2007 .....	21
Figura 12: Previsiones de demanda mundial de energía primaria y de emisiones mundiales de CO <sub>2</sub> por tipo de fuente de energía.....	22
Figura 13: Grado de dependencia energética de algunos países desarrollados .....	23
Figura 14: Escenarios de evolución de concentración atmosférica de CO <sub>2</sub> .....	24
Figura 15: Emisiones de CO <sub>2</sub> en Europa vs. objetivos Kioto.....	25
Figura 16: Crecimiento histórico de la demanda eléctrica y escenarios futuros considerados ...	26
Figura 17: Tecnologías de generación consideradas y condicionantes a su despliegue en el periodo considerado .....	27
Figura 18: Contribución de las renovables a la potencia instalada y energía producida en el sistema en cada escenario.....	28
Figura 19: Tarifa eléctrica residencial incluyendo todos los impuestos, 2007.....	29
Figura 20: Evolución del coste de generación (medio y global) en el sistema eléctrico español.....	30
Figura 21: Emisiones de CO <sub>2</sub> actuales, previstas por el PNA y estimadas para cada escenario .....	31
Figura 22: Ahorros en pérdidas en transporte generados por la energía solar fotovoltaica .....	31
Figura 23: Peso y coste de las importaciones para el consumo de energía primaria y el sector de generación eléctrica .....	32
Figura 24: Evolución del peso de las energías renovables en la matriz de energía primaria .....	32
Figura 25: Evolución de la eficiencia de las células fotovoltaicas por tecnología.....	35
Figura 26: Reducción prevista de costes para una instalación fotovoltaica en España.....	37
Figura 27: Costes marginales a largo plazo de generación solar fotovoltaica basada en tecnología de polisilicio en España (instalaciones de más de 300 kWp) .....	37
Figura 28: Evolución propuesta para los objetivos de potencia instalada en línea con escenario Sostenible de cobertura de la demanda en 2020.....	38

## 1. Carta de presentación

La energía solar fotovoltaica es la forma más sencilla de generar electricidad. Por sus características, debe desempeñar un papel fundamental a la hora de cubrir las necesidades energéticas futuras, tanto de los 2.000 millones de personas que todavía carecen de electricidad, como de las sociedades desarrolladas que demandan una energía limpia y respetuosa con el medio ambiente.

España, gracias a la aplicación de una firme política de Estado de fomento de las energías renovables, es un líder internacional en estas fuentes en general y en fotovoltaica en particular. El país cuenta con un pujante desarrollo industrial y sectorial que crea empleo cualificado, que distribuye rentas en zonas habitualmente deprimidas y que contribuye sobresalientemente a la I+D+i nacional.

En este contexto, la Asociación de la Industria Fotovoltaica (ASIF) y la Asociación de Productores de Energías Renovables (APPA) hemos pedido a la consultora Arthur D. Little un informe estratégico sobre el coste que tendría para los consumidores españoles el cumplimiento de los objetivos europeos de 2020 en materia de renovables, para lo que resulta indispensable un incremento de la presencia de la fotovoltaica.

El informe analiza dos escenarios de demanda eléctrica para el período 2008-2020 (denominados “Continuista” y “Sostenible”) y sus repercusiones sobre las energías renovables en general y la fotovoltaica en particular.

Partiendo del importante y progresivo descenso del coste de producción de electricidad del sector –a medio plazo se equiparará a la tarifa doméstica–, las conclusiones revelan con claridad que la sociedad española puede asumir perfectamente una importante participación de la fotovoltaica en su mix de generación y, con ello, beneficiarse de sus ventajas:

- puestos de trabajo y tejido industrial,
- factor multiplicador de la I+D+i aplicada,
- ahorro de emisiones de gases contaminantes,
- reducción de la dependencia energética y mejora de la eficiencia energética
- menores pérdidas en las redes de distribución...

En consecuencia, consideramos que la Administración debe apostar por la energía fotovoltaica como uno de los principales mecanismos para cumplir los objetivos de 2020 y mantener su liderazgo en el proceso global de transformación energética. Para ello, se necesita una regulación que mantenga la confianza de la inversión en el sector, de modo que, potenciando la incorporación de la tecnología a la edificación, se mantenga un ritmo de instalación anual de 400 MW a 500 MW.

Confiamos en que este estudio y su análisis –sobre los que fundamentamos nuestra propuesta de medidas para desarrollar el sector fotovoltaico español– sean una referencia general y una herramienta para elaborar los futuros planes energéticos.

Finalmente, queremos transmitir nuestro agradecimiento a todas las personas y entidades que han participado en su elaboración, sin cuyo apoyo no hubiera sido posible.



Javier Anta  
Presidente  
Asociación de la Industria Fotovoltaica



Miguel José Arrarás Paños  
Presidente sección Fotovoltaica  
Asociación de Productores de  
Energías Renovables

ASIF (Asociación de la Industria Fotovoltaica): La Asociación de la Industria Fotovoltaica es una Asociación privada sin ánimo de lucro que nace el 17 de abril de 1998. Es una asociación de ámbito estatal con presencia y representación en el ámbito autonómico, y con vínculos de cooperación con la Unión Europea y otros países.

Con su actividad, ASIF pretende vertebrar a las empresas de la Industria Solar Fotovoltaica y conseguir, todos unidos, que este tipo de tecnología energética en España alcance todo su potencial, y contribuya de forma importante a la consecución de los objetivos medioambientales establecidos. La Asociación es un foro de encuentro para más de 400 empresas, en el que están integrados fabricantes de módulos, de componentes, instaladores, distribuidores, ingenierías y consultorías, promotores, exportadores, centros tecnológicos, de formación y otras empresas o entidades involucradas en el aprovechamiento del efecto fotovoltaico como fuente de energía eléctrica.

Su objetivo principal es potenciar, prestigiar y desarrollar el sector fotovoltaico, aportando sus conocimientos y experiencia al mercado español y a las autoridades responsables, tanto a nivel estatal como autonómico y local.

Puede encontrar más información sobre ASIF: [www.asif.org](http://www.asif.org)

APPA (Asociación de Productores de Energías Renovables): La Asociación de Productores de Energías Renovables-APPA es una asociación que agrupa a más de cuatrocientas treinta empresas que operan en el sector de las energías renovables. APPA, fue creada en 1987, y es la única asociación de ámbito estatal en la que están representadas todas las energías renovables. APPA está conformada por ocho secciones: minihidráulica, eólica, fotovoltaica, biomasa, biocarburantes, termoeléctrica, minieólica y marina. Su misión es la coordinación, representación y defensa de los intereses del sector ante la Administración y la sociedad, así como participar en la elaboración de políticas generales.

APPA es miembro de la Asociación Europea de Minicentrales Eléctricas (ESHA), de la Asociación Europea de Energía Eólica (EWEA), de EUFORES, el Foro Europeo de las Energías Renovables, y fundador de la Federación Europea de Energías Renovables (EREF), de la que un directivo de APPA ha sido elegido primer presidente. APPA está representada en el Consejo Consultivo de Electricidad de la Comisión Nacional de Energía (CNE) y forma parte del Comité de Agentes del Mercado Español de Electricidad, del EREN, y de distintos organismos de cuenca.

Puede encontrar más información sobre APPA en: [www.appa.es](http://www.appa.es)

En Arthur D. Little consideramos que, en un entorno de creciente dependencia energética, elevados precios de combustibles fósiles y emisiones por encima de las comprometidas con nuestros socios europeos, las renovables en general y la solar fotovoltaica en particular deberán jugar un papel fundamental en la cobertura de la demanda eléctrica de España. Nuestro estudio evalúa de forma detallada el impacto que una mayor introducción de las energías renovables tendría en todos aquellos aspectos que la política energética del Gobierno debería considerar.

Queremos también transmitir nuestro agradecimiento a todas las personas que han puesto a disposición de este proyecto tanto en la red internacional como al personal y socios de ASIF y APPA, sin cuya dedicación éste no habría sido posible.

Jesús Ruiz Ibán  
Resp. Práctica de Energía  
Arthur D. Little

Salman Ali  
Resp. Práctica de Estrategia  
Arthur D. Little

Arthur D. Little es la primera firma de consultoría del mundo, fundada en 1886 en Cambridge, Massachusetts, EEUU. Somos líderes en innovación, combinando el conocimiento sectorial, la experiencia funcional y las habilidades tecnológicas para ayudar a nuestros clientes a crecer y generar valor. Durante 120 años hemos venido reinventándonos y renovándonos continuamente a fin de acercarnos a nuestros clientes con una base de conocimiento innovador y experiencia en empresas líderes de diversos sectores a nivel mundial. Conjuntamente con nuestros socios Altran Technologies y Cambridge Consultants Ltd. contamos con 16.000 profesionales a su disposición en más de 40 oficinas en todo el mundo.

Puede encontrar más información sobre Arthur D. Little en: [www.arthurdlittle.com](http://www.arthurdlittle.com)

## 2. Principales conclusiones

Consideramos que a medio y largo plazo la energía solar fotovoltaica debería jugar un papel significativo en la cobertura de la demanda eléctrica en España. El modelo actual de cobertura no es sostenible, ya que a medio y largo plazo implicaría unas emisiones de gases de efecto invernadero muy por encima de las comprometidas por nuestro país a nivel internacional y un aumento de la ya elevada dependencia energética. La solar fotovoltaica, con un potencial de desarrollo casi ilimitado en nuestro país y un fuerte apoyo social que facilita su despliegue, deberá contribuir de manera significativa a la cobertura de la creciente demanda eléctrica. Según nuestras estimaciones y considerando un fuerte desarrollo de otras alternativas de generación renovable, la cobertura sostenible de la demanda peninsular en 2020 podría requerir de unos 20 GW de potencia solar fotovoltaica.

Consideramos también que la Administración debe mantener el apoyo al desarrollo de la solar fotovoltaica en el corto plazo. A pesar de que los costes explícitos de la solar fotovoltaica son hoy en día superiores a otras alternativas, el rápido desarrollo tecnológico permitirá una reducción significativa en los próximos años. Si bien este progreso tecnológico tendrá lugar independientemente de la política energética española, el desarrollo de la industria nacional sí se verá significativamente afectado por las condiciones en nuestro país. Una interrupción del apoyo actual impediría a las empresas españolas acometer las inversiones necesarias para ser competitivas en el mercado internacional, comprometiendo su supervivencia. La oportunidad de potenciar una industria nacional fotovoltaica desarrollada, con sus implicaciones en la creación de riqueza en nuestro país, no debe ser desaprovechada. Estimamos que, dado un apoyo continuado que apunte a una cobertura sostenible de la demanda, la industria fotovoltaica española podría emplear hasta 56.000 personas en 2020 en las actividades manufacturera y de instalación y mantenimiento, empleo este concentrado habitualmente en zonas desfavorecidas.

Si bien un incremento de la capacidad de generación solar fotovoltaica tendría un coste explícito significativo para el sistema eléctrico, el coste final resultante en un modelo de cobertura sostenible estaría en línea con el coste actual en países de nuestro entorno. Según nuestras estimaciones, el coste explícito de cobertura de la demanda peninsular asumiendo un modelo sostenible sería de unos 4.200 millones de euros superior al de un modelo similar al actual. Esto implicaría un coste adicional de generación en 2020 de 2 c€/kWh. De trasladarse este incremento a los precios del segmento residencial, estos serían todavía claramente inferiores a los de otros países de la Unión Europea, donde la tarifa media doméstica para este segmento alcanzó en 2007 los 18,1 c€/kWh, llegando hasta los 31 c€/kWh en Dinamarca frente a los 15 c€/kWh en nuestro país.

Adicionalmente, el coste incremental del modelo sostenible de cobertura se vería compensado por la reducción de importaciones de combustibles fósiles, aliviando así la dependencia energética. Además se producirán ahorros debidos a reducciones incrementales en las emisiones de CO<sub>2</sub>, y menores necesidades de inversión en infraestructuras y de pérdidas eléctricas, al generar junto al consumo y en los momentos de mayor demanda.

Hemos estimado que, en un escenario en que el precio del petróleo se sitúa en 80 \$/barril de forma continua y consecuentemente el precio del gas alcanza unos niveles similares, el modelo de cobertura sostenible permitiría reducir las importaciones en unos 6.700 millones de euros en 2020 (para un nivel de paridad de 1€1\$), 1.100 debidos a la generación fotovoltaica. También estimamos que la reducción de las

emisiones de CO<sub>2</sub> en un modelo sostenible permitiría reducir el coste de adquisición de derechos para España en unos 1.350 millones de euros en 2020, considerando un precio promedio de 25 € por tonelada. Pero este coste no tiene en cuenta el impacto real de estas emisiones. Teniendo en cuenta este coste implícito, según los niveles estimados por el DEFRA (Departamento de Medioambiente del Reino Unido) el coste para el país podría aumentar entre 3.775 y 10.700 millones de euros para 70 y 200 € por tonelada CO<sub>2</sub> respectivamente. El ahorro por reducción de pérdidas, estimado en más de 270 millones de euros adicionales y los posibles ahorros asociados a inversiones en transporte y distribución, también contribuirían a compensar el coste para el sistema de la generación fotovoltaica.

En resumen, consideramos que la conjunción del potencial de creación de empleo con una ecuación económica potencialmente favorable y un apoyo social claro debería resultar en un apoyo significativo por parte de las Administraciones Españolas. Este apoyo debería concretarse tanto en la modificación del marco retributivo actual para la solar fotovoltaica, en la revisión al alza del objetivo de potencia instalada contemplado actualmente por la Administración a corto plazo, así como el establecimiento de un objetivo de potencia adecuado en el horizonte 2020.

En concreto y en lo que al marco retributivo se refiere, consideramos que sería necesaria la eliminación de la escalación ligada a la inflación de la tarifa, ya que la gran mayoría de los costes se producen antes de la puesta en marcha de la instalación.

Adicionalmente, recomendamos que se revise el actual remanente de tarifa a partir de los 25 años, que debería ser similar a la retribución que en ese momento se considere para una nueva instalación. En cuanto al nivel de tarifas, consideramos que debido al rápido desarrollo tecnológico debería establecerse una revisión anual, aunque siempre dentro de un rango de reducción prefijado que permita a los inversores afrontar los proyectos con cierta seguridad sobre los flujos futuros.

Por último, en cuanto a los objetivos de potencia instalada, consideramos que frente al modelo actual de tope de potencia y un periodo de gracia para proyectos en curso, debería trabajarse con objetivos indicativos de potencia instalada. La combinación de estos objetivos indicativos con una revisión anual de la tarifa permitiría a la Administración un mayor grado de control sobre la potencia instalada que el modelo actual. Si la Administración no se plantea una modificación de este calado, sería razonable optar por una fijación de objetivos de potencia ligada a la reducción progresiva de la tarifa.

### 3. Situación actual del sector fotovoltaico español

#### 3.1. Estructura industrial

##### 3.1.1. Potencial de la generación fotovoltaica en España

España, por su localización y climatología, es uno de los países de Europa donde el recurso solar es más abundante. Adicionalmente presenta la ventaja de distribuirse por el territorio de una manera relativamente homogénea, produciéndose escasas variaciones en la irradiación solar en distancias inferiores a los 100 km. Esta característica permite distribuir la potencia instalada en torno a las grandes aglomeraciones de consumo, en lugar de adecuar dicha distribución a las características geográficas del territorio. Esta capacidad, de ser aprovechada adecuadamente, permitiría reducir las necesidades de infraestructuras de transporte y distribución. Cabe destacar la importancia de esta característica a la luz de la resistencia pública al desarrollo de nuevas infraestructuras de transporte y distribución en España, uno de los principales responsables de los problemas de calidad de suministro que presenta nuestro sistema.

Adicionalmente las instalaciones solares fotovoltaicas no requieren de características geográficas específicas para ser productivas. En esto, la solar fotovoltaica difiere de otras fuentes renovables como la eólica, en la que la selección de emplazamientos debe considerar las características del viento y en numerosas ocasiones obliga a situar la generación en zonas de baja demanda. Los emplazamientos económicamente explotables limitarán también el desarrollo de la energía eólica.

En otras tecnologías renovables como biomasa e hidráulica la disponibilidad del recurso también es un factor limitante, en comparación con el recurso ilimitado de la energía fotovoltaica.

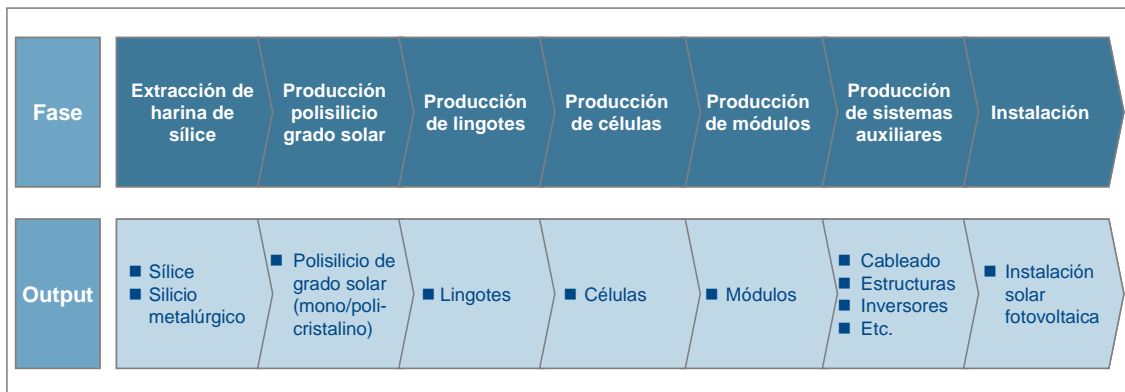
El recurso solar no presenta estas limitaciones, estando tan sólo limitado por el territorio disponible. En un escenario hipotético en el que se desarrollasen formas de almacenamiento de la energía lo suficientemente amplias, las instalaciones solares podrían satisfacer la demanda total nacional del año 2006 ocupando tan sólo un 1,1% del territorio. En la práctica la energía solar fotovoltaica presenta unas posibilidades de desarrollo prácticamente ilimitadas.

##### 3.1.2. Desarrollo de la industria solar fotovoltaica española

#### **Caracterización de la industria solar fotovoltaica**

El sector fotovoltaico se caracteriza por una larga cadena de actividades desde la extracción de la materia prima -silicio- hasta la explotación de la instalación de producción. Existen distintos procesos productivos, basados tanto en el polisilicio como en otros materiales. La Figura 1 muestra el proceso más común.

Figura 1: Cadena de valor de la industria solar fotovoltaica



Fuente: Análisis Arthur D. Little

El proceso se inicia con la extracción del silicio metalúrgico desde su materia prima, la harina de sílice. Este material se purifica para producir un silicio metálico con propiedades semiconductoras. El proceso continúa con la producción de lingotes que a posteriori se cortan en capas finas u obleas. El proceso (monocristalino, policristalino) y el tamaño del lingote son factores críticos para determinar la cantidad de energía producida por cada oblea una vez transformada en célula. Una vez cortado el lingote en obleas, estas son sometidas a varios procesos de tratamiento químico e impresión para transformarlas en células. Un módulo es el resultado de interconectar entre 12 y 60 células y sellarlas entre capas de plástico y cristal protectores para posibilitar su explotación en una instalación solar. Una instalación solar fotovoltaica se compone de muchos otros elementos además de los módulos. Dichos elementos pueden llegar a constituir hasta un 40% de los costes totales de la instalación. Entre estos elementos se incluyen componentes como inversores de corriente, estructuras de soporte y otros equipamientos eléctricos para la evacuación de la potencia desde los paneles hasta la interconexión con la red.

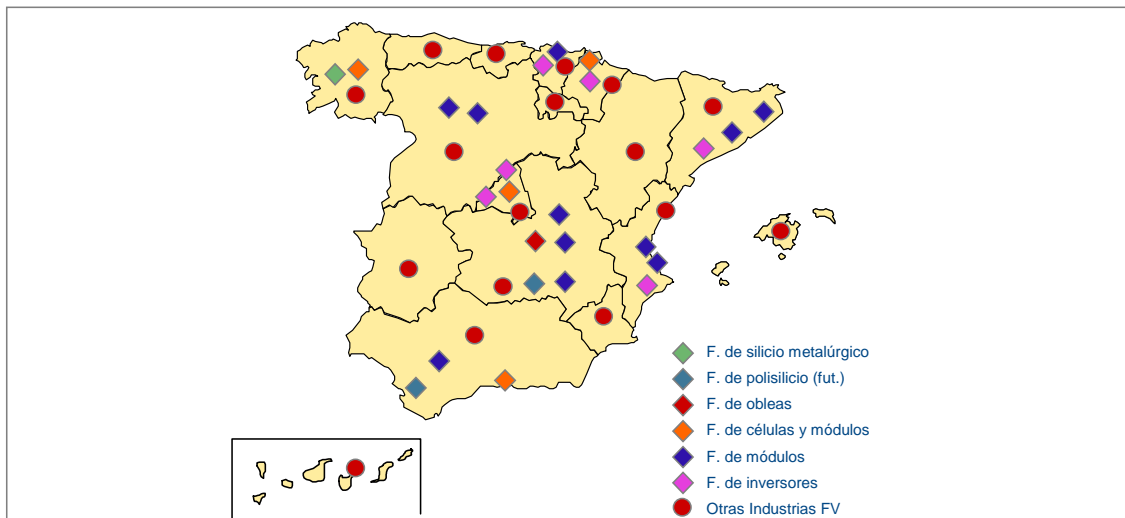
La industria solar es una industria global. Actualmente el negocio de fabricación de polisilicio está controlado en su mayor medida por grandes grupos empresariales que además de suministrar al sector fotovoltaico también proveen al sector de semiconductores. La escala mínima eficiente para este negocio se sitúa entre 125 y 250 MWp equivalentes de polisilicio, lo que ha resultado en que, históricamente, la industria de fabricación “aguas abajo” ha estado relativamente desconectada de la de producción de polisilicio, a excepción de los pocos productores que han apostado por integración “aguas abajo”.

A medida que bajamos por la cadena de valor, la industria del polisilicio se va fragmentando progresivamente. La estructura del mercado de lingotes y obleas está transformándose rápidamente con el crecimiento en las dimensiones de las células. La tendencia hacia células de mayor tamaño y menor espesor implica una creciente necesidad de inversión para adaptar el proceso productivo, lo que llevará a una consolidación del sub-sector en el futuro. El sector de fabricación de células o módulos tampoco ha escapado a los rápidos avances. El sector de fabricación de células es un sector altamente concentrado, aunque con tendencia a la desconcentración. El motivo es que la escala óptima para la fabricación de células se ha mantenido estable al mismo tiempo que se producía un crecimiento significativo de la demanda. Las instalaciones más avanzadas tienen capacidades de producción que se sitúan como media entre 40 y

60 MWp/año, no obstante, el negocio de fabricación de módulos ha tenido una escala óptima muy inferior, entre 3 y 10 MWp/año.

La base industrial local española refleja fielmente esta estructura global. Hasta hoy, las apuestas empresariales en España se han centrado en fabricación de células y módulos, a excepción de Isofotón, empresa que también está activa en la fabricación de obleas. La Figura 2 muestra la actividad empresarial desarrollada en España a fecha de hoy. La industria española está inmersa en un proceso de integración vertical completa, reduciendo la dependencia del exterior a través de nuevos proyectos empresariales enfocados en la producción de silicio. Esta integración vertical redundará también en una mayor estabilidad de nuestras compañías ante posibles escenarios futuros de precios de polisilicio.

**Figura 2: Fábricas de componentes fotovoltaicos en España**

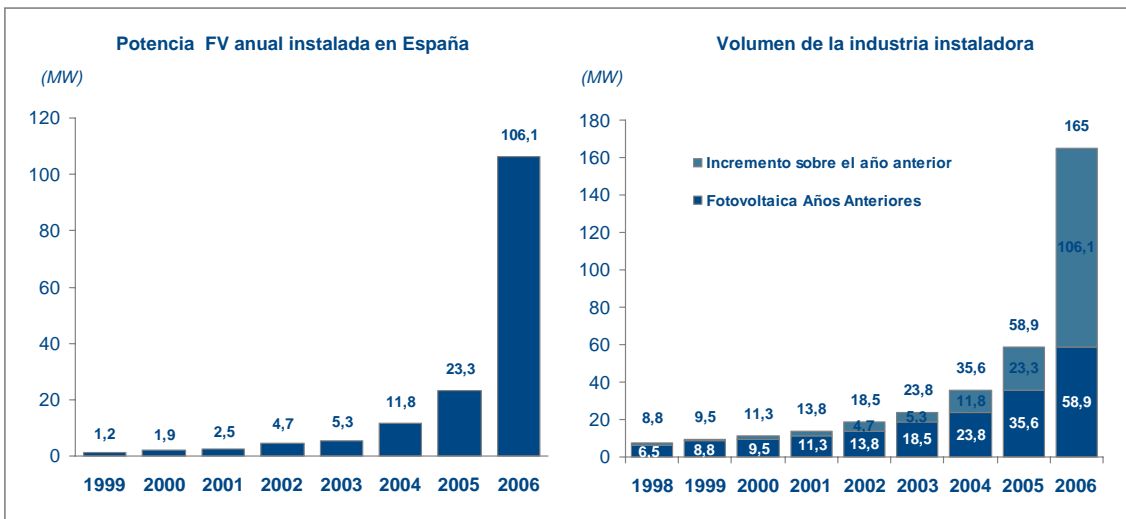


Fuente: ASIF

### **Desarrollo reciente de la industria solar fotovoltaica en España**

En España el apoyo normativo ha permitido a la industria solar fotovoltaica dar un salto cualitativo durante los últimos cinco años. Como se puede comprobar en la Figura 3, durante el año 2006 se pusieron en servicio instalaciones por más de 100 MWp, más que los 60 MWp instalados durante todos los años anteriores.

**Figura 3: Potencia fotovoltaica anual instalada y volumen de la industria instaladora en España**



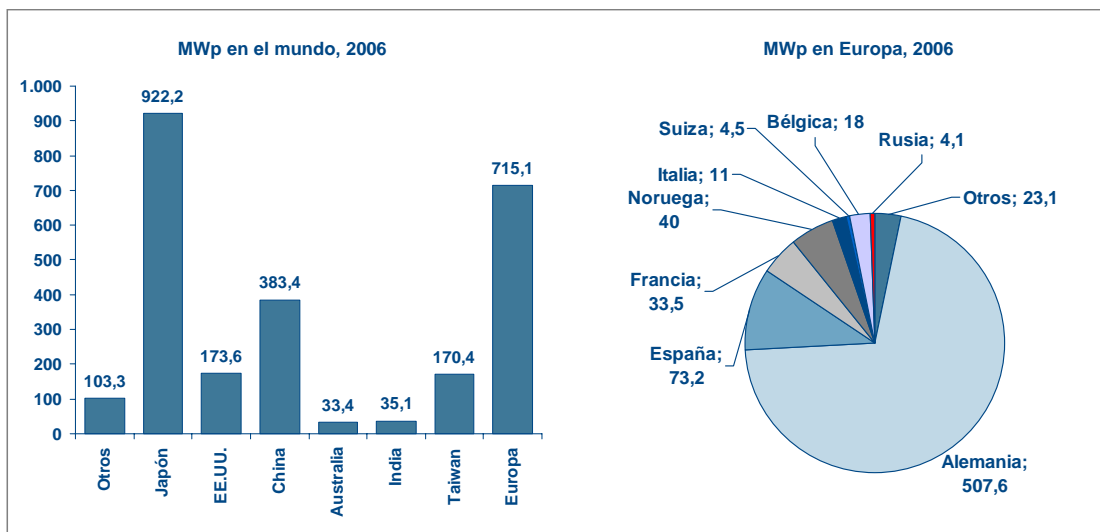
Fuente: ASIF

Este crecimiento exponencial de la potencia fotovoltaica instalada desde el año 2000 ha posibilitado el desarrollo sostenido de la industria nacional. España cuenta a día de hoy con una sólida industria fotovoltaica, que, en función del desarrollo normativo nacional e internacional, podría continuar creciendo en los próximos años.

*Fabricación de células y módulos:*

El desarrollo reciente ha permitido a la industria de fabricación fotovoltaica nacional situarse al frente de los países más desarrollados dentro del sector y ocupar la segunda plaza a nivel europeo y la cuarta a nivel mundial en potencia instalada anual, y la segunda a nivel europeo y sexta a nivel mundial en capacidad de fabricación de células (10% de la producción europea en 2005 y 3 % de la fabricación mundial), como se puede observar en la Figura 4.

**Figura 4: Fabricación mundial de células fotovoltaicas en 2006**



Fuente: ASIF

El empuje de las empresas fabricantes ha permitido incrementar la capacidad de producción de módulos desde los 30 MWp/año en 2001 hasta los 400 MWp/año reportados en la actualidad. Cabe también destacar que la mayor parte de las empresas están ejecutando o tienen planificadas importantes inversiones que les podrían permitir duplicar la capacidad en el corto plazo.

Los principales fabricantes que han contribuido al crecimiento de la capacidad de producción de módulos son los siguientes: Isofotón, BP Solar, Atersa, Gamesa Solar, Siliken, Grupo Solar, Guascor, Solaria, Instalaciones Pevafersa, Ensol y Vidursolar. Los principales actores en electrónica son: Atersa, Ingeteam y Enertron.

Este crecimiento en capacidad productiva viene también acompañado por un proceso de integración vertical, buscando la independencia de fabricantes internacionales de polisilicio y lingotes. Esta integración vertical permitirá en el futuro retener una mayor proporción de la creación de riqueza en nuestro país, así como mejorar la competitividad internacional de nuestras compañías.

#### *Fabricación de sistemas, instalación y mantenimiento:*

En los segmentos de fabricación de sistemas (estructuras de soporte, inversores, equipos de control, monitorización, etc.), instalación y mantenimiento, el desarrollo del sector ha resultado en la creación de un importante número de empresas de reducido tamaño. Estas empresas dan servicios auxiliares críticos para la industria y son clave en la creación de empleo, especialmente en las zonas más desfavorecidas. Las asociaciones sectoriales estiman que desde el año 2000 hemos pasado de 200 empresas hasta más de 600 en 2006.

#### *Producción y Promoción:*

El apoyo normativo ha permitido a la industria solar fotovoltaica dar un salto cualitativo durante los últimos cinco años. Los productores y promotores activos en España, en su mayoría de origen nacional, han sido los agentes que han permitido un incremento significativo en la puesta en servicio de nuevas instalaciones fotovoltaicas. Durante el año 2006 se pusieron en servicio instalaciones por más de 63 MWp, cifra superior a los 44 MWp instalados durante todos los años anteriores. Estas aperturas han supuesto una inversión de 360 millones de euros sólo en 2006 y casi 800 millones de euros desde el arranque de la industria en nuestro país.

Su actividad de instalación anual es el motor del desarrollo de los demás actores del sector, generando empleo en la instalación, y mantenimiento de las instalaciones fotovoltaicas así como en la fabricación de componentes.

### *3.1.3. Costes de generación fotovoltaica en España*

El coste de la generación fotovoltaica se encuentra en continua evolución debido al rápido desarrollo tecnológico. Los elementos de coste más determinantes son: módulos o paneles fotovoltaicos, estructuras de soporte, inversores de corriente, transformadores, líneas de evacuación, cableado y equipos eléctricos, acondicionamiento e instalación.

En la actualidad, el importe de la inversión inicial es el componente de coste más relevante en una instalación fotovoltaica. Hemos realizado un análisis basado en los costes marginales a largo plazo de generación eléctrica para instalaciones en suelo con tamaños por encima de 300 kW. Basándonos en unos costes de inversión de entre 5,2 y 5,5 €/Wp, se estima un rango de costes de generación de entre 36 y 38 c€/kWh. Esto

implicaría una bajada de entre un 7% y un 12% sobre la tarifa vigente para grandes instalaciones desde los 41,75 c€/kWh actuales, sin que sea necesario que la tarifa escale con el IPC, ya que aproximadamente el 95% de los costes se producen antes de la entrada en operación de la instalación.

Arthur D. Little ha basado las estimaciones de costes en su amplia experiencia en el sector eléctrico y de las energías renovables. Nuestras conclusiones se han desarrollado a partir de un trabajo de campo que ha consistido en contrastar opiniones con los principales actores del sector fotovoltaico en España, englobados en la red de ASIF y APPA (promotores, fabricantes, instituciones financieras, empresas de servicios, etc.), además de encuestas independientes a fabricantes de ámbito global.

El futuro de la energía solar fotovoltaica depende del desarrollo continuo en todos los elementos de una instalación fotovoltaica. Estos avances se han conseguido bajo la presión competitiva que el modelo de “Feed-in tariffs” aplica a todos los actores de la cadena de valor.

En los últimos años, la presión de reducción de costes se ha concentrado sobre los fabricantes de módulos. Esta presión ha sido tanto en precio como en garantía de entrega. Además, la escasez de polisilicio -la materia prima más común para la fabricación de módulos- ha obligado a los fabricantes a firmar acuerdos a largo plazo con sus proveedores a precios elevados. Esto ha creado una dinámica de eficiencia en el uso del polisilicio que ha provocado una bajada en el consumo de dicha materia, desde 16-20 g/Wp hasta 8-10 g/Wp actualmente. Este fenómeno se ha reflejado favorablemente en los márgenes del sector en general, y más importante aún, en su capacidad de invertir para mejorar aún más los costes. Dado que el mercado de paneles es global, estos ahorros han impactado directamente en el mercado español.

Los demás elementos de coste tienen un componente local alto. La estandarización existente en los componentes de uso mecánico-eléctrico genérico es un modelo a duplicar para los componentes específicos del sector, como por ejemplo, inversores de corriente, cableado de corriente continua, telemetría, y estructuras de soporte. El proceso de producción de dichos componentes específicos ha de ser estandarizado además de industrializado de cara a reducir sus costes y mejorar sus rendimientos.

En lo que respecta a los costes de instalación y obra civil, España está avanzando progresivamente, adoptando nuevos métodos y prácticas para reducir costes de instalación. Sin embargo, aún quedan áreas por mejorar, entre ellas: mejora en la logística de provisión; mayor coordinación o integración entre el diseño de estructuras de soporte y su instalación; consideración de aspectos ambientales en el diseño del cableado eléctrico; conocimiento sobre prácticas de mantenimiento eficaces, etc. La inversión continuada en instalaciones fotovoltaicas es un requisito imprescindible para conseguir estas mejoras y permitir que la sociedad pueda beneficiarse de la reducción de costes asociados a ello. Esta mejora progresiva permitirá a España situarse al nivel de otros países más avanzados.

### *3.1.4. Impacto potencial del desarrollo de la generación fotovoltaica en España*

#### **Creación de empleo**

El importante crecimiento experimentado por el sector fotovoltaico durante los últimos cinco años ha resultado en una importante creación de empleo, pasando de unos 600

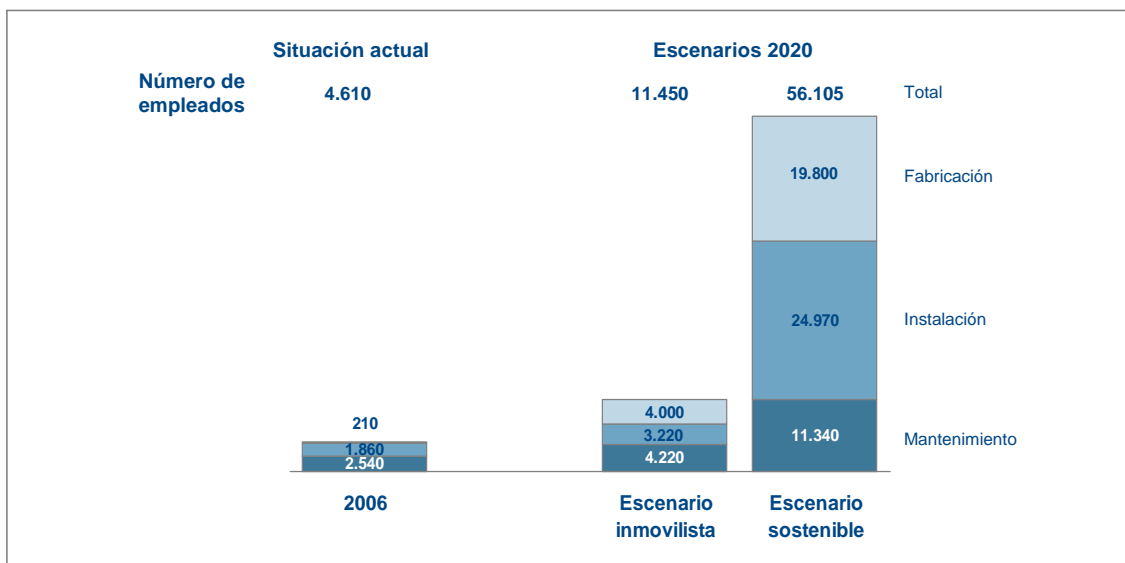
empleos directos en 2001 hasta los cerca de 4.500 empleos en fabricación e instalación a día de hoy, además de 2.000 puestos adicionales en centros de formación, tecnología I+D+i, seguros, banca etc.

Hasta el momento, la creación de empleo se ha concentrado fundamentalmente en el segmento de fabricación, si bien según aumente la base instalada se espera que el peso de este segmento disminuya, dando paso a un mayor protagonismo a los instaladores y a las empresas encargadas del mantenimiento de las instalaciones en operación. Los ambiciosos planes de inversión de las empresas fabricantes y su incursión en los segmentos de fabricación de polisilicio y lingotes contribuirán a mantener la creación de empleo en este segmento.

Un apoyo continuado a la solar fotovoltaica como el que este estudio propone, permitiría conservar los puestos de trabajo existentes y mantener la creación de empleo a largo plazo.

Hemos realizado una estimación del nivel de empleo consecuente con los escenarios de desarrollo propuestos más adelante en este documento (ver punto 4.2.3). La Figura 5 ilustra nuestras estimaciones de generación de empleo en la actualidad y en los escenarios previstos, que consideran el potencial futuro de automatización de los procesos productivos en cada elemento de la cadena de valor, tal y como se ilustra en la Figura 6. El punto de partida se basa en la información suministrada por ASIF y APPA, en línea con estimaciones realizadas por la EPIA (European Photovoltaic Industry Association).

**Figura 5: Previsión del número de empleos directos generados por la industria solar fotovoltaica**



Fuente: EPIA, análisis Arthur D. Little

Figura 6: Factores considerados en la estimación del nivel de empleo generado

	Situación actual (2006)			Escenario Inmovilista (2020)			Escenario sostenible (2020)		
	Empleos	Capacidad (MW)	Empleos / MW Capacidad	Empleos	Capacidad (MW)	Empleos / MW Capacidad	Empleos	Capacidad (MW)	Empleos / MW Capacidad
<b>Fabricación</b>	2.544	212	12	4.220	1.407	3	11.341	3.780	3
<b>Mantenimiento</b>	212	106	2	4.010	4.010	1	19.800	19.800	1
<b>Instalación</b>	1.860	62	30	3.220	460	7	24.970	3.566	7
<b>Total empleos</b>	4.610			11.450			56.100		

Fuente: EPIA, análisis Arthur D. Little

En cuanto a la naturaleza del empleo creado, destacamos que, especialmente en las actividades de instalación y mantenimiento, el desarrollo de la generación fotovoltaica ha permitido crear nuevos puestos de trabajo estables en zonas rurales, generalmente desfavorecidas en términos de creación de empleo.

### Creación de capital tecnológico

Gracias al apoyo normativo y el desarrollo sectorial resultante, las empresas españolas fabricantes de equipos fotovoltaicos invirtieron durante 2006 unos 40 millones de euros en I+D+i. Esto supone alrededor del 7% de su facturación, cifra no sólo superior a la media de las empresas españolas con actividades de I+D+i, que se situó en un 1,85%, sino que también a la de otras industrias de gran intensidad tecnológica, como la química (1,26%), la farmacéutica (5,55%), la electrónica (2,7%) o las telecomunicaciones (2,23%). Combinando este mayor nivel de inversión con el fuerte crecimiento que el sector ha venido experimentando en los últimos años, el I+D+i del sector fotovoltaico tendrá una trascendencia creciente sobre los objetivos de I+D+i estatal, en particular de cara al cumplimiento del Plan Nacional de I+D+i 2008-2011.

Estas inversiones en I+D+i han permitido situar a empresas españolas al nivel tecnológico de líderes internacionales en campos como las células de concentración, tecnologías multicapa o de lámina delgada. La actividad tecnológica en el sector privado ha sido acompañada por centros de investigación públicos de reconocido prestigio internacional como el CENER, el CIEMAT y el IES (Instituto de Energía Solar) de la Universidad Politécnica de Madrid, patrocinado económicamente por la Comisión Europea, que colabora con algunas de las mayores empresas de la industria solar fotovoltaica europea.

El elevado potencial de desarrollo que todavía tiene el campo de la generación fotovoltaica, asegura que estos niveles de inversión en I+D+i son no sólo sostenibles sino necesarios para que las compañías mantengan su posición competitiva a nivel internacional.

Consideramos que debería quedar más patente lo siguiente: El desarrollo tecnológico de la industria española debe ir vinculado a la inversión en I+D+i, y se necesita tiempo

para madurar; para que de esta forma pueda crearse el mismo tejido industrial que se ha creado previamente con la energía eólica.

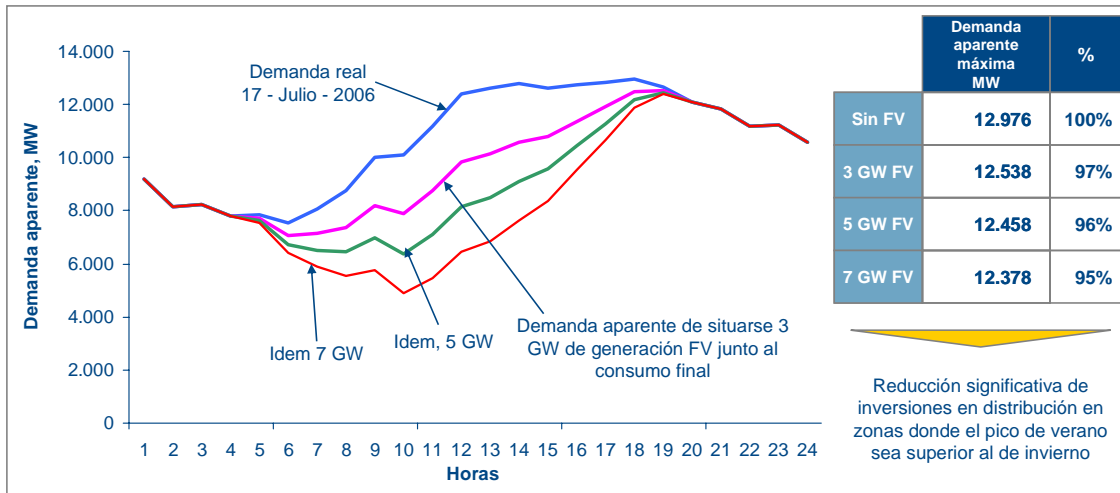
### **Refuerzo de la red de distribución y transporte**

Durante los últimos cinco años la conexión a la red de distribución y transporte de instalaciones de generación fotovoltaica ha resultado en la inversión de alrededor de 14 millones de euros en subestaciones, centros de transformación y líneas. Estas inversiones, además de permitir evacuar la producción de las instalaciones, han redundado en una mejora de la calidad de suministro para los consumidores finales. Esta mejora se ha producido además en áreas rurales donde generalmente la calidad es peor y el coste de mejorarla en muchos casos no justifica las inversiones necesarias. Para evaluar la importancia de estas inversiones, basta considerar que la inversión en red prevista por las principales compañías distribuidoras y Red Eléctrica de España es de 2.120 millones de euros al año en el período 2006-2011. Un aumento en la potencia anual instalada implicaría automáticamente un incremento de las inversiones en distribución. Asumiendo un nivel de instalación de 400 MW/año y manteniendo la proporción de inversión por unidad de potencia actual esto podría suponer más de 50 millones de euros al año, un 2% de la inversión anual prevista por las compañías eléctricas.

### **Contribución a la cobertura del pico de demanda en verano**

La generación solar fotovoltaica presenta un perfil de producción concentrado en los meses de marzo a septiembre y en las horas centrales del día. Este perfil se ajusta mejor que el del resto de energías renovables a la cobertura de la demanda punta del sistema en este periodo. Esta característica, además de permitir reducir la necesidad de mantener capacidad de generación para cubrir el pico de verano, podría permitir reducir las inversiones en redes de transporte y distribución. Una capacidad significativa de generación solar fotovoltaica integrada en el punto de consumo permitiría reducir la demanda aparente para el sistema en el pico de demanda de verano, reduciendo la necesidad de infraestructuras de transporte y distribución en aquellas zonas donde el pico de verano sea superior al de invierno. Una simulación de la contribución de la solar fotovoltaica a la reducción de la demanda aparente sobre el pico de verano del año 2006 muestra que 7 GW de solar fotovoltaica situados junto al consumo disminuirían la demanda pico en un 5%, valor superior al crecimiento anual del pico (ver Figura 7). Esto implicaría que con estos 7 GW podrían ahorrarse todas las inversiones de ese año en transporte y distribución destinadas a cubrir el pico en aquellas regiones donde este sea superior en verano que en invierno. Cabe destacar que durante los últimos años, debido al despliegue de sistemas de climatización, el crecimiento del pico de verano es superior al de invierno.

**Figura 7: Simulación de la contribución potencial de la solar fotovoltaica a la cobertura del pico de demanda en verano en el año 2006**

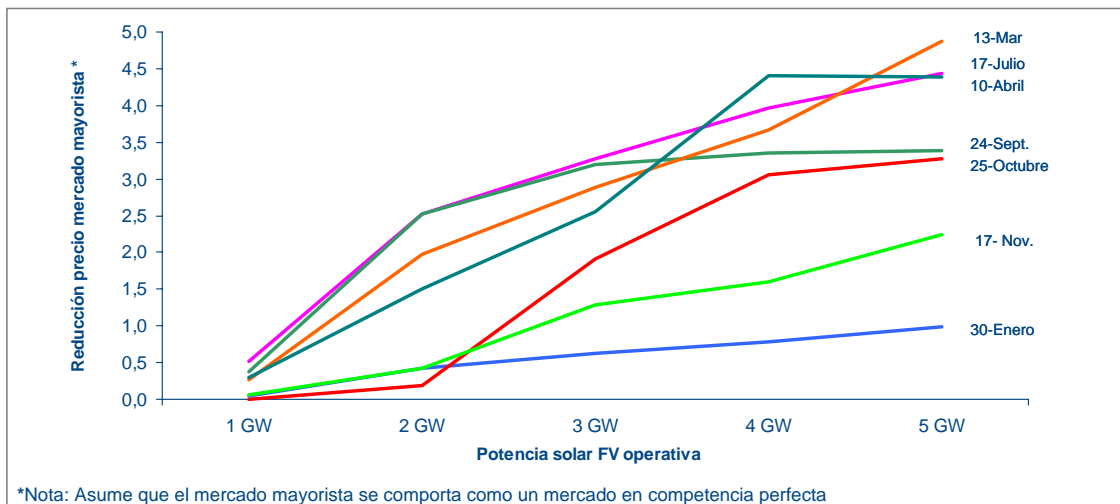


Fuente: análisis Arthur D. Little

### Reducción de los precios del mercado mayorista de electricidad

Por otro lado, y fundamentalmente en el corto plazo, la entrada de una capacidad de generación solar fotovoltaica significativa en el sistema español resultaría en una bajada de los precios del mercado mayorista, especialmente en las franjas horarias y estacionales donde la producción solar es más elevada. La estimación de esta reducción es complicada ya que es imposible predecir la evolución de las estrategias de oferta de las compañías generadoras, críticas en la fijación de precios. Sorteando esta dificultad hemos realizado una simulación del impacto que una mayor potencia solar instalada hubiera tenido sobre el precio del mercado diario durante algunos días tipo del año 2006 asumiendo que fuera un mercado en competencia perfecta. Esta simulación muestra reducciones de hasta 5 c€/kWh en función del día concreto y la capacidad de generación fotovoltaica operativa en el sistema (ver Figura 8). Cabe destacar que el Ministerio de Medio Ambiente Alemán computa esta reducción de precio del mercado al hacer el balance económico de la energía solar fotovoltaica.

**Figura 8: Simulación del impacto de una mayor potencia solar fotovoltaica operativa en el precio mayorista del año 2006**



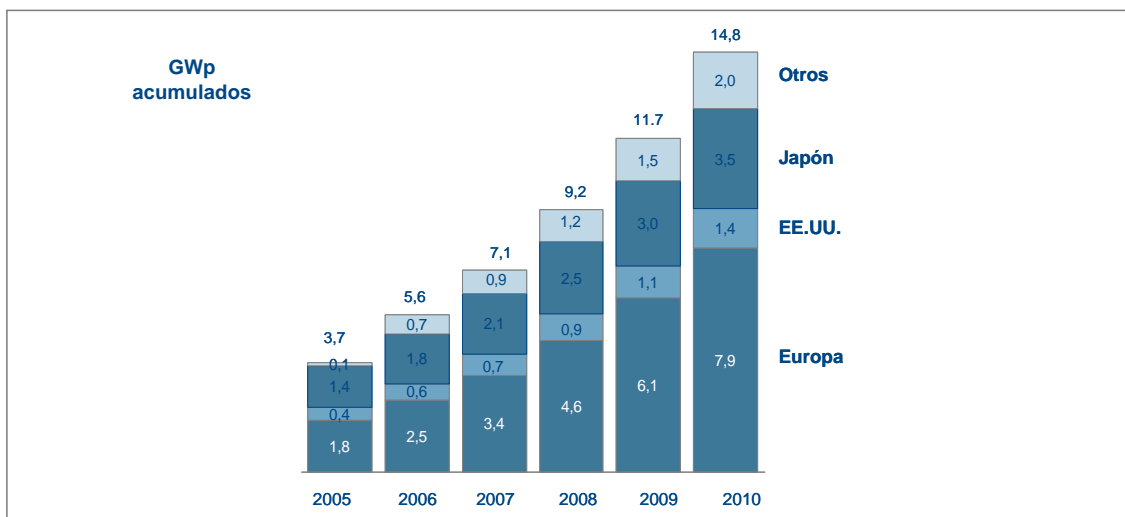
Fuente: análisis Arthur D. Little

## Potencial de crecimiento a nivel internacional

Para la industria española de fabricación de paneles fotovoltaicos el mercado internacional ha sido siempre muy relevante. Tradicionalmente, el 80% de la producción de módulos española era exportada, habiéndose reducido durante los últimos años esta cuota al 50% debido al empuje del mercado nacional. Si bien el papel del mercado nacional será siempre relevante, consideramos que a medio plazo el potencial del mercado internacional podría ser mucho mayor, como se muestra en la Figura 9.

En estos momentos los fabricantes españoles se encuentran en un momento crítico, apoyándose en el mercado nacional para soportar las inversiones en tecnología, consolidación e integración que les permitirán competir de manera sostenida en otros mercados. En estas condiciones y de replicarse el éxito de compañías españolas en otros segmentos de generación renovables, el sector podría capturar una cuota significativa del mercado internacional, lo que redundaría en una creación de riqueza adicional en nuestro país.

Figura 9: Previsiones mundiales de desarrollo de la energía solar fotovoltaica



Fuente: EPIA, análisis Arthur D. Little

## 3.2. Pulso social

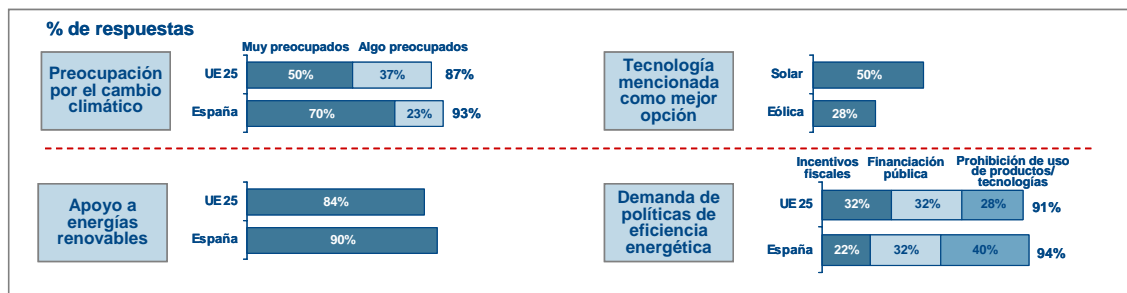
### 3.2.1. Apoyo social a la energía solar fotovoltaica

La energía solar fotovoltaica es una energía limpia y con poco impacto visual, que crea riqueza y desarrolla entornos rurales poco favorecidos. Esto ha provocado una amplia base de apoyo social, político y sindical que ha facilitado e incentivado el desarrollo de la industria.

Diversas encuestas realizadas sobre el uso de la energía fotovoltaica parecen demostrar que, a medida que crece la preocupación social por el cambio climático, el consumidor español presenta una actitud crecientemente favorable sobre el uso de tecnologías renovables frente a las alternativas convencionales de generación, y la energía solar fotovoltaica frente a otras alternativas renovables. Así pues, según los Eurobarómetros

sobre actitud de la población acerca de la energía publicados en enero de 2006 y abril de 2007, un 70% de los consumidores españoles está “muy preocupado” por el cambio climático y un 23% está “preocupado”. Este mismo estudio recoge que un 90% de los españoles (frente a un 84% de los europeos) opina que las energías renovables deberían tener una cuota mínima de base en el mix de generación y que un 72% rechaza la tecnología nuclear como alternativa. En dichos barómetros se muestra un decidido apoyo al desarrollo de la energía solar. Los resultados principales de los Eurobarómetros se muestran en la Figura 10.

**Figura 10: Resultado Eurobarómetros sobre actitud acerca de la energía**



Fuente: Comisión Europea

Los partidos políticos también han expresado su interés en el desarrollo de la energía solar fotovoltaica. En los programas electorales Marco de 2007 de los principales partidos se incluyen propuestas y medidas de cara a incrementar la cuota en el mix de generación de las energías renovables en general y la solar fotovoltaica en particular. Por ejemplo, el programa del PSOE incluye la intención de impulsar las nuevas energías renovables y promover el ahorro y la eficiencia energética, implantar la energía solar térmica y la energía solar fotovoltaica en grandes edificios, aumentar los procesos de contratación pública de las entidades locales de criterios de eficiencia energética y fomentar el uso de renovables y de prácticas medioambientales. También destaca la importancia de alcanzar el programa “objetivo 12%”. Este tiene el propósito de que en el año 2010 el 12% de la energía primaria consumida provenga de fuentes renovables. A su vez, el Partido Popular en su programa electoral incluye la intención de potenciar las instalaciones solares e incentivar el ahorro y la eficiencia energética en edificios así como la potenciación de la energía solar en edificios existentes, a través de convenios con empresas y comunidades de vecinos. CiU, por su lado, incluye su interés por una utilización progresiva de las energías renovables.

En las declaraciones públicas de altos cargos, tanto del PSOE como del PP, se expresa la intención unánime de cumplir con la exigencia de la Unión Europea de que el 20% de la energía primaria consumida en 2020 proceda de fuentes renovables. El Presidente del Gobierno, José Luís Rodríguez Zapatero, ha afirmado que el Gobierno está comprometido con que España esté “en el liderazgo” en la lucha contra el cambio climático y el uso de las energías renovables. El Vicepresidente Segundo, Pedro Solbes, califica el actual modelo español de política energética como el “peor de la UE” y subraya la necesidad de modificarlo. A su vez, el PP, a través de su portavoz energético en el Congreso, Fernando Castelló, critica el poco gasto en energías renovables.

La energía solar fotovoltaica también ha recibido el apoyo de organizaciones que no tienen intereses directos en el desarrollo de la energía fotovoltaica. Distintas

asociaciones ecologistas se han posicionado a favor del desarrollo de esta tecnología a futuro. Así, Greenpeace, en su informe “Renovables 2050” destaca el gran potencial de la energía solar fotovoltaica, asignando a esta tecnología un 22% de la potencia instalada en el mix propuesto para 2050. También las organizaciones sindicales han expresado su apoyo. En un informe conjunto sobre el desarrollo de la energía solar fotovoltaica de UGT, Comisiones Obreras y Ecologistas en Acción, se afirma que la energía fotovoltaica es una de las “más benignas con el medio ambiente” y concluyen que esta tecnología será “la que más se desarrolle en el futuro”.

### *3.2.2. Impacto en el entorno de la energía solar fotovoltaica*

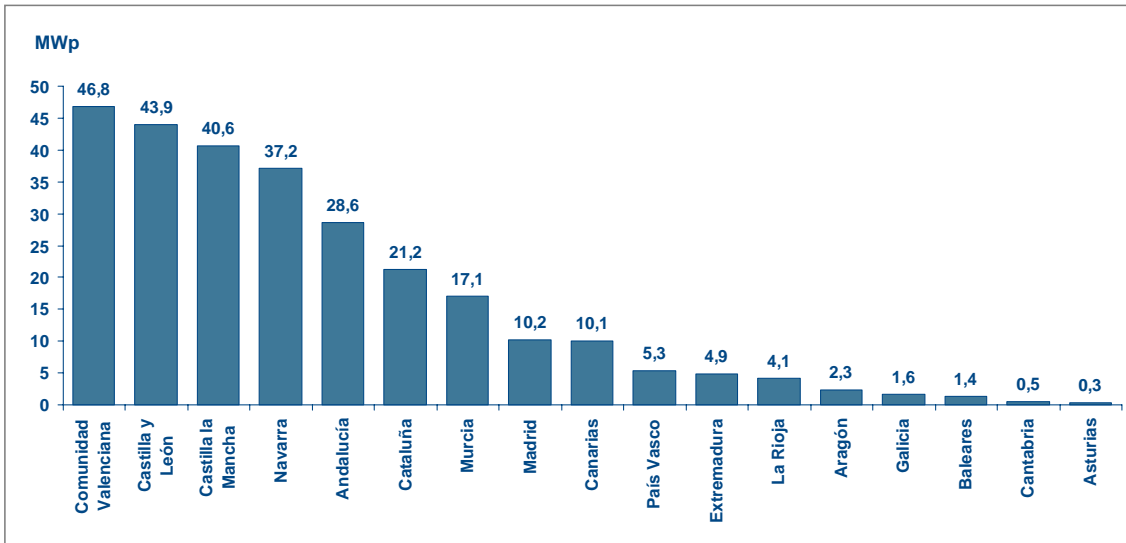
La generación de energía eléctrica a través de cualquiera de las tecnologías disponibles genera un impacto en el entorno. No obstante, algunas tecnologías generan mayores impactos que otras. El mayor impacto medioambiental de la generación de electricidad en la actualidad es la emisión de CO<sub>2</sub> por parte de las centrales que consumen combustibles fósiles (carbón, gas, fuel). Existen también otros impactos, como la generación de residuos radioactivos de prolongada vida media (nuclear) y los impactos físicos sobre el territorio, tanto visuales como de alteración de ecosistemas.

Las energías renovables son más respetuosas con el medio ambiente que las no renovables, ya que no producen emisiones contaminantes ni residuos tóxicos o radioactivos. Entre ellas, la solar fotovoltaica ha sido identificada en diversos estudios como la que genera electricidad con los menores impactos ambientales. Otros informes destacan factores positivos como la no utilización de sustancias peligrosas en su fabricación, su facilidad para adaptarse a la morfología de los lugares en que se instala, el reducido impacto acústico o existencia de vibraciones, y escasa incidencia de la captura de radiación solar al representar sólo un 10% de la radiación solar incidente.

### *3.2.3. Facilidad de acceso al recurso*

Una de las principales ventajas sociales de la energía solar fotovoltaica es la facilidad de acceso para inversores de todo tipo. La distribución homogénea del recurso solar permite, a diferencia de otras tecnologías renovables, la puesta en marcha de proyectos en todas las regiones y en un amplio rango de terrenos disponibles. Adicionalmente la modularidad de los equipos permite construir instalaciones de pequeña escala, permitiendo el acceso a inversores particulares. La integración en edificación, si bien más costosa, podría permitir participar en esta modalidad de generación a la gran mayoría de los consumidores. Esta facilidad de acceso se ve reflejada en el gran número de inversores que han tomado una participación activa en el desarrollo reciente de la energía solar fotovoltaica en España. ASIF y APPA estiman que más de 6.000 inversores han intervenido en la promoción de instalaciones hasta 2007, pudiéndose incrementar esta cifra de manera exponencial en caso de mantenerse los niveles de crecimiento actuales. La distribución geográfica actual de las instalaciones fotovoltaicas en España se muestra en la Figura 11.

Figura 11: Distribución geográfica instalaciones fotovoltaicas en España, noviembre de 2007



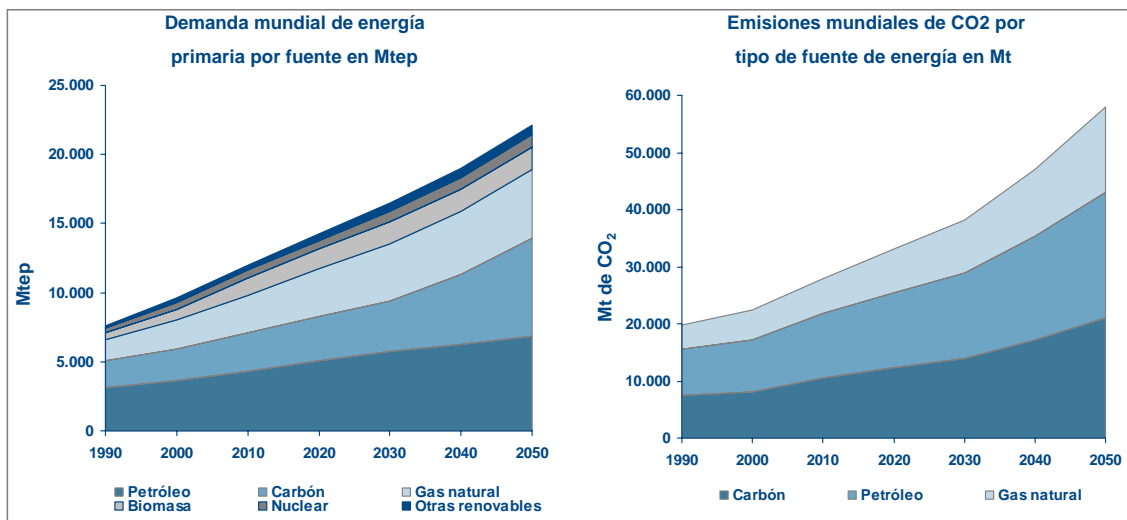
Fuente: ASIF, APPA

## 4. Papel de la generación fotovoltaica en la cobertura de la demanda energética española

### 4.1. Demanda energética global y cobertura actual

La demanda global de energía primaria ha crecido de manera continuada durante los últimos años y se espera que siga creciendo a un ritmo anual del 1,6% hasta el 2050, alcanzando los 22.100 millones de toneladas equivalentes de petróleo. Salvo un cambio radical en la política energética, los combustibles fósiles (petróleo, gas y carbón) continuarán cubriendo la mayor parte de esta demanda, con un 80% de la cuota de la demanda de energía primaria en 2050. Se espera que la demanda de carbón sobre el total de la energía primaria aumente de un 24% en 2005 hasta un 34% en 2050, superando al petróleo como la principal fuente de energía (ver Figura 12).

**Figura 12: Previsiones de demanda mundial de energía primaria y de emisiones mundiales de CO<sub>2</sub> por tipo de fuente de energía**

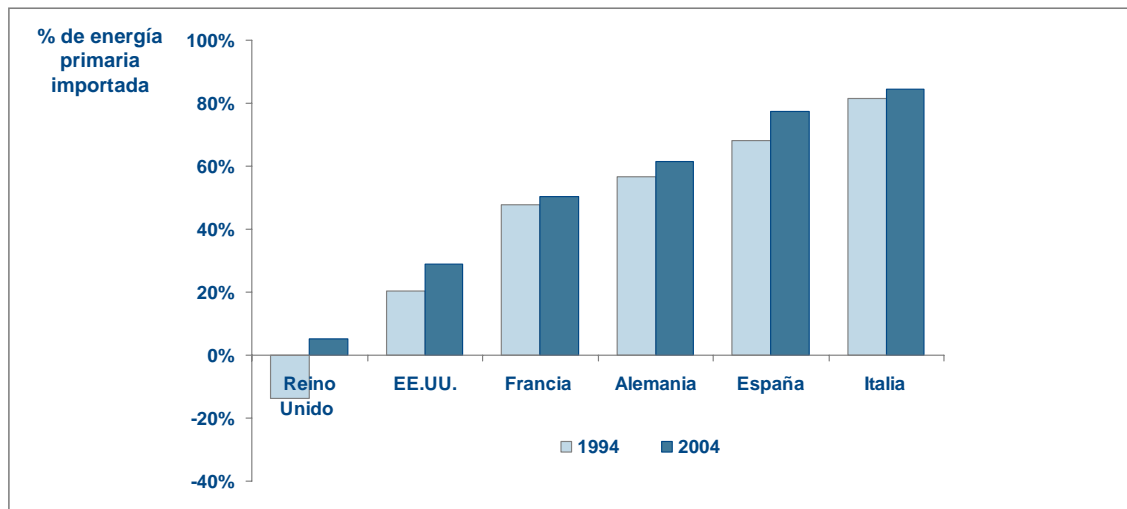


Fuente: IEA

Debido a este mayor uso de combustibles fósiles, el crecimiento esperado en la demanda energética implicará aumentos en las emisiones de CO<sub>2</sub>, que podrían crecer a un ritmo del 1,7% durante el periodo 2005-2050.

#### 4.1.1. El problema de la dependencia energética

En la actualidad buena parte de los países desarrollados cubren una parte importante de sus necesidades energéticas mediante combustibles fósiles. La inexistencia o agotamiento de yacimientos de petróleo y gas en Europa obligan a su importación desde otras regiones. Esta dependencia ya condiciona significativamente la política exterior de la Unión Europea y perjudica a su economía, al no revertir este gasto energético en la creación de riqueza. En la Figura 13 se muestra la dependencia energética de algunos de los países más industrializados.

**Figura 13: Grado de dependencia energética de algunos países desarrollados**

Fuente: Eurostat 2006, U.S. Energy Information Administration 2006

En el futuro, el previsible crecimiento de la demanda, combinado con la creciente concentración de reservas y producción en regiones políticamente inestables, resultará, si no se toman medidas, en una mayor dependencia y un mayor riesgo asociado a la misma. En las condiciones actuales y si se cumplen las previsiones de la Comisión Europea, la dependencia energética europea pasará del 50% actual hasta el 65% en 2030. Esta dependencia será especialmente acusada en petróleo, alcanzando el 93% y en gas natural, donde pasará del 57% al 84%. Incluso obviando el posible impacto de interrupciones imprevistas de la oferta, el mero pago por la energía importada podría suponer hasta 170.000 millones de euros en 2030 (a 100 \$/bbl, según la previsión elevada de precios del crudo de la EIA, 2007).

En estas condiciones no sorprende que el fomento de la independencia energética sea uno de los ejes principales de la política energética de la Unión Europea, siendo el impulso de las energías renovables uno de sus principales componentes.

En España la situación es aún más crítica, ya que, como se puede observar en la Figura 13, el 77,4% del total de la energía primaria consumida en 2004 fue importada. Aparte del coste evidente del pago por las importaciones energéticas, España ha tenido que incurrir en costes adicionales para diversificar las fuentes de suministro (plantas de regasificación) y para asegurar la existencia de un nivel de reservas estratégicas adecuado (almacenamientos subterráneos de gas natural).

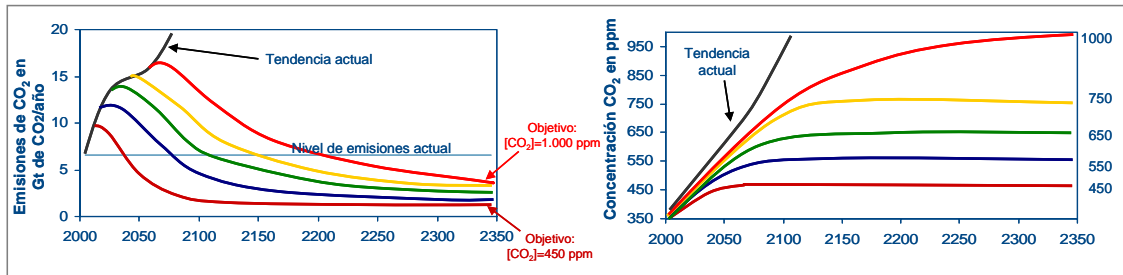
#### 4.1.2. El problema de las emisiones de gases de efecto invernadero

Hoy en día es generalmente aceptado que el aumento de la concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera es una de las principales causas del cambio climático y que este cambio puede tener un elevado impacto económico. Se estima que el CO<sub>2</sub> es el principal gas de efecto invernadero (60%-85% del impacto total), siendo los combustibles fósiles los principales causantes de su emisión.

La concentración actual de CO<sub>2</sub> en la atmósfera ronda las 380 partes por millón (ppm), sugiriendo los estudios realizados que no se debería superar el rango de 450-550 ppm si se quieren evitar efectos económicos importantes. Si no se adoptan políticas de control de las emisiones y se mantiene la tendencia actual, las concentraciones de CO<sub>2</sub> en la

atmósfera podrían aumentar hasta los 1.260 ppm en el año 2100. La estabilización de las concentraciones de los gases de efecto invernadero a niveles admisibles exigirá no sólo la simple reducción en el crecimiento de las emisiones, sino una importante reducción en términos absolutos de las mismas. En la Figura 14 se muestra la tendencia actual de crecimiento en las emisiones mundiales de CO<sub>2</sub> y su efecto sobre la concentración atmosférica de este gas (curva de color negro). Las demás curvas mostradas representan escenarios de reducción de emisiones de ambición creciente y el nivel de concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico resultante en ppm.

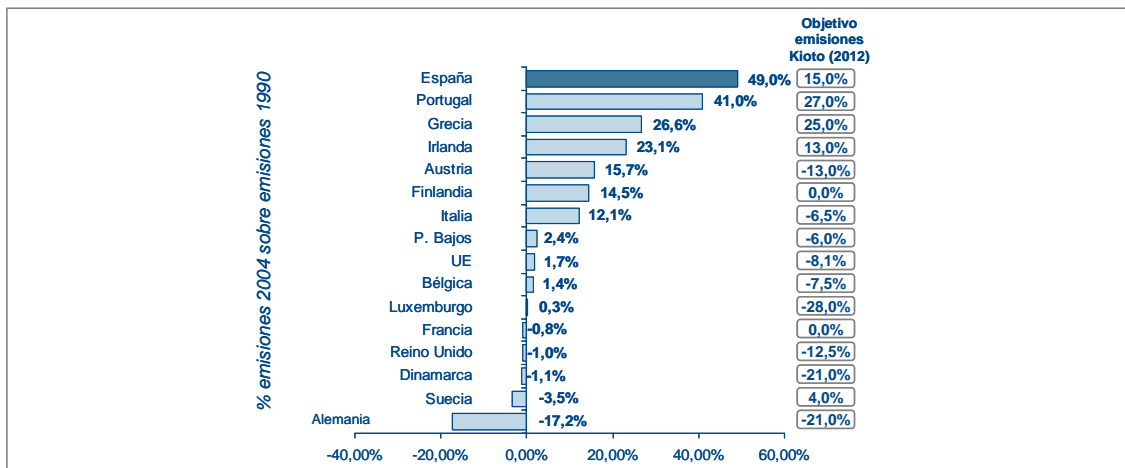
**Figura 14: Escenarios de evolución de concentración atmosférica de CO<sub>2</sub>**



Fuente: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

En la reciente reunión del Consejo Europeo, los líderes de los gobiernos integrantes han decidido situar a la Unión a la cabeza de la lucha contra el cambio climático, fijando para 2020 un objetivo firme de reducción de emisiones del 20% frente a las de 1990, que podría ser ampliado hasta el 30% en función de las acciones de otros países. Adicionalmente, se ha fijado el objetivo de incrementar la cuota de energías renovables desde el 7% actual hasta el 20% en 2020 y el nivel de biocombustibles en el transporte al 10%.

España, al igual que el resto de países de la Unión Europea, ha asumido este compromiso de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero. Este compromiso, concretado en las directivas europeas 96/61/CE y 2003/87/CE ha sido adoptado por la Administración española en el Real Decreto 5/2004 y modificado por la Ley 1/2005 y desarrollado en numerosos Reales Decretos a posteriori. Actualmente, España está un 34% por encima del nivel de emisiones de gases de efecto invernadero necesarios para cumplir sus compromisos (Figura 15). En el año 2004 se emitieron 428 millones de toneladas equivalentes (Mtoe) de CO<sub>2</sub> (de los cuales, 354 son de CO<sub>2</sub> y el resto, de otros gases de efecto invernadero, principalmente metano), frente a un objetivo para el 2012 de 332 Mtoe y 256 Mtoe en 2020. Es decir, España tiene el reto de reducir sus emisiones actuales en cerca de 96 Mtoe de CO<sub>2</sub> antes de 2012 y en 172 Mtoe de CO<sub>2</sub> antes de 2020, independientemente de la evolución de la demanda energética.

Figura 15: Emisiones de CO<sub>2</sub> en Europa vs. objetivos Kioto

Fuente: UNFCCC, análisis Arthur D. Little

El sector eléctrico es, tras el del transporte, el mayor contribuyente a la emisión de gases de efecto invernadero en España, con un 29% del total de las emisiones en 2006. Adicionalmente, es el sector en el que, debido a la existencia de tecnologías alternativas, la reducción de emisiones es más sencilla. Esta capacidad de reducción se ve reflejada en la asignación de Derechos de Emisión a las instalaciones de producción eléctrica, que en España y para el periodo 2008-2012 se ha establecido en 56 millones de toneladas, frente a unas emisiones en 2005 de 122 millones.

#### 4.1.3. Resistencia social a instalaciones de generación, transporte y distribución

Uno de los principales condicionantes a la cobertura de las necesidades energéticas europeas es la resistencia social a la construcción de nuevas instalaciones de producción. Si bien esta resistencia es evidente en casos como el de la generación nuclear, el impacto es también negativo para buena parte de las instalaciones de generación, transporte y distribución requeridas para cubrir la creciente demanda.

Hoy en día, y obviando el caso de la generación nuclear, las compañías eléctricas encuentran una resistencia casi insalvable en el desarrollo de proyectos de generación convencional, especialmente para centrales de carbón. Esta resistencia no disminuye cuando los proyectos contemplan tecnologías avanzadas como la gasificación integrada o centrales supercríticas, y puede incluso aumentar en caso de considerarse la separación y almacenamiento de CO<sub>2</sub>. Algunas de las tecnologías renovables encuentran también barreras que, aun siendo de menor relevancia que en el caso de las tecnologías tradicionales, dificultan también su despliegue.

En el caso del desarrollo de infraestructuras de transporte y distribución la experiencia es similar; la resistencia pública retrasa o impide la puesta en marcha de instalaciones necesarias para mantener los niveles de calidad de suministro, y cuando lo permite es en general a un mayor coste.

La energía solar fotovoltaica, por su mayor aceptación social y su facilidad de integración en los puntos de consumo, puede ser una de las herramientas clave para cubrir la demanda salvando la resistencia pública a la que otras alternativas se enfrentan.

## 4.2. La cobertura de la demanda eléctrica en España

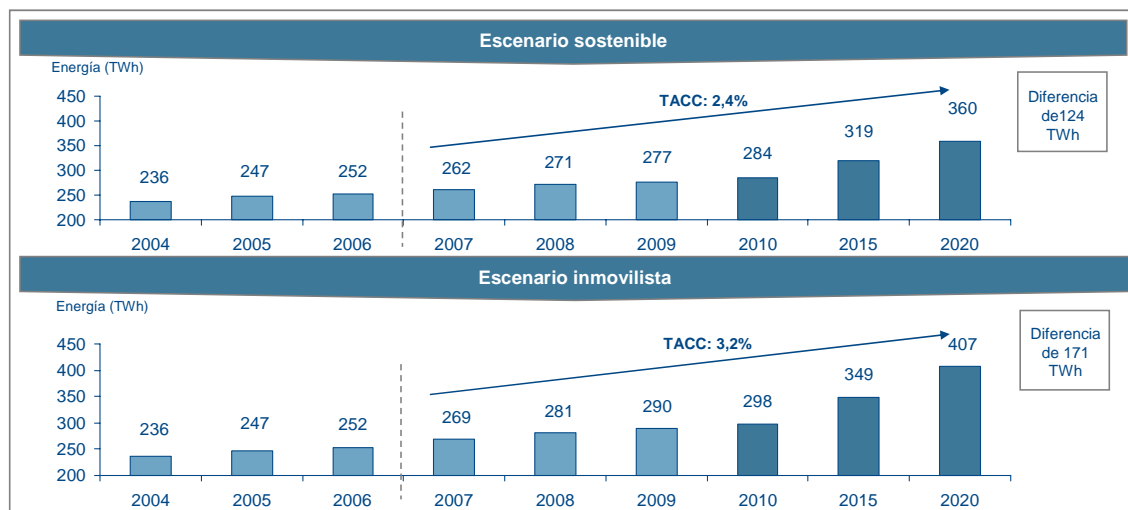
La necesidad de fomentar el desarrollo de la energía solar fotovoltaica pasa por considerar cual será su papel en la cobertura de las necesidades energéticas globales. Para evaluar cual debería ser este papel hemos desarrollado unos escenarios de evolución de la demanda eléctrica peninsular española y de alternativas para su cobertura, evaluando el impacto en aspectos como costes, participación renovable en el consumo de energía primaria y emisiones de CO<sub>2</sub>. En la práctica será la política energética, incluido el apoyo a la generación fotovoltaica, la que determine cual será la situación futura; en este ejercicio no tratamos de predecir un futuro que no está en nuestras manos, sino informar sobre cual sería el impacto de diferentes alternativas disponibles.

Para este ejercicio hemos considerado el periodo 2008-2020, suficientemente largo para permitir una evolución gradual de la estructura de cobertura actual y coincidente con el periodo de planificación contemplado por el Gobierno.

### 4.2.1. Perspectivas de crecimiento de la demanda eléctrica en España

La demanda eléctrica española viene creciendo desde 2000 a un ritmo cercano al 4,5%. Este ritmo de crecimiento presenta una correlación casi total con el crecimiento económico del periodo, y de mantenerse, resultaría en un crecimiento sostenido del 3,2% anual para el crecimiento económico esperado del 2,6% anual entre 2006 y 2020. Acciones efectivas en el campo de eficiencia energética podrían romper esta tendencia de manera gradual, pero dada la dificultad de su implementación, consideramos sensato evaluar a efectos de planificación a largo plazo un escenario que no considere su impacto. Por otro lado consideraremos también un escenario de crecimiento de demanda en el que las medidas de aumento de eficiencia energética tengan un efecto significativo, limitando el crecimiento de la demanda al 2,4%. Este frenazo implica que las medidas establecidas en el plan E4+ son efectivas. La evolución histórica de la demanda y los dos escenarios propuestos a 2020 se muestran en la Figura 16.

**Figura 16: Crecimiento histórico de la demanda eléctrica y escenarios futuros considerados**



Fuente: REE, análisis Arthur D. Little

#### 4.2.2. Alternativas para la cobertura de la demanda eléctrica en España

Para la cobertura de la demanda en el periodo considerado recurriremos fundamentalmente a las tecnologías de generación disponibles comercialmente, estableciendo su participación en la cobertura en función de los criterios de política energética utilizados en cada escenario. Los criterios fundamentales en la definición de cada escenario serán el coste, las emisiones de CO<sub>2</sub>, la participación de renovables en la matriz energética y la dependencia energética. Adicionalmente se han considerado aquellos aspectos que puedan limitar el desarrollo de algunas de las alternativas, como resistencia pública, impacto en la estabilidad del sistema, disponibilidad del recurso o materia prima, etc.

En la Figura 17 se presenta de manera resumida las tecnologías consideradas para la cobertura de la demanda así como aquellos aspectos que hemos considerado para definir su desarrollo.

**Figura 17: Tecnologías de generación consideradas y condicionantes a su despliegue en el periodo considerado**

		Coste (sin/CO <sub>2</sub> )	Emisiones CO <sub>2</sub>	Reducción depend. energética	Resistencia pública	Consideraciones para la definición de escenarios
Maduras hoy	Nuclear	2	4	3	0	No se consideran nuevas plantas por el nivel de resistencia pública y los plazos de autorización y construcción
	Ciclos combinados de gas natural	3	2	0	2	Incremento de capacidad en línea con las necesidades para cobertura de potencia, limitado por el exceso de emisiones
	Turbinas de gas monociclo	2	1	0	1	Incremento de capacidad en línea con las necesidades para cobertura de potencia en caso de limitar utilización de carbón
	Eólica	2	4	4	3	Se considera la saturación de emplazamientos adecuados, asumiendo que los problemas de evacuación se solucionan
	Carbón Supercrítica	3	1	1	1	Por su elevado nivel de emisiones y elevada resistencia pública no consideramos nueva capacidad en el periodo
	Biomasa	2	3	2	2	Se considera una disponibilidad de materia prima significativamente mayor a la actual y mejoras en la cadena logística
Medio Plazo	Carbón IGCC	2	1	1	1	No se consideran nuevas plantas por las mismas razones que en carbón supercrítico agregando su escasa madurez comercial
	Solar FV	0	4	4	4	Desarrollo no limitado condicionado sólo por su coste, dando preferencia a otras tecnologías renovables como la eólica
	Solar termoelectrónica	0	4	4	4	Desarrollo limitado condicionado por su coste y por la necesidad de agua, gas natural (u otro combustible) y emplazamientos adecuados
Largo Plazo	Captura y almacenamiento de CO <sub>2</sub>	0	4	N/A	2	No considerado por su escaso grado de desarrollo y la posible resistencia pública al almacenamiento
	Geotérmica	0	4	N/A	0	Se considera cierta instalación de potencia al final del periodo
	Marina	0	4	4	2	Se considera cierta instalación de potencia al final del periodo

4 Comportamiento Positivo      0 Comportamiento Negativo

Fuente: Análisis Arthur D. Little

#### 4.2.3. Escenarios de cobertura de la demanda eléctrica en España

Para la evaluación de la cobertura de los escenarios de demanda seleccionados hemos optado por definir también dos escenarios de cobertura consecuentes con los mismos. En líneas generales el primer escenario, asociado al crecimiento de demanda eléctrica del 3,2% anual, representaría un mantenimiento de la estructura de cobertura de la demanda actual. Este escenario refleja una precedencia de criterios de coste explícito en la política energética a lo largo de todo el periodo, aunque manteniendo el peso de las renovables al nivel fijado para el 2010 en el Plan de Energías Renovables para todo el intervalo de tiempo considerado. Nos referiremos a este escenario como “Inmovilista”. En este escenario la creciente demanda sería cubierta fundamentalmente mediante una mayor capacidad de generación en ciclos combinados y energía eólica, aunque la obligación de aumentar el peso de las renovables en la matriz energética primaria resulta también en cierto incremento para el resto de tecnologías renovables.

Consideramos que dadas las actuales circunstancias (resistencia pública, incertidumbre en precio futuro de CO<sub>2</sub> y plazo de construcción, entre otros), la inclusión de nuevas centrales nucleares o de carbón sería poco probable, si bien la participación de las centrales existentes continuaría siendo relevante.

El segundo escenario, al que nos referiremos como “Sostenible”, representa un intento de alcanzar los posibles objetivos de reducción de emisiones y de peso de las renovables en la matriz energética primaria a nivel europeo. En este caso, en el que se considera que los esfuerzos para mejorar la eficiencia energética han tenido éxito, si bien la demanda incremental a cubrir es inferior, las restricciones en el uso de tecnologías de generación tradicionales son más importantes, especialmente en el caso de intentar cumplir los objetivos de emisión de CO<sub>2</sub> sin recurrir a la compra de derechos. En este escenario se incrementa de manera considerable el peso de las tecnologías renovables, agotando el potencial de la energía eólica y alcanzando niveles de potencia instalada muy significativos para biomasa, solar fotovoltaica y solar termoeléctrica. (ver Figura 18)

**Figura 18: Contribución de las renovables a la potencia instalada y energía producida en el sistema en cada escenario**

Escenario inmovilista			Escenario sostenible		
	Potencia 2020 - MW -	Producción 2020 - GWh -		Potencia 2020 - MW -	Producción 2020 - GWh -
Eólica	40.000	90.582	Eólica	40.000	90.270
Hidráulica	20.840	35.680	Hidráulica	20.840	35.680
Solar fotovoltaica	4.000	6.070	Solar fotovoltaica	20.000	29.740
Solar termoeléctrica	4.000	10.310	Solar termoeléctrica	8.000	17.750
Biomasa	2.500	10.770	Biomasa	4.000	15.370
Otras renovables	800	1.890	Otras renovables	800	1.720

Fuente: Análisis Arthur D. Little

En ambos escenarios las necesidades de cobertura de demanda en picos requieren de la existencia de niveles importantes de capacidad de generación térmica (29 GW de ciclos combinados y estabilidad en la capacidad de centrales de carbón), si bien su factor de carga varía de forma significativa. El aprovechamiento hidráulico y eólico es el máximo en ambos casos, así como el de cogeneración. La utilización de la energía nuclear es también uniforme en ambos escenarios, contemplándose sólo el cierre de la central de Santa María de Garoña.

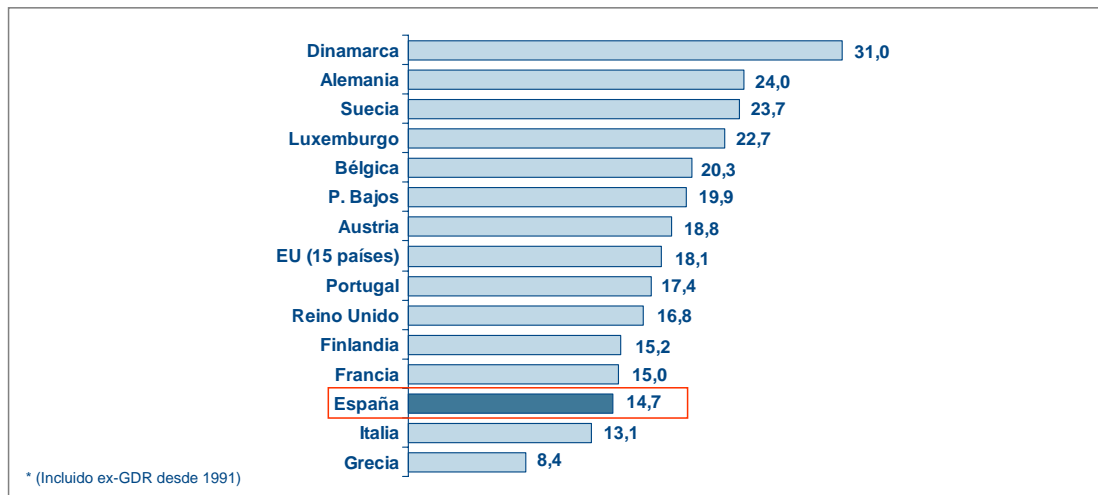
Sobre esta base hemos modelado la demanda horaria para cada año hasta el 2020 asegurando tanto la cobertura de picos como de la demanda de energía total. La cobertura de la demanda se ha realizado siguiendo criterios semejantes a los actuales, con las renovables no gestionables aportando energía siempre que puedan producirla, la hidráulica gestionable cubriendo picos de acuerdo a la disponibilidad estacional de agua (año hidráulico medio), nuclear, biomasa y hidráulica fluyente operando en base y el resto (hueco térmico) cubierto primero por carbón y por último ciclos combinados, como es de suponer por orden de coste marginal o variable. Hemos considerado también, para el escenario “Sostenible”, una variación en la que se intentan cumplir los

objetivos de emisiones de CO<sub>2</sub> sin recurrir a la compra de derechos. Esta condición obligaría a suspender la operación de las centrales térmicas de carbón, debiendo también compensar su aportación a la cobertura de picos mediante la inclusión de turbinas de gas monociclo.

#### 4.2.4. Impacto de los diferentes escenarios de cobertura de la demanda eléctrica en España

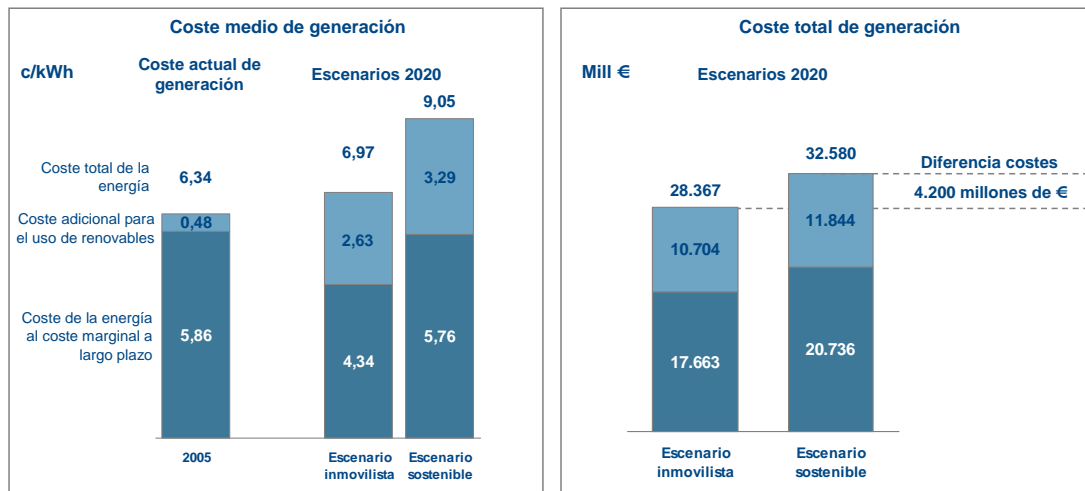
Según nuestro análisis de costes marginales a largo plazo, que implica que los inversores en cada una de las tecnologías renovables obtienen rentabilidades razonables, el coste de generación medio del sistema por unidad de energía se incrementaría a un ritmo del 0,9% anual en el escenario Inmovilista y a un 2,7% anual en caso de optarse por el Sostenible. De trasladarse este incremento de manera proporcional a los precios del segmento residencial, estos serían todavía claramente inferiores a los de otros países de la Unión Europea (de los 15), donde la tarifa media para este segmento alcanzó en 2007 los 18,1 c€/kWh, llegando hasta los 31 c€/kWh en Dinamarca, como se puede observar en la Figura 19.

**Figura 19: Tarifa eléctrica residencial incluyendo todos los impuestos, 2007**



Fuente: Análisis Arthur D. Little

En términos globales el diferencial de coste entre el escenario Inmovilista y el Sostenible se situaría en los 4.200 millones de euros, como se puede observar en la Figura 20.

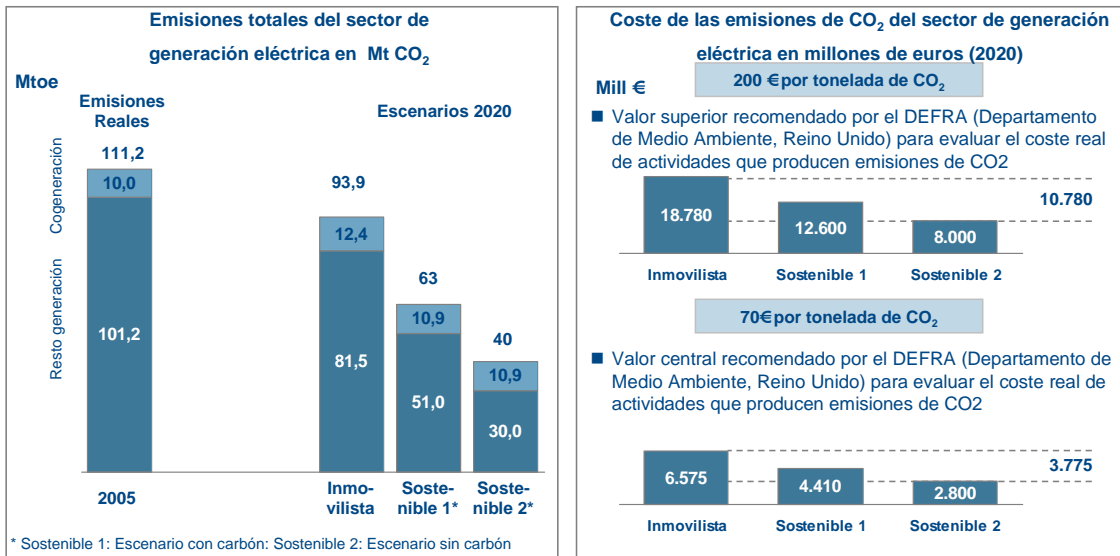
**Figura 20: Evolución del coste de generación (medio y global) en el sistema eléctrico español**

Fuente: Análisis Arthur D. Little

En cuanto a las emisiones de efecto invernadero, el escenario Inmovilista superaría con creces los objetivos actuales con 93,9 millones de toneladas. El caso Sostenible permitiría reducir las emisiones hasta los 63 millones de toneladas, e incluso los 40 millones de toneladas si se sustituyeran las centrales térmicas de carbón por turbinas de gas monociclo. En términos económicos y sólo considerando un coste explícito de la compra de derechos de emisión a 25 €/tonelada estas emisiones podrían suponer desembolsos de más de 1.350 millones de euros en el escenario Inmovilista. En caso de considerarse los costes no explícitos de estas emisiones, el impacto económico podría ser mucho más relevante.

Estimaciones realizadas por el DEFRA (Departamento de Medioambiente del Reino Unido) y secundadas por su Departamento del Tesoro recomiendan la utilización de un coste para las emisiones de 100 €/tonelada, recomendando también realizar análisis de sensibilidad a 70 y 200 €/tonelada. Aplicando estos valores al diferencial de emisiones entre el escenario Inmovilista y el Sostenible sin utilización de carbón, el coste de las emisiones estaría entre los 3.775 y 10.780 millones de euros en 2020 (como se muestra en la Figura 21), con un valor esperado para los 100€/tonelada en torno a los 5.400 millones de euros. Cabe destacar que este valor esperado sería superior al gasto adicional en generación renovable del escenario Sostenible, unos 4.200 millones de euros tal y como se ve en la Figura 20.

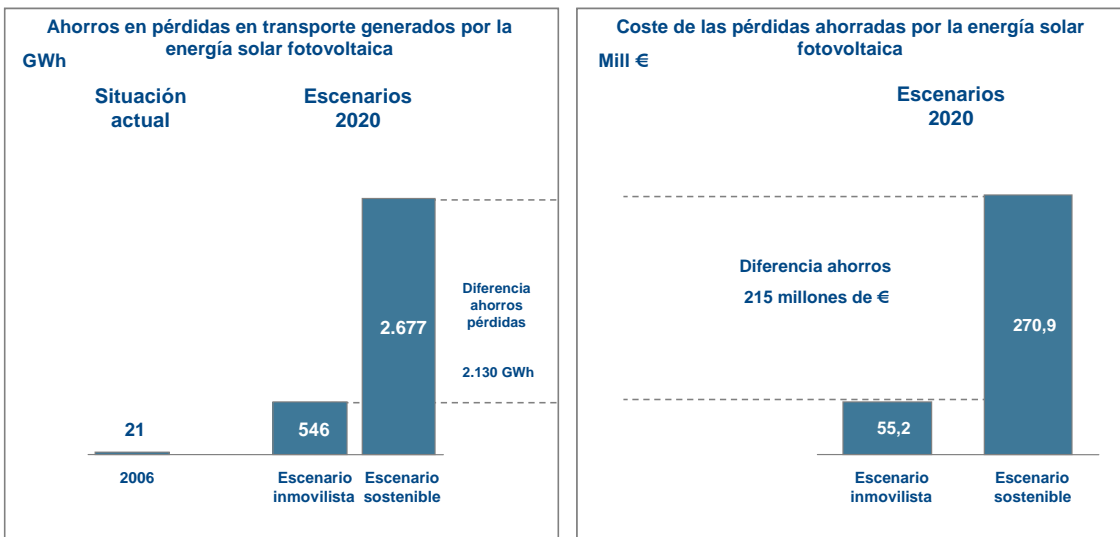
**Figura 21: Emisiones de CO<sub>2</sub> actuales, previstas por el PNA y estimadas para cada escenario**



Fuente: Análisis Arthur D. Little, Departamento de Medio Ambiente del Reino Unido

Adicionalmente, y si consideramos la reducción de pérdidas por generar cerca de la demanda, la generación fotovoltaica permitiría ahorrar hasta 55 millones de euros en el escenario inmovilista y más de 270 millones de euros en el sostenible, asumiendo unos costes por kWh medios del sistema iguales a los existentes en la actualidad. Esta estimación, que se puede observar de manera gráfica en la Figura 22, se basa en que la gran mayoría de la capacidad de generación se sitúe junto al consumo y evite completamente las pérdidas en transporte y distribución. Dependiendo del despliegue real, los ahorros serían inferiores.

**Figura 22: Ahorros en pérdidas en transporte generados por la energía solar fotovoltaica**

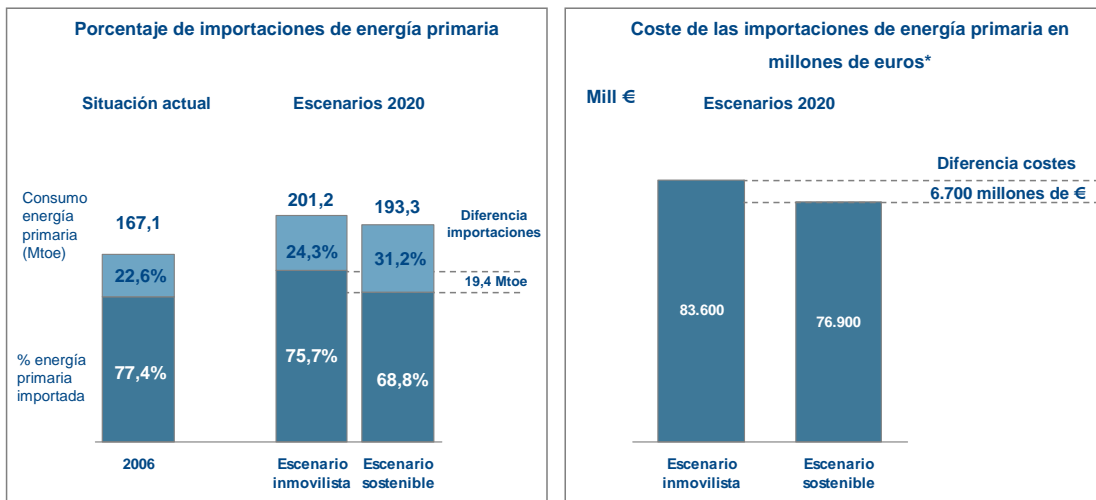


Fuente: Análisis Arthur D. Little, ASIF, APPA

El desarrollo Inmovilista frente al Sostenible tiene también un impacto significativo en la dependencia energética global, que, en términos de energía primaria, podría reducirse desde el 77,4% actual hasta el 75,7% en el escenario Inmovilista y el 68,8% en el

Sostenible tal y como se indica en la Figura 23, lo que implica una reducción de 19,4 millones de toneladas equivalentes. Esta reducción de importaciones incluye una reducción en el sector de generación eléctrica de 11,5 millones de toneladas equivalentes, asumiendo un precio del petróleo similar al actual (\$80/bbl) y un precio del gas equivalente, un ahorro para la balanza comercial de más de 6.700 millones de euros, como se muestra en la Figura 23. La potencia fotovoltaica prevista para 2020 bajo el escenario Sostenible contribuiría a reducir el déficit comercial del sector eléctrico en aproximadamente 1.100 millones de euros más que la potencia prevista bajo el escenario Inmovilista.

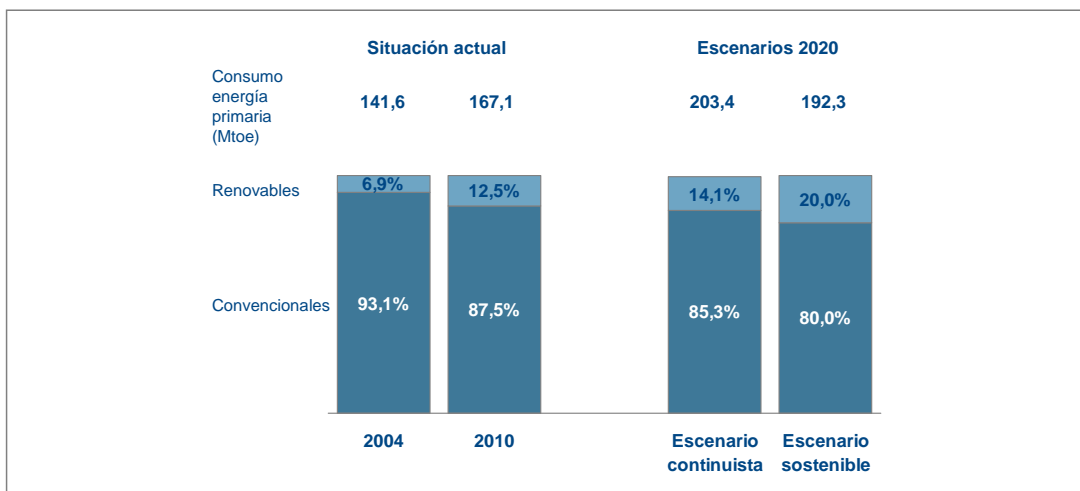
**Figura 23: Peso y coste de las importaciones para el consumo de energía primaria y el sector de generación eléctrica**



Fuente: Análisis Arthur D. Little

En términos de peso de la energía primaria proveniente de fuentes renovables en la matriz energética primaria, el escenario Inmovilista permitiría alcanzar el 14,5%, frente a un 20% para el Sostenible, en línea con los objetivos marcados a nivel europeo (ver Figura 24).

**Figura 24: Evolución del peso de las energías renovables en la matriz de energía primaria**



Fuente: Análisis Arthur D. Little

## 5. Recomendaciones para el desarrollo del marco regulatorio

### 5.1. Limitaciones de la regulación actual

Si bien el marco regulatorio definido en el Real Decreto 661/2007 está demostrando su eficacia en la promoción del desarrollo de las energías renovables en general y de la solar fotovoltaica en particular, su efectividad futura ha quedado condicionada por la fijación de una sistemática de revisión de tarifas y objetivos de potencia que comprometen el desarrollo a medio plazo del sector fotovoltaico.

En concreto, la fijación del objetivo en 371 MWp compromete el desarrollo a corto/medio plazo, al estar previsto que se haya alcanzado dicho objetivo en octubre de 2007, mucho antes de la revisión programada para el 2010. Esto abre un periodo de estancamiento que podría perjudicar el desarrollo de la industria nacional, así como impedir el desarrollo de proyectos ya iniciados.

El modelo de revisión discrecional de la tarifa cada cuatro años, aparte de introducir un elemento de incertidumbre que puede incrementar el riesgo de las inversiones, presenta el inconveniente de impedir al regulador actuar para corregir desviaciones importantes sobre las previsiones de capacidad instalada. Adicionalmente, la revisión en periodos de cuatro años parece poco compatible con una tecnología como la solar donde la combinación de desarrollo tecnológico acelerado y alta exposición a la evolución del precio del silicio pueden hacer variar los costes de manera significativa en periodos mucho menores.

### 5.2. Comparativa internacional: Alemania

Alemania es con diferencia el país europeo donde se ha dado un mayor crecimiento en la energía solar fotovoltaica. A nivel regulatorio, la ley de Energías Renovables actualmente en vigor, la “Erneuerbare Energien Gesetz” (EEG), de 2000, ha sido el factor clave del éxito del desarrollo del mercado fotovoltaico. Otro factor importante ha sido el programa estatal de créditos de bajo interés a las instalaciones solares fotovoltaicas.

El sólido marco regulatorio ha creado un clima de confianza en los inversores alemanes que ha tenido un impacto directo en la evolución de la potencia instalada, que pasó de 503 MWp en 2004 a 1.910 en 2005 y a 3.063 MWp en 2006 (“Euroobserver 2007”). Con este volumen, Alemania representa el 55% de la potencia total instalada a nivel mundial.

El desarrollo del sector ha propiciado la aparición de grandes grupos solares fotovoltaicos locales, líderes en el sector a nivel mundial, como Q-Cells, Sunways, Ersol Solar Energy, Solar World y Conergy.

Estas empresas han desarrollado una satisfactoria labor de exportación, suponiendo un 26% de la facturación del sector a nivel agregado. En cuanto a la producción de células fotovoltaicas, Alemania se ha posicionado como el segundo productor con el 19,11%, tan solo superado por Japón, que concentra casi la mitad de la producción mundial.

El empleo ha sido otro de los elementos que se ha beneficiado del desarrollo de la energía fotovoltaica en Alemania. Según los datos del último informe de la AIE (Agencia Internacional de la Energía), el crecimiento medio anual del período 2001-2006 ha sido del 72%, lo que ha permitido alcanzar los 50.000 empleos en 2006.

En cuanto a I+D+i, junto al elevado nivel de inversiones en investigación por parte de la potente industria solar alemana, se ha de considerar el apoyo directo a la inversión por parte del gobierno alemán. Hasta 2006, las Administraciones públicas de Alemania habían invertido una cifra acumulada de 224,5 millones de euros.

### 5.3. Recomendaciones

#### 5.3.1. *Evolución prevista del coste de la generación fotovoltaica e impacto en la tarifa*

El método de análisis de costes de generación eléctrica empleado por Arthur D. Little en este informe se basa en el cálculo de coste marginal a largo plazo. Este método nos permite calcular una tarifa mínima para rentabilizar la inversión durante su vida útil. En el caso de instalaciones fotovoltaicas, nuestros cálculos se basan en criterio de rentabilidad de proyecto de 7% y una vida útil de la instalación de 25 años. El coste marginal por su naturaleza no tiene en cuenta el impacto del IPC o, dicho de otra manera, es una tarifa constante para la vida de la instalación en términos nominales. Además no se considera el efecto de impuestos o desgravación fiscal o subvenciones que pueden existir. Tampoco se considera el valor residual de la inversión, dicho de otra manera, la vida útil es igual al periodo de la inversión.

Para la estimación de los costes de la generación fotovoltaica hay que considerar todos los costes derivados del proyecto o la inversión, el rendimiento de las instalaciones y los costes operativos esperados sobre la vida útil. Los elementos importantes de la inversión son varios y su peso depende tanto del tipo de instalación como tamaño del mismo. Los elementos generales incluyen módulos o paneles fotovoltaicos, estructuras de soporte, inversores, centros de transformación, líneas de evacuación, cableado y equipos eléctricos, instalación y obra civil y equipos de vigilancia.

Hay que tener en cuenta el rendimiento de las instalaciones y los costes operativos. El sector fotovoltaico utiliza el término “performance ratio” para describir el factor de ajuste. El factor tiene en cuenta pérdida por efecto temperatura, reducción de rendimiento de los paneles por antigüedad, pérdidas eléctricas en el cableado eléctrico, inversores en los centros de transformación y la línea de evacuación. El conjunto de pérdidas pueden superar el 20% para una instalación tipo y por tanto su consideración es clave en el método de análisis. Los costes operativos incluyen diversos elementos como son seguridad, mantenimiento correctivo y preventivo e inspección de las instalaciones. Además se han de considerar otros costes operativos como el alquiler del suelo y los seguros. El inversor de corriente se considera el único componente con vida inferior a 25 años y tiene un impacto a medio plazo a tener en cuenta en los costes operativos.

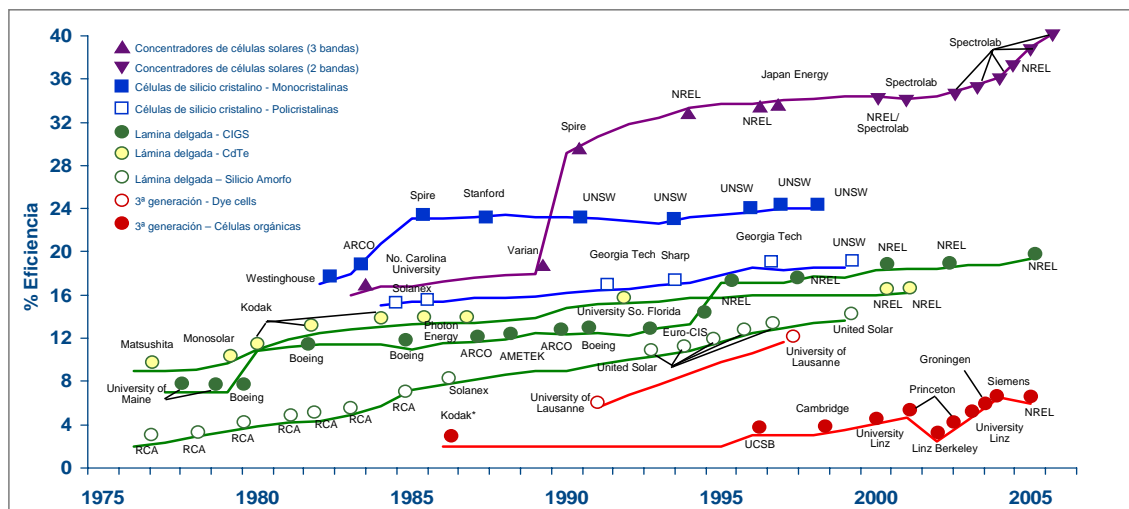
Tomando como base el análisis de nuestro modelo de costes marginales a largo plazo de generación eléctrica se estima un rango de costes de generación de entre 36 y 38 c€/kWh basado en costes de inversión de entre 5,2 y 5,5 €/Wp para instalaciones en suelo con tamaños por encima de 300 kW. Aunque este análisis no es generalizable a todo los segmentos y tamaños, en este sub-segmento puede implicar una bajada de entre un 7% y un 12% sobre la tarifa vigente para grandes instalaciones desde los 41,75 c€/kWh actuales, sin que sea necesario que la tarifa escale con el IPC, ya que aproximadamente el 95% de los costes se producen antes de la entrada en operación de la instalación.

## Evolución de costes a futuro

Se espera que los costes de las instalaciones fotovoltaicas vayan reduciéndose a consecuencia de mejoras en la tecnología y en las prácticas del sector.

Los ejes fundamentales del desarrollo del sector en un contexto de alto precio del polisilicio han sido el aumento de la eficiencia de las células de las que se componen los módulos y la reducción de las dimensiones de las mismas. La eficiencia de las células se define como el porcentaje de la radiación solar incidente que se convierte en energía eléctrica. El sector, a través de una labor intensiva de I+D+i, ha hecho posible que cada año la eficiencia se mejore hasta en un 1% anual en condiciones de laboratorio. El fruto de esta investigación ha sido la generación de módulos con una densidad energética mayor, o dicho de otra manera, la capacidad de generar la misma cantidad de energía usando menos espacio físico. Un ejemplo de esta evolución tecnológica se puede observar en la comparativa de eficiencias para distintas tecnologías fotovoltaicas que se presenta en la Figura 25.

Figura 25: Evolución de la eficiencia de las células fotovoltaicas por tecnología



Fuente: National Renewable Energy Laboratory (NREL) y análisis Arthur D. Little

La dimensión de la célula es una variable crítica para determinar la productividad de los procesos de fabricación de la misma. A mayor tamaño de la célula, menores costes por Wp. Las células más grandes implican obleas más grandes, lo que, dado el proceso productivo, implica menos pérdidas por corte y estiramiento. Además, se reduce el coste por Wp por impresión en el proceso de fabricación de la célula.

No obstante, los módulos fotovoltaicos basados en polisilicio no son la única tecnología existente. Existen numerosas tecnologías de "lámina delgada" que están en distintas fases de desarrollo. Aunque hoy por hoy tienen eficiencias muy inferiores al polisilicio, entre 6-10% en comparación con 14-16%, su coste por Wp representa menos de la mitad. A pesar de que estas tecnologías tienen un mayor coste de instalación por el mayor espacio requerido para producir la misma energía eléctrica, se espera que una vez que la tecnología alcance la madurez, sea determinante de cara a reducir los costes de generación fotovoltaica. Además se espera que el lanzamiento de estas tecnologías reduzca la presión sobre el suministro de polisilicio, abaratando las tecnologías basadas en este material.

Las mejoras fundamentales para el desarrollo del sector se han centrado en el desarrollo de módulos. A pesar de ello, se han producido avances en otros componentes y otros aspectos de la instalación fotovoltaica que han propiciado reducciones adicionales de costes.

En primer lugar, los inversores de corriente han mejorado su eficiencia de un 94% a un 98% en algunos casos, con lo que se minimizan las pérdidas y sus costes asociados y se maximiza el “performance ratio” de la instalación fotovoltaica.

La logística de distribución también tiene un amplio campo para el desarrollo. Actualmente, las instalaciones fotovoltaicas se proveen de los materiales necesarios en un modelo de inventarios nulos. Los promotores no cuentan con almacenes de componentes, de manera que a la hora de desarrollar una instalación, los materiales han de ser pedidos directamente a los fabricantes. Este hecho, unido a que en algunos casos los componentes no se producen a escala nacional y han de ser transportados desde el extranjero, implica que los tiempos de provisión de los componentes sean altos. Una centralización de las compras y una más eficiente gestión de inventarios por parte de los promotores e instaladores conllevarían un ahorro considerable de tiempo en el desarrollo de nuevas instalaciones, con los consecuentes ahorros en coste de instalación y la minimización de costes de oportunidad.

El desarrollo de la industria para asegurar una mayor coordinación o integración entre el diseño de estructuras de soporte y su proceso de instalación conllevará una mejora sustancial en los tiempos y costes de instalación. Muchos de los procesos de instalación que actualmente se realizan de forma “artesanal” podrían ser mejorados sustancialmente con la homogeneización de las piezas de los componentes y el desarrollo de herramientas específicas y estandarizadas, aumentando la eficiencia de la mano de obra de instalación.

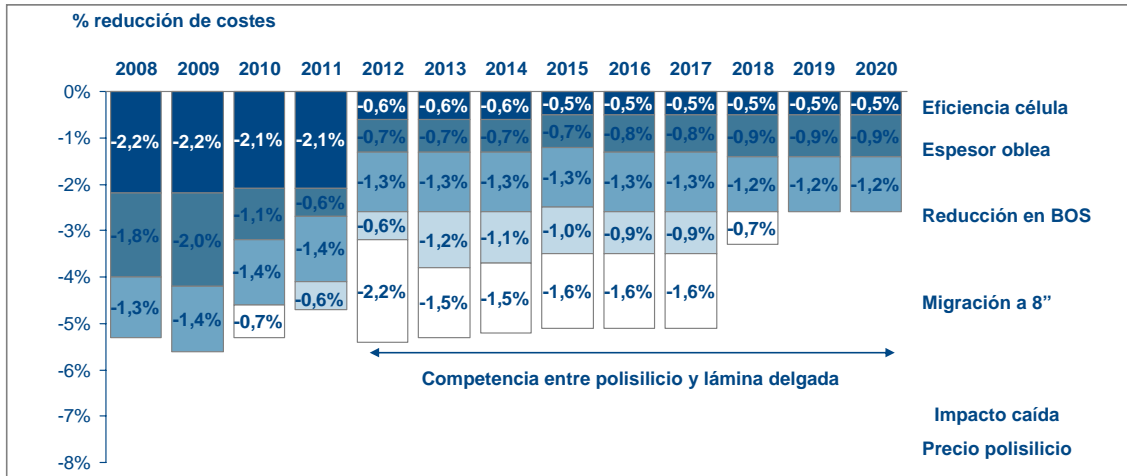
A medida que se incremente el tamaño de las instalaciones, los procesos de planificación deberán tener más en cuenta aspectos ambientales del entorno físico de la instalación, considerando las posibles interferencias de la fauna y flora local sobre el funcionamiento de la instalación, así como los efectos adversos de la climatología, por ejemplo protegiendo elementos sensibles como el cableado o los paneles de inundaciones y otros fenómenos meteorológicos adversos, o de posibles averías causadas por animales. Esta planificación, junto a una mayor experiencia de los promotores, permitirá reducir en el futuro los costes de operación y mantenimiento de las instalaciones. Del mismo modo, al ser la solar fotovoltaica una tecnología de reciente implantación a gran escala, los conocimientos sobre prácticas de mantenimiento eficaces son reducidos. A medida que se vaya formando un personal de mantenimiento con experiencia, que se vayan sistematizando procedimientos de chequeo y mantenimiento estandarizados y que se desarrollen e integren firmas especializadas en el mantenimiento de instalaciones, los costes asociados al mantenimiento y operación se reducirán considerablemente.

Nuestro análisis concluye que una reducción de la tarifa “Feed-in” es necesaria a consecuencia de la reducción de costes en el sector solar fotovoltaico. Como se indica anteriormente, el coste marginal a largo plazo está entre 36 y 38 céntimos/kWh hoy. Se espera, como consecuencia de la mejora en la eficiencia de las células que dicho coste marginal se reduzca en un 2-3% anualmente. Además, el impacto de las dimensiones de las células -asumiendo precios constantes de polisilicio-, generará ahorros adicionales de un 1-2%, por el efecto espesor. La migración de tecnología de obleas de 6 pulgadas a 8 pulgadas, que se producirá en un período de 7 años, generará una reducción

adicional de un 2-3% a partir de 2010, año en que se prevé que empiece el proceso de migración.

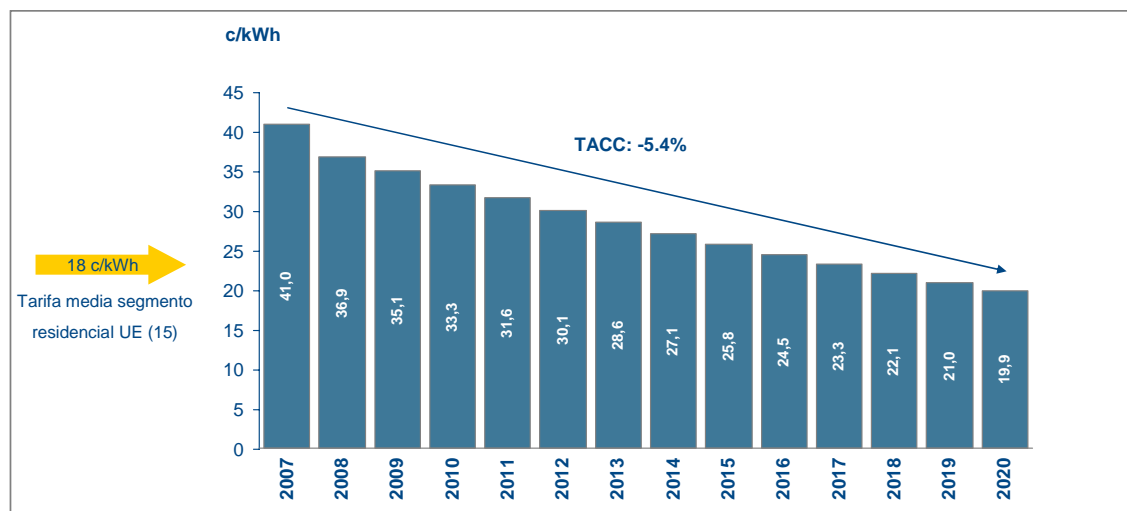
El impacto en la mejora de las eficiencias en la instalación se espera que sea menor debido a la importancia del componente mano de obra. Aún así, se esperan reducciones derivadas de dichas mejoras en el entorno del 1-2% hasta 2020. Todas estas reducciones de costes se recogen en las Figuras 26 y 27.

**Figura 26: Reducción prevista de costes para una instalación fotovoltaica en España**



Fuente: Análisis Arthur D. Little

**Figura 27: Costes marginales a largo plazo de generación solar fotovoltaica basada en tecnología de polisilicio en España (instalaciones de más de 300 kWp)**



Fuente: ASIF, APPA, Análisis Arthur D. Little

Para el sector español es vital ser capaz de acometer las inversiones ligadas a dichos cambios tecnológicos que necesariamente sólo se harán si existe una esperanza de comercializar dichos productos.

Estimamos que las reducciones de costes previstas permitirían a la generación fotovoltaica situarse en el rango de los actuales precios de la electricidad en el segmento residencial al final del periodo considerado. En caso de producirse una evolución al alza

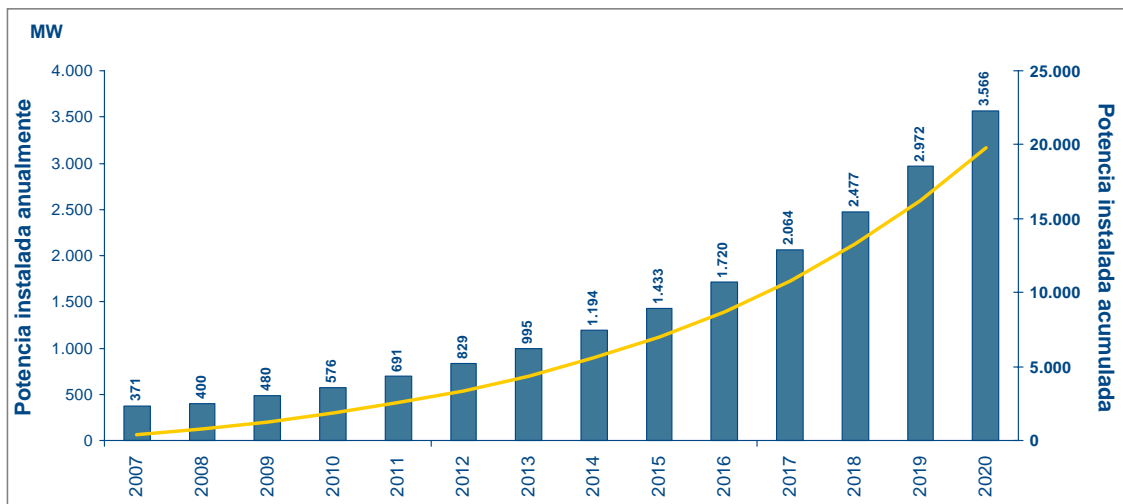
de los precios de combustibles, de la tonelada de CO<sub>2</sub> o una aceleración en el desarrollo de la tecnología, la generación solar fotovoltaica podría alcanzar estos niveles mucho antes.

En cualquier caso consideramos que debido al rápido desarrollo tecnológico previsto para la solar fotovoltaica, debería establecerse una revisión anual para la tarifa, aunque siempre dentro de un rango de reducción prefijado que permita a los inversores afrontar los proyectos con cierta seguridad sobre los flujos futuros. Adicionalmente recomendamos eliminar la escalación con la inflación de la tarifa, poco consecuente en una tecnología en la que la mayoría de los costes se producen antes de la puesta en marcha de la instalación. Objetivos de potencia instalada

En cuanto a los objetivos de potencia instalada, consideramos que frente al modelo actual de tope de potencia y un periodo de gracia para proyectos en curso, debería trabajarse con objetivos indicativos de potencia instalada. La combinación de estos objetivos indicativos con una revisión anual de la tarifa permitiría a la Administración un mayor grado de control sobre la potencia instalada que el modelo actual. Si la Administración no se plantea una modificación de este calado, sería razonable optar por una fijación de objetivos de potencia ligada a la reducción de los costes.

Consideramos que estos objetivos indicativos a largo plazo deberían estar en línea con las aspiraciones reflejadas en nuestro escenario de cobertura sostenible de la demanda eléctrica, 20 GW en 2020. La progresión desde la situación actual hasta este objetivo final debe ser consecuente con el soporte a la industria nacional y con su capacidad de fabricación, . En esta línea recogemos la propuesta que ASIF y APPA, que reflejamos en la Figura 28. Este desarrollo permitirá a la Administración cumplir con los compromisos asumidos de alcanzar un 20% de energías renovables dentro del mix de energía primaria para 2020 al mismo tiempo que generar riqueza a través del desarrollo de una industria fotovoltaica potente a nivel nacional, con la creación de empleo que esta llevaría asociada.

**Figura 28: Evolución propuesta para los objetivos de potencia instalada en línea con escenario Sostenible de cobertura de la demanda en 2020**



Fuente: ASIF, APPA