

vt

informe de **vigilancia tecnológica**

serie
informes de tecnologías clave de la Comisión Europea

miod

**tecnologías clave
para la energía
en europa**

Birte Holst Jørgensen

www.madrimasd.org



miod

vt

mi+d

informe de **vigilancia** tecnológica

serie
informes de tecnologías clave de la Comisión Europea

**tecnologías clave
para la energía
en europa**

Birte Holst Jørgensen

www.madrimasd.org



mi+d

Edición española coordinada por:



Todos los derechos están reservados. Se autoriza la reproducción total o parcial de este informe con fines educativos, divulgativos y no comerciales citando la fuente. La reproducción para otros fines está expresamente prohibida sin el permiso de los propietarios del copyright.

- © De los textos: Birte Holst Jørgensen
 - © De las traducciones: Enrique Nell Tornero
- Revisado por: Juan Manuel García Camus
José Ángel García Laborda

Traducidos con el permiso de la CE.

5	PREFACIO
7	ABREVIATURAS
11	INTRODUCCIÓN
	I.1 Definición de las tecnologías energéticas (PÁG. 14)
	I.2 Definición del ámbito del análisis (PÁG. 17)
21	CAPÍTULO 1
	Los retos socioeconómicos de la energía en Europa
	1.1 Perspectivas y desafíos globales en materia de energía (PÁG. 22)
	1.2 Perspectivas de uso de la energía en la Unión Europea (UE-25) (PÁG. 25)
	1.3 Respuestas políticas de la UE (PÁG. 28)
	1.4 Política europea de I+D en materia de energía (PÁG. 35)
	1.5 Conclusión (PÁG. 41)
45	CAPÍTULO 2
	Base científica y tecnológica europea para las tecnologías energéticas
	2.1 Tecnologías de uso final y rendimiento energético (PÁG. 47)
	2.2 Biomasa, biogás y biocombustibles (PÁG. 52)
	2.3 Hidrógeno y pilas de combustible (PÁG. 57)
	2.4 Tecnologías fotovoltaicas (PÁG. 63)
	2.5 Combustibles fósiles no contaminantes (PÁG. 69)
	2.6 Fisión nuclear (PÁG. 73)
	2.7 Fusión nuclear (PÁG. 79)
	2.8 Conclusión (PÁG. 82)
87	CAPÍTULO 3
	Análisis de puntos fuertes, puntos débiles, oportunidades y peligros de los retos socioeconómicos y la base científica y tecnológica europea para la energía
93	CAPÍTULO 4
	Previsiones
99	CAPÍTULO 5
	Referencias bibliográficas
103	APÉNDICE 1
	Políticas y programas de organizaciones internacionales

Este informe sobre tecnologías energéticas clave forma parte del trabajo llevado a cabo por el Grupo de expertos de alto nivel para preparar un informe sobre tendencias científicas y tecnológicas emergentes, y sus implicaciones para las políticas de investigación de la UE y los Estados miembros.

Birte Holst Jørgensen, científico jefe del Risø National Laboratory, es el responsable del informe, que se ha basado en el estudio de la bibliografía disponible. Stefan Krüger Nielsen, estudiante posdoctoral del Risø National Laboratory, ha contribuido partes del informe, incluidas las descripciones de los escenarios de energía de la AIE, las estadísticas de la AIE sobre I+D y la descripción de la base científica y tecnológica de la biomasa.

El estudio se encargó en diciembre de 2004 y la reunión inicial se celebró en Bruselas el 17 de enero de 2005. La primera versión se envió el 28 de marzo y la versión final se envió el 31 de agosto de 2005.

Edgar Thielmann, funcionario científico de DG TREN, Hans Larsen, Director de departamento de Risø National Laboratory, Aksel Hauge Pedersen, Director de recursos de DONG VE, Timon Wehnert, consultor de IZT-Berlin y Martine Uytterlinde, científico jefe de ECN han aportado una valiosa ayuda y comentarios a las primeras versiones de este informe.

ABREVIATURAS

GEA	Grupo Asesor sobre Energía para investigación en generación distribuida
CBF	Lecho fluido de circulación
CHP	Combinación de calor y electricidad
CSLF	Foro de Liderazgo para la Retención del Carbono
CUTE/ECTOS	Transporte Urbano No Contaminante en Europa / Sistema de Transportes para una Ciudad Ecológica
ECBM	Recuperación mejorada de metano en lecho fluido
EERA	Espacio Europeo de Investigación sobre Energía
EGR	Recuperación mejorada de gas
EIE	Energía Inteligente - Europa
EOR	Recuperación mejorada de petróleo
EPR	Reactor presurizado europeo
EWOG	Grupo de trabajo de investigación en el campo de la energía, predecesor del Grupo de trabajo estratégico bajo el Grupo Asesor sobre Energía
EWEA	Asociación Europea de la Energía Eólica
FBC	Combustión en lecho fluido
PM	Programa marco
PIB	Producto interior bruto
GHG	Gases de efecto invernadero
GIF	Foro Internacional del Reactor Nuclear Generation IV
GJ	Gigajulio
GMO	Organismo modificado genéticamente
GW	Gigavatio
OIEA	Organismo Internacional de la Energía Atómica
AIE	Agencia Internacional de la Energía
INPRO	Proyecto Internacional sobre Reactores Nucleares y Ciclos de Combustible Nuclear Innovadores
ITER	Reactor Termonuclear Experimental Internacional
IPHE	Alianza Internacional para la Economía del Hidrógeno
JET	Joint European Torus
KWh	Kilovatio-hora
GNL	Gas natural licuado
LWR	Reactor moderado por agua ligera
MCFC	Pila de combustible de carbonato fundido

Mt	Millón de toneladas
Mtep	Millón de toneladas de equivalente del petróleo
MW	Megavatio
NGCC	Ciclo de combustión calentado por gas natural
PAFC	Pila de combustible de ácido fosfórico
PEMFC	Pila de combustible de membrana de intercambio de protones
PF	Combustión de combustible pulverizado
PFBC	Combustión en lecho fluido presurizado
PV	Energía fotovoltaica
I+D	Investigación y desarrollo
FER	Fuentes de energía renovable
SMR	Conversión de metano con vapor
SOFC	Pila de combustible de óxido sólido
STSS	Turbina de vapor con presión supercrítica
Grupo de trabajo estratégico	Grupo de trabajo estratégico bajo el Grupo Asesor sobre Energía
SWOT	Puntos fuertes, puntos débiles, oportunidades y peligros
TWh	Teravatio-hora

INTRODUCCIÓN

I.1. Definición de las tecnologías energéticas (PÁG. 14)

I.2. Definición del ámbito del análisis (PÁG. 17)

La disponibilidad de energía es un requisito indispensable para el crecimiento económico y el bienestar en Europa y en el mundo. En la actualidad, dependemos totalmente de un suministro abundante e ininterrumpido de energía para vivir y trabajar. La energía es un factor clave en todos los sectores de la economía moderna.

En todo el mundo, el aumento del consumo de energía, la liberalización de los mercados energéticos y la necesidad de adoptar medidas para combatir el cambio climático están generando nuevos desafíos para el sector energético. Paralelamente, hay una presión creciente para que la investigación, las nuevas tecnologías y los productos industriales sean socialmente aceptables y generen riqueza económica y calidad de vida. El resultado es un complejo y dinámico conjunto de condiciones que afectan a las decisiones sobre inversiones en investigación y nuevas tecnologías energéticas (Larsen, 2002).

Por tanto, el desafío para la investigación en el campo de la energía es conciliar exigencias contrapuestas y abordar los siguientes temas:

- Seguridad y diversidad del abastecimiento energético
- Cambio climático global y degradación del medio ambiente
- Competitividad económica
- Beneficio para la sociedad

El objetivo estratégico de la investigación en el campo de la energía de la UE es desarrollar sistemas y servicios energéticos sostenibles para Europa. Además, se pretende contribuir a un desarrollo más sostenible a nivel mundial (www.europa.eu.int/comm/research/energy/). Esta estrategia conducirá a una mayor seguridad y diversidad del abastecimiento energético, y proporcionará a Europa servicios energéticos económicos y de alta calidad, mayor competitividad industrial, menor impacto medioambiental y mejor calidad de vida para todos los europeos.

Este informe sobre tecnologías energéticas clave para Europa ofrece una descripción general de la situación actual en la UE y una previsión de los retos para la investigación en los próximos años. Se basa en materiales e información existentes, no en la recopilación de datos nuevos. Esto ha planteado desafíos importantes para la evaluación de los puntos fuertes y los puntos débiles actuales y, en particular, para la evaluación de las oportunidades y los peligros futuros. Esta evaluación se hubiera beneficiado de un enfoque realmente previsor, con una mayor participación de las partes interesadas en la comunicación sobre los problemas a largo plazo y en la creación de consenso sobre las áreas más prometedoras. Por tanto, el resultado final de la primera versión de este informe depende en gran medida de los comentarios de un amplio conjunto de expertos en energía y otros expertos de los Estados miembros, la industria, la comunidad investigadora y la Comisión Europea.

El informe está estructurado de la manera siguiente:

- En esta sección introductoria se definen las tecnologías energéticas y se concretan más por razones analíticas.
- La descripción de los retos socioeconómicos a los que se enfrenta Europa en el sector de la energía parte del análisis realizado por la Agencia Internacional de la Energía en 1970 con previsiones hasta 2030, que incluye una referencia y un escenario político alternativo. Se describen la situación mundial y la situación en Europa. Esta sección también contiene una descripción general de las principales respuestas de la política comunitaria en materia de energía. Se describen la I+D de la UE en el campo de la energía y los recursos de I+D en el campo de la energía de los Estados miembros teniendo en cuenta los esfuerzos internacionales.
- Se ofrece una descripción de la base científica y tecnológica para las tecnologías energéticas seleccionadas, incluidas las de rendimiento energético, biomasa, hidrógeno y pilas de combustible, células fotovoltaicas, tecnologías de combustibles fósiles no contaminantes y captura y almacenamiento de CO₂, fusión nuclear y fisión nuclear. Siempre que es posible, se realiza un análisis de puntos fuertes, puntos débiles, oportunidades y peligros (SWOT) y por último se resume la situación.
- Análisis resumido de puntos fuertes, puntos débiles, oportunidades y peligros de las tecnologías energéticas clave.
- Las previsiones destacan algunos de los principales problemas, cuestiones e incertidumbres relacionados con la situación futura de la energía. Se incluyen ejemplos de previsiones energéticas recientes, incluidas las previsiones energéticas nacionales de Suecia y el Reino Unido, así como vínculos a diversas previsiones y hojas de ruta regionales y nacionales.
- El Apéndice I contiene una breve descripción de las principales organizaciones internacionales relacionadas con las tecnologías energéticas y la investigación en el campo de la energía.

I.1 Definición de las tecnologías energéticas

Antes de entrar en detalles sobre los retos socioeconómicos en el campo y la evaluación de la base científica y tecnológica europea, es conveniente definir el área tecnológica. Es posible definir de varias maneras las tecnologías energéticas.

El Consejo Mundial de la Energía ofrece una **amplia definición** (Consejo Mundial de la Energía, 2001: 5) que incluye todos los aspectos de:

- la extracción y producción de recursos
- la producción de energía
- la transmisión, la distribución y el almacenamiento de la energía
- el rendimiento y la conservación de la energía
- las tecnologías de uso final
- la separación, la captura y la retención del carbono

Para **fines estadísticos**, la Agencia Internacional de la Energía agrupa las tecnologías energéticas en los siguientes grupos principales (Comisión Europea, 2005a: 51-53):

- Rendimiento energético
- Combustibles fósiles: petróleo, gas y carbón
- Fuentes de energía renovable
- Fisión nuclear y fusión nuclear
- Otras tecnologías energéticas y de almacenamiento
- Otras tecnologías e investigaciones interdisciplinarias

Una **definición estructurada** distingue entre tecnologías de uso final, portadores de energía y fuentes de energía, y su interacción dinámica (Consejo Mundial de la Energía, 2004: 6). Un portador de energía suele transmitir energía desde la fuente al uso final, y cada paso tiene un coste (pérdidas de energía e inversión de capital). Por tanto, los usos finales incluyen la industria, los hogares y el transporte.

Se incluye una **definición orientada al problema medioambiental** en un estudio sobre tecnología energética y cambio climático que analiza las tecnologías desde el punto de vista de la disponibilidad de tecnologías no contaminantes y eficaces para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (Agencia Internacional de la Energía, 2000: 31). Estas tecnologías se agrupan en cuatro categorías que incluyen el rendimiento energético (en la construcción, la industria y el transporte), producción de

energía no contaminante, tecnologías híbridas (como la combinación de electricidad y calor, turbinas de gas avanzadas, sensores y control, y electrónica de potencia) y tecnologías para la captura y retención del carbono (Ibíd.: 33-34).

En el proyecto EurEnDel (Wehnert et al., 2004) se ofrece una **definición más amplia, orientada al problema social**. Los campos problemáticos se identificaron en un análisis de impacto cruzado que se realizó para definir los principales impulsores del futuro sistema energético de Europa, incluidos la sociedad, el medio ambiente y los sistemas energéticos.

Se seleccionaron estos impulsores, que tienen un impacto importante y a la vez están bajo el control de los órganos de decisión europeos, para investigarlos más a fondo. Constan de 19 tendencias tecnológicas que cubren:

- La demanda energética (industrial, doméstica y de transporte)
- El almacenamiento, la distribución y las redes eléctricas
- El abastecimiento de energía

Una **definición de la cadena de valor de la energía** se centra en el valor añadido y los beneficios de cada paso de la cadena energética, desde las fuentes al uso final. Consta de tres dimensiones interrelacionadas: la dimensión vertical de un extremo a otro de la cadena, la dimensión horizontal del elemento de hardware y software, y la dimensión lateral asociada con la agricultura y la química (Bruggink, 2005: 57).

La definición que se utiliza en este estudio es fundamentalmente una amplia definición orientada al problema tratado:

- Tecnologías de uso final y rendimiento energético para la industria, los hogares y el transporte
- Portadores de energía como electricidad, calor, combustibles líquidos, gases y combustibles sólidos
- Fuentes de energía, como combustibles fósiles, energías renovables y energía nuclear

Las tecnologías generadoras (sensores, tecnologías de la información, biotecnología, nanotecnología, materiales inteligentes) son fundamentales para desarrollar tecnologías energéticas seguras, asequibles y no contaminantes. No obstante, en este estudio no se analizan estas tecnologías, ya que la mayoría de ellas ya son analizadas en otras contribuciones al Estudio de tecnologías clave emprendido.

Las tecnologías de uso final, incluidos el transporte y la fabricación, también se tratan en cierta medida en otras contribuciones al Estudio de tecnologías clave. En este

informe, estos sectores se analizarán principalmente desde el punto de vista del rendimiento energético. También hay cierto solapamiento con las tecnologías medioambientales, ya que las tecnologías energéticas abordan la seguridad energética, el medio ambiente y el crecimiento económico.

I.2 Definición del ámbito del análisis

La definición de las tecnologías energéticas sigue siendo demasiado amplia y hay que limitar el ámbito del análisis a las tecnologías energéticas clave para la investigación futura en Europa. Esto se hace de una forma pragmática, basándose en las prioridades actuales, las propuestas presentadas por el Grupo de Trabajo Estratégico (SWOG), las prioridades establecidas por el estudio EurEnDel y las tecnologías energéticas prioritarias seleccionadas para el estudio de la Comisión sobre tecnologías energéticas prioritarias.

Los subtemas sobre energía propuestos en el Séptimo Programa Marco así como en el Séptimo Programa Marco de Investigación Euratom se derivan de amplias consultas y estarán sujetos a la aprobación final del Parlamento Europeo y el Consejo de Ministros (Comisión de las Comunidades Europeas, 2005b).

El objetivo global de **I+D sobre energía no nuclear en el Séptimo Programa Marco** es transformar el sistema energético actual, basado en combustibles fósiles, en otro sistema más sostenible, basado en una amplia gama de fuentes de energía y portadores, combinados con un mayor rendimiento energético, a fin de afrontar los desafíos urgentes de la seguridad del abastecimiento y el cambio climático, y aumentando a la vez la competitividad de las industrias energéticas de Europa. Los subtemas seleccionados son:

- Hidrógeno y pilas de combustible
- Producción de electricidad a partir de fuentes de energía renovable
- Producción de combustibles renovables
- Emisiones prácticamente nulas, incluidos carbón no contaminante y captura y almacenamiento de CO₂
- Redes energéticas inteligentes
- Ahorro de energía y rendimiento energético
- Conocimiento para la elaboración de políticas energéticas

El objetivo del **Séptimo Programa Marco de Investigación Euratom para la energía de fusión** es desarrollar la base de conocimiento y construir el ITER como pasos principales hacia la creación de prototipos de reactores para centrales nucleares seguras, sostenibles, respetuosas con el medio ambiente y viables desde el punto de vista económico. Los subtemas incluidos son¹:

¹ Sin contar con infraestructuras y recursos humanos, educación y formación.

- La construcción del ITER
- I+D para la preparación del funcionamiento del ITER
- Actividades tecnológicas para la preparación de DEMO
- Actividades de I+D con objetivos a más largo plazo, como mejorar los conceptos sobre esquemas de confinamiento magnético y comprender el comportamiento del plasma de fusión.

El objetivo del **Séptimo Programa Marco de Investigación Euratom para la fisión nuclear y la protección contra la radiación** es establecer una sólida base científica y tecnológica para la gestión segura de los residuos radiactivos de larga vida que fomente una explotación competitiva de la energía nuclear menos peligrosa, más segura, con una gestión de recursos más eficaz, y que garantice un sistema sólido y socialmente aceptable de protección del hombre y el medio ambiente contra los efectos de la radiación ionizante. Los subtemas incluidos son²:

- Gestión de los residuos radiactivos
- Sistemas de reactores
- Protección contra la radiación

Además, la **visión estratégica para I+D en materia de energía a escala europea desarrollada por el Grupo asesor sobre energía (GAE)** destaca que el abastecimiento energético sostenible debe requerir que el suministro sea seguro, asequible y no contaminante. La única vía hacia este sistema energético sostenible es utilizar nuevas y mejores tecnologías energéticas (Comisión de la UE, 2005c: 9). Por lo tanto, es necesario realizar más I+D en una serie de tecnologías y opciones energéticas que deben centrarse precisamente en destacar la I+D. Los campos de I+D fundamentales, recomendados por primera vez en 2001 por el ‘Grupo de trabajo de investigación en el campo de la energía’ (EWOG) de la UE, son: aumento del rendimiento energético, fuentes de energía renovables, uso menos contaminante del carbón y otros combustibles fósiles, energía de fisión nuclear y fusión nuclear, e hidrógeno como portador de energía. Dentro de estos amplios grupos considerados por el EWOG, el Grupo de trabajo estratégico (SWOG)³ identificó las siguientes tecnologías clave, que también han sido respaldadas por el Grupo asesor sobre energía:

- Biomasa
- Uso menos contaminante del carbón
- Pilas de combustible

² Sin contar con infraestructuras y recursos humanos, educación y formación.

³ El grupo de trabajo estratégico fue fundado por el GEA para proporcionar orientación sobre las prioridades y estrategias para la investigación sobre energía en la UE y en los Estados miembro.

- Hidrógeno como portador de energía
- Fisión nuclear
- Fusión nuclear
- Energía solar fotovoltaica
- Energía eólica

El **proyecto EurEnDel** es el primer estudio de Delphi a escala europea sobre los desarrollos futuros en el sector energético (Wehnert et al., 2004). Todas las tecnologías desempeñarán un papel importante en el futuro sistema energético europeo, pero algunas tecnologías son de alta prioridad, mientras que otras sólo serán importantes en determinadas circunstancias. No es sorprendente que las tecnologías con perspectivas a medio y largo plazo requieran más I+D que las que tienen perspectivas a corto plazo. En este caso son necesarios otros mecanismos, como medidas y regulaciones fiscales, etc. En pocas palabras, las tecnologías que requieren I+D básica y aplicada incluyen biomasa, rendimiento energético, tecnologías marinas, pilas de combustible, biocombustibles, almacenamiento y distribución de energía, fisión nuclear, materiales superconductores, captura y almacenamiento de CO₂, energía fotovoltaica, fusión nuclear e hidrógeno.

Un estudio sobre tecnologías energéticas prioritarias encargado por la Comisión Europea incluye (Jitex, 2004⁴):

- Energía fotovoltaica
- Biomasa
- Pilas de combustible (para transporte o fijas)
- Tecnologías del hidrógeno (producción, almacenamiento y utilización)
- Tecnologías de combustibles fósiles (tecnologías de producción centralizada y distribuida de energía)
- Captura y almacenamiento de CO₂

Por último, en la tabla siguiente se presenta la selección de tecnologías energéticas clave para este informe. La exclusión de tecnologías como la eólica, la de energía termosolar concentrada y la marina no implica que estas tecnologías no deban ser consideradas como futuras tecnologías energéticas clave. La selección de tecnologías de las que se ofrecerá una descripción más detallada no refleja ningún esquema de prioridades. A falta de una previsión de tecnología energética europea, la identificación de tecnologías energéticas clave se realiza de forma pragmática, utilizando los estudios y las prioridades disponibles.

⁴ Esta versión del informe fue publicada posteriormente por la Comisión de la UE: Strengths Weaknesses, Opportunities and Threats in Energy Research. 2005.

TABLA 1 Descripción de tecnologías clave de distintas fuentes, incluido este estudio.

Séptimo Programa Marco	Grupo de trabajo estratégico	EurEnDel	Jitex	Tecnologías energéticas clave
Hidrógeno y pilas de combustible.	Hidrógeno como portador de energía. Pilas de combustible.	Pilas de combustible para transporte. Producción y almacenamiento de hidrógeno. Tecnologías de almacenamiento y distribución de energía. Materiales superconductores.	Pilas de combustible. Tecnologías del hidrógeno.	Hidrógeno y pilas de combustible.
Producción de electricidad a partir de combustibles renovables.	Energía fotovoltaica. Energía eólica.	Energía fotovoltaica. Tecnologías marinas.	Energía fotovoltaica.	Energía fotovoltaica.
Producción de combustibles renovables.	Biomasa.	Biomasa. Biocombustibles.	Biomasa.	Biomasa y biocombustibles.
Producción con emisiones prácticamente nulas, incluido carbón no contaminante y captura y almacenamiento de CO ₂ .	Uso menos contaminante del carbón.	Captura y almacenamiento de CO ₂ .	Captura y almacenamiento de CO ₂ . Tecnologías de combustibles fósiles.	Tecnologías de combustibles fósiles. Captura y almacenamiento de CO ₂ .
Redes energéticas inteligentes.				Tecnologías de uso final y rendimiento energético.
Ahorro de energía y rendimiento energético.		Tecnologías de rendimiento energético.		Tecnologías de uso final y rendimiento energético.
Fusión nuclear.	Fusión nuclear.	Confinamiento de plasma.		Fusión nuclear.
Fisión nuclear.	Fisión nuclear.	Fisión nuclear segura.		Fisión nuclear.

CAPÍTULO 1

Los retos socioeconómicos de la energía en Europa

- 1.1 Perspectivas y desafíos globales en materia de energía (PÁG. 22)
- 1.2 Perspectivas de uso de la energía en la Unión Europea (UE-25) (PÁG. 25)
- 1.3 Respuestas políticas de la UE (PÁG. 28)
- 1.4 Política europea de I+D en materia de energía (PÁG. 35)
- 1.5 Conclusión (PÁG. 41)

1.1 Perspectivas y desafíos globales en materia de energía

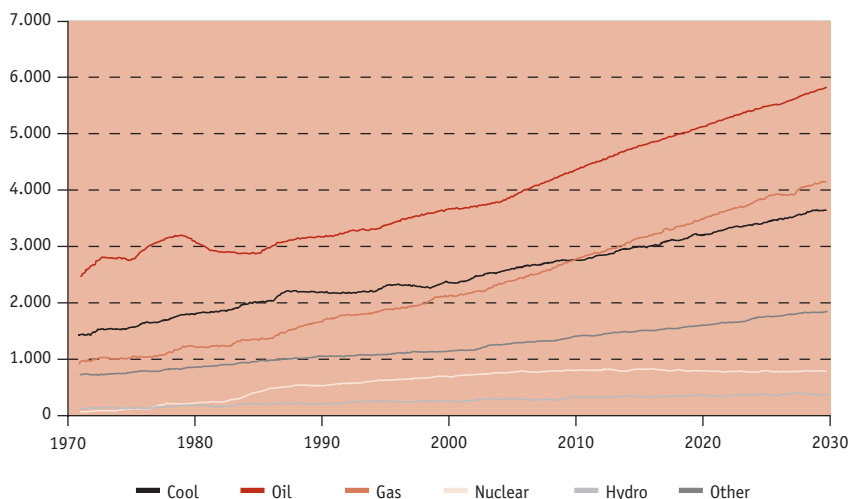
El sistema energético mundial se basa principalmente en el petróleo, el gas y el carbón, que proporcionan alrededor del 80% del abastecimiento de energía primaria, mientras que el 12% proviene de biomasa y residuos, el 7% de energía nuclear, el 2% de energía hidráulica y sólo alrededor del 0,5 % de otras fuentes de energía renovable como la energía eólica, solar o geotérmica (Agencia Internacional de la Energía, 2004). El sistema energético ha experimentado algunos cambios después de las crisis del petróleo de los años setenta. La cuota de mercado del gas natural ha aumentado y la energía se utiliza en general de forma más eficaz, tanto en la producción como en las aplicaciones de uso final; paralelamente, las tecnologías medioambientales se han adaptado para limpiar los gases de escape de los procesos de combustión de combustibles fósiles. La capacidad de producción de los reactores nucleares y los generadores de energías renovables (sin contar con la energía hidroeléctrica) ha aumentado en factores de 23 y 13 respectivamente.

Los órganos de gobierno, como la Administración de Información de Energía (*Energy Information Administration*, 2004), la Agencia Internacional de la Energía (2004), el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (2000), la Comisión Europea (2003a, 2003b), asociaciones como el Consejo Mundial de la Energía (2004) y la Asociación para el estudio del punto de inflexión en la extracción de petróleo y gas (*Association for the Study of Peak Oil&Gas*, www.peakoil.net), así como empresas del sector energético como Shell (2004) y Exxon Mobile (2004), publican previsiones de desarrollos futuros en el sector energético. Aunque en estas previsiones hay diferencias en las expectativas con respecto a la combinación de las distintas fuentes de energía primarias y el plazo para alcanzar el punto de inflexión en la extracción de petróleo, la imagen global de un futuro sistema energético con mayores necesidades energéticas cubiertas principalmente por el petróleo, el gas y el carbón se mantendrá al menos durante varios decenios más.

La Agencia Internacional de la Energía prevé que el consumo de energía primaria aumentará en más del 60% en el periodo 2002-2030, que los combustibles fósiles representarán alrededor del 85% de este aumento y que dos terceras partes del aumento se producirá en los países en desarrollo. Se prevé que el petróleo siga siendo el principal tipo de combustible primario y que el gas natural supere al carbón como segunda fuente de energía primaria más importante del mundo. Se prevé que en China y en la India se absorban más de dos terceras partes del aumento del uso del carbón en el mundo (Agencia Internacional de la Energía, 2004: 57-80). Habrá una clara diferenciación del aumento de la demanda y el abastecimiento de energía entre los países industrializados y los países en desarrollo y, por tanto, también en el modo de

abordar diversos problemas importantes: la necesidad de que los países industrializados sustituyan las tecnologías de abastecimiento actuales por otras menos contaminantes y más eficaces, y el desafío para los países en desarrollo de ampliar el abastecimiento energético para asegurar el crecimiento económico y proporcionar acceso a fuentes de energía a una gran cantidad de personas (Halsnæs & Christensen, 2002).

FIGURA 0 *Demanda mundial de fuentes de energía primaria por combustible.*



Fuente: Agencia Internacional de la Energía, 2004: 60.

La Agencia Internacional de la Energía prevé un aumento del 60% de las emisiones globales de CO₂ para 2030 y se espera que el aumento global de la demanda de petróleo y gas crezca en factores de 1,6 y 1,9 respectivamente y, paralelamente, se prevé que los países consumidores dependerán cada vez más de las importaciones de energía (Agencia Internacional de la Energía, 2004: 70-72).

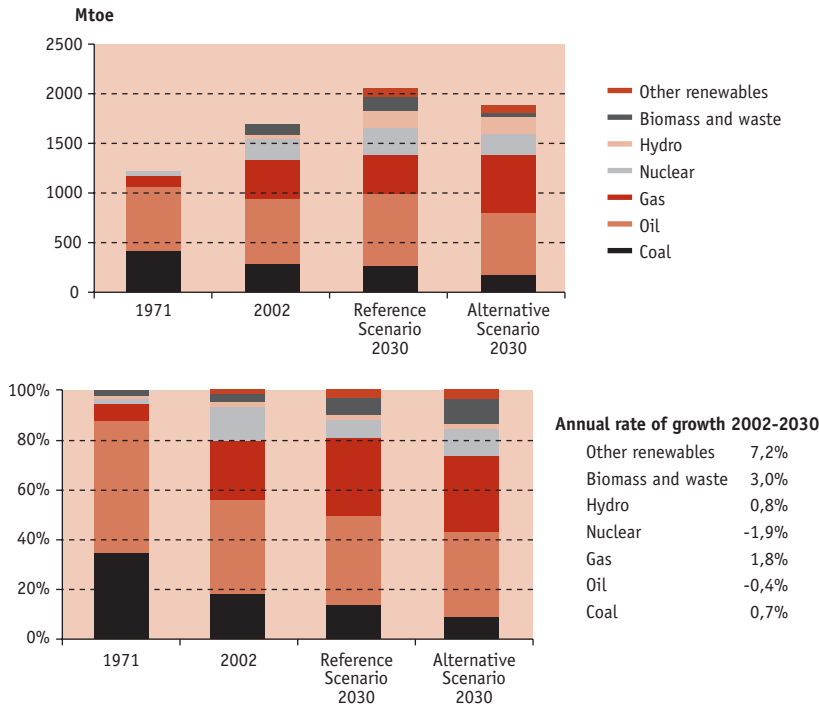
El escenario de referencia de la AIE no intenta predecir cómo se desarrollará el sistema energético en el futuro. Su propósito es ilustrar lo que ocurrirá probablemente si se mantienen las políticas actuales. Pero este escenario de referencia no es inalterable. Se presentan intervenciones gubernamentales más contundentes en un escenario político alternativo en el que la demanda de energía en 2030 es aproximadamente un 11% inferior que en el escenario de referencia y la reducción de la demanda de combustibles fósiles es aún más acusada a causa, principalmente, de políticas que fomentan el uso de energías renovables. El escenario político alternativo introduce medidas más contundentes para mejorar el ahorro de combustible de los vehículos, a fin de reducir la demanda de petróleo. En conjunto, las emisiones de CO₂ se reducen en un 16% con respecto al escenario de referencia y casi el 60% de esta reducción se debe a un uso más eficaz de la energía en las aplicaciones de uso final (Agencia Internacional de la Energía, 2004: 367-427).

En conclusión, los principales desafíos a largo plazo para el sistema energético son el aumento de la carga medioambiental a causa de la combustión de combustibles fósiles (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, 2000) así como a la incertidumbre sobre el acceso continuado a petróleo y gas natural a buen precio (Longwell, 2002) y al acceso restringido continuado a los servicios energéticos modernos para los más pobres (Agencia Internacional de la Energía, 2004).

1.2 Perspectivas de uso de la energía en la Unión Europea (UE-25)

En el **escenario de referencia para la UE-25** (Europa de los veinticinco) de la Agencia Internacional de la Energía, se espera que la demanda de energía primaria en Europa experimente un aumento global del 21% y un aumento anual del 0,7% a lo largo del período 2002-2030. Se producirá un cambio acentuado a la combinación de combustibles primarios. Se prevé que la cuota del carbón en la energía primaria total disminuya del 18% en 2002 al 13% en 2030. También se espera que la cuota de la energía nuclear disminuya del 15% en 2002 al 7% en 2030. Se prevé que la cuota del gas aumente del 23% en 2002 al 32% en 2030. Asimismo, aumentarán las energías renovables no hidroeléctricas, del 4% en 2002 al 10% en 2030. En la figura siguiente se ilustra el desarrollo previsto de la demanda de energía primaria en los escenarios políticos de referencia y alternativo de la AIE para la Unión Europea.

FIGURA 1 Descripción general del consumo de energía primaria en la UE-25, en los escenarios de referencia y alternativo de la AIE para 2030.



Fuente: AIE, 2004.

Se espera un aumento sustancial de las importaciones de combustibles fósiles en la UE. En 2002, el 76% de la demanda de petróleo primario en la UE se cubría con importaciones y se prevé que esta cuota aumente al 94% en 2030, ya que la producción de petróleo en el Mar del Norte, donde se encuentran la mayoría de las reservas de petróleo de la UE, disminuye desde hace tiempo (Agencia Internacional de la Energía, 2004: 107). Se prevé que la producción total de petróleo de la UE baje de 3,2 millones de barriles al día en 2002 a 1 millón de barriles al día en 2030. Además, seguirá ampliándose la diferencia entre la producción y la demanda de gas. Esto implica un aumento en las importaciones de gas de la UE del 49% del consumo en 2002 al 81% en 2030. Se prevé que una parte cada vez más grande de las importaciones de gas de la UE se suministre en forma de gas natural licuado (GNL) de reservas que se encuentran alejadas de los mercados tradicionales, como en Qatar, que dispone de vastos recursos de gas (Agencia Internacional de la Energía, 2004: 136).

En el escenario de referencia de la AIE, las emisiones de CO₂ relacionadas con la energía aumentan al mismo ritmo que la demanda de energía primaria en la UE y hacia 2030 el nivel de emisiones será un 20% superior al de 2002 (aproximadamente 4.488 Mt). El sector de producción de energía seguirá siendo el principal emisor de CO₂ en 2030, siendo responsable del 37% de las emisiones, mientras que el sector del transporte será responsable de un 28%. Esto implica que en el periodo 2008-2012 sólo se podrá cumplir el Protocolo de Kioto para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero un 8% por debajo de su nivel de 1990 comprando créditos de emisión de países que no pertenecen a la UE.

En el **escenario político alternativo**, la demanda de energía primaria en la UE alcanzará 1.870 Mtep en 2030, alrededor de un 9% menos que en el escenario de referencia. Ese año, la combinación de combustibles será algo distinta de la del escenario de referencia. Los combustibles fósiles cubren el 74% de la demanda de energía primaria, en comparación con el 81% en el escenario de referencia. El consumo de carbón se reduce en general. Las energías renovables cubren el 16% de la demanda y la energía nuclear el 10%. Se espera que el ahorro de petróleo sea mayor que en otros países de la OCDE, reflejando políticas que fomentan un uso eficaz de los combustibles y el uso de biocombustibles y transporte público. La demanda del petróleo se reduce en más del 14% en comparación con el escenario de referencia a causa de una combinación de políticas destinadas a satisfacer el compromiso de Kioto de la UE. En el escenario alternativo se incluyen diversas medidas nuevas para fomentar el uso de energías renovables en la producción de energía, en el sector del transporte y en los edificios. También se incluye el esquema del comercio de derechos de emisión, que permite a las empresas europeas comerciar los derechos de emisión. Se espera que las emisiones de CO₂ alcancen un máximo de aproximadamente 3.900 Mt en 2020 y después empiecen a disminuir de forma que, alrededor de 2030 sean de 850 Mt, es decir, un 19% inferiores a las del escenario de referencia. Incluso en este caso, las emisiones de CO₂ sólo se reducirán en un 2% para 2030 en comparación con 2002

(Agencia Internacional de la Energía, 2004: 367-427). Pero un aspecto interesante del escenario político alternativo de la AIE es que se prevé que sea necesario más capital en el lado de la demanda para compensar completamente las necesidades menores de inversión en el lado del abastecimiento. Esto se basa principalmente en la suposición de que las mejoras de rendimiento en las aplicaciones de uso final suelen ser inferiores a los costos marginales relacionados con la inversión en nuevas instalaciones de producción de energía en respuesta al aumento de la demanda (Agencia Internacional de la Energía, 2004: 382).

En *conclusión*, las perspectivas de uso futuro de la energía en la Unión Europea plantean importantes desafíos que hay que superar, especialmente en lo que concierne a la consecución de los objetivos políticos de reducir las emisiones de CO₂ y la dependencia de los combustibles fósiles importados.

1.3 Respuestas políticas de la UE

El futuro de Europa depende de un abastecimiento energético seguro, sostenible y asequible. Se trata de vincular la seguridad del abastecimiento con un desarrollo sostenible, los desarrollos en los mercados energéticos y la situación socioeconómica de la UE. Los objetivos de la política europea en materia de energía son:

- conciliar la seguridad energética
- reducir el impacto en el medio ambiente de la producción y el consumo de energía
- crecimiento competitivo de la economía

Las acciones políticas fundamentales de la Unión Europea en materia de energía son:

El abastecimiento de energía. El objetivo principal de la política energética de la UE se estableció en el Libro Verde de 2001 sobre la seguridad del abastecimiento energético, que destaca que se debe asegurar el abastecimiento energético a precios asequibles a todos los consumidores a la vez que se respeta el medio ambiente y se fomenta la competencia sana en el mercado energético europeo. El Libro Verde esboza una estrategia energética a largo plazo, según la cual:

“La Unión debe reequilibrar la política de la oferta a través de acciones claras a favor de una política de demanda. En efecto, los márgenes de maniobra para un aumento de la oferta comunitaria son pequeños a la vista de las necesidades, y parecen más prometedores del lado de la demanda.

Con respecto a la demanda, el Libro Verde preconiza un auténtico cambio de hábitos de los consumidores y pone de manifiesto el interés del instrumento fiscal para orientar la demanda hacia consumos más controlados y respetuosos con el medio ambiente. Se proponen gravámenes fiscales o parafiscales a fin de penalizar el impacto medioambiental de las energías. Los sectores del transporte y de la construcción deberán ser objeto de una política activa de ahorro energético y de medidas de diversificación a favor de energías no contaminantes.

Con respecto a la oferta, debe darse prioridad a la lucha contra el cambio climático. El desarrollo de las energías nuevas y renovables (incluidos los biocarburantes) es la clave del cambio. Duplicar su cuota del 6% al 12% en el balance energético para la producción de electricidad” (Comisión Europea, 2001a: 4).

En base al Libro Verde, la Comisión ha lanzado diversos instrumentos jurídicos nuevos, la mayoría de los cuales han sido adoptados⁵.

El mercado energético liberalizado. Se han adoptado reglas comunes para la electricidad y el gas respectivamente, a fin de garantizar su libre circulación dentro de la Comunidad. Los mercados de la electricidad y el gas se abrieron en 1999 y 2000 para los principales consumidores, aunque el grado de liberalización de los mercados varía en los distintos Estados miembros. En marzo de 2001, la Comisión de la UE adoptó un conjunto de medidas para abrir completamente los mercados del gas y la electricidad para 2007. En julio de 2004 se trasladaron las nuevas directivas de la electricidad y gas a los Estados miembros y también entró en vigor el reglamento para el comercio transfronterizo de energía eléctrica. Las nuevas reglas tienen como objetivo desarrollar sectores de la electricidad y el gas competitivos en toda la Unión Europea. Aunque se han adoptado muchas medidas, aún hay que eliminar varios obstáculos en muchos Estados miembros para fomentar la competencia en los mercados de la electricidad y el gas. Algunas de las principales preocupaciones son la posibilidad de que los clientes cambien de proveedor, el acceso equitativo a las redes de distribución y transmisión y a estructuras de mercado competitivas, y los sistemas de tarifas (Comisión Europea, 2005d).

Redes energéticas transeuropeas. La culminación del mercado interno para la energía se acompaña de medidas para reforzar las redes energéticas transeuropeas. Actualmente, aproximadamente la cuarta parte del consumo de energía en Europa se basa en el gas natural. Según las previsiones antes descritas, la demanda de gas en la UE aumentará considerablemente hacia 2030 y satisfacer esta demanda requerirá un aumento importante de la capacidad de importación de gas. Por otra parte, la producción de electricidad debe ajustarse de forma precisa con la demanda en cualquier momento especificado y la capacidad de transmisión debe ser suficiente para cubrir la demanda máxima, a fin de evitar el riesgo de apagones. Un mercado energético europeo único requiere el comercio transfronterizo de energía. El programa Redes energéticas transeuropeas identifica los vínculos de unión que faltan y los cuellos de botella de la red, e identifica las vías prioritarias que hay que actualizar. El programa señala la necesidad de invertir 28.000 millones de euros para desarrollar los proyectos prioritarios de la red energética en el período 2007-13 (Comisión Europea, 2004d). La necesidad de acoplar la electricidad generada

⁵ Directiva sobre el fomento de la electricidad generada a partir de fuentes de energía renovables (2001/77/CE - OJ L283/33 - 27.10.2001); Directiva sobre el fomento de biocombustibles (2003/30/CE - OJ L123/42 - 17.5.2003); Directiva sobre el rendimiento energético de los edificios (2002/91/CE - OJ L1/65 - 4.1.2003); Directiva sobre el fomento de la cogeneración (2004/8/CE - OJ L52/50 - 21.2.2004); Directiva para la aplicación de impuestos a los productos energéticos y la electricidad (2003/96/CE - OJ L283/51 - 31.10.2003); Directiva sobre el rendimiento energético de los limitadores de corriente de las luces fluorescentes (2000/55/CE - OJ L279/33 - 01.11.2000); Directivas sobre el etiquetado de los hornos eléctricos, aparatos de aire acondicionado y neveras (2002/40/CE - OJ L283/45 - 15.5.2002) (2002/31/CE - OJ L86/26 - 3.4.2003) (2003/66/CE - OJ L170/10 - 9.7.2003); Regulación del etiquetado Energy Star para equipos de oficina (2001/2422/CE - OJ L332/1 - 15.12.2001); Directiva sobre los requisitos de diseño ecológico para productos que consumen energía (Propuesta COM(2003) 453); Directiva sobre el rendimiento energético y los servicios energéticos (Propuesta COM(2003) 739).

mediante energía eólica a la red de alta tensión requiere una actualización importante de la red eléctrica a escala europea, que podría ser coordinada por la directiva TEN-E.

Cambio climático. La Unión Europea ha firmado el Protocolo de Kioto de 1997 para la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático con el objetivo de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en la UE-15 (Europa de los quince) en un 8% para 2012 con respecto al nivel de 1990⁶, y los nuevos Estados miembros de la UE se han comprometido igualmente a reducir sus emisiones (Agencia Europea de Medio Ambiente, 2004).

El enfoque general de la Comisión ha sido modelar un marco político para reforzar las medidas adoptadas a nivel nacional. Estas políticas “comunes y coordinadas” son, por ejemplo, acuerdos voluntarios sobre el medio ambiente y el fomento de los mecanismos flexibles del Protocolo de Kioto para el comercio de derechos de emisión y la reducción de emisiones relacionadas con proyectos (Comercio de derechos de emisión, Aplicación conjunta y Mecanismo para un desarrollo no contaminante). Para 2002, las emisiones de gases de efecto invernadero de la UE-15 se redujeron un 2,9% con respecto al nivel del año de referencia, lo que supone que la UE-15 ha cubierto poco más de un tercio del camino hacia su objetivo de una reducción del 8% de las emisiones de gases de efecto invernadero especificado en el Protocolo de Kioto. Los nuevos Estados miembros las redujeron alrededor de un 33% con respecto al nivel del año de referencia (Agencia Europea de Medio Ambiente, 2004). Por tanto, son necesarias medidas adicionales para satisfacer los requisitos, como se señala también en el escenario político alternativo de la AIE.

La *energía de fuentes de energía renovable* (FER) es fundamental para la diversificación y sostenibilidad del sistema energético. El documento técnico de 1997 proporcionó una estrategia y un plan de acción comunitario para las fuentes de energía renovable en la Unión Europea. El objetivo establecido en el documento técnico es aumentar la proporción de fuentes de energía renovable en el consumo interior bruto de energía para calefacción, electricidad y transporte en la UE-15 del 6% en 1997 al 12% en 2010. Por tanto, la Comisión ha establecido los objetivos de aumentar la cuota de energías renovables en la producción de calor y electricidad, y utilizar biocombustibles en el sector del transporte (Comisión Europea, 2004f). La UE-15 tiene el objetivo de una cuota del 12% de energías renovables en el consumo general de energía, pero las metas específicas para el uso de energías renovables en la producción de electricidad y transporte también se aplican a los nuevos Estados miembros de la UE. Si se mantienen las tendencias actuales en calefacción y si los Estados miembros de la UE-15 ponen en práctica los planes nacionales establecidos para la electricidad y cumplen los requisitos de la directiva de biocombustibles para el transporte, la cuota alcanzará el 9% en 2010. Además, si los Estados miembros

⁶ Decisión del Consejo sobre la aprobación del Protocolo de Kioto OJ L130 del 15 de mayo de 2002.

cumplen los requisitos de la directiva sobre electricidad de fuentes de energía renovable, la cuota alcanzará el 10%. El cumplimiento del objetivo del 12% para 2010 requerirá un cambio importante de las políticas nacionales de uso de energías renovables para calefacción (Comisión Europea, 2004e: 33).

Electricidad de fuentes de energía renovable. En septiembre de 2001 se adoptó una directiva del Consejo y el Parlamento para impulsar el uso de electricidad de fuentes de energía renovable con el fin de aumentar el porcentaje de electricidad de FER del 14% en 1997 al 22% en 2010 para la UE-15 (Comisión Europea, 2004b). En 2003 las energías renovables aportaron casi el 15% del consumo bruto de electricidad en la UE-15 (EuroObserver, 2004). El objetivo del 22% para la UE-15 se revisó posteriormente al 21% para la UE-25 (Comisión Europea, 2004b). En 2001, la contribución de la electricidad verde en la UE-25 fue del 15,2% (Comisión Europea, 2004b).

En la figura siguiente se ilustran la cuota de energías renovables en el consumo bruto de electricidad de la UE-15 en 2003 y los objetivos para la UE-25 en 2010. En base a las tendencias actuales, es probable que alrededor del 18%-19% del consumo total de electricidad en 2010 sea producido por fuentes de energía renovable, por lo que es posible que los Estados miembros tengan que hacer esfuerzos adicionales para alcanzar sus objetivos. Un análisis realizado por la Comisión Europea pone de manifiesto que la razón principal por la que no se alcanzó el objetivo es que la producción de electricidad a partir de biomasa no fue tan elevada como se predijo inicialmente (Comisión Europea, 2004f).



FIGURA 2 *Cuota de energías renovables en el consumo bruto de electricidad de los países de la Unión Europea en 2003 y objetivos para 2010.*

Fuente: EuroObserver, 2004.

La Comisión adoptó en septiembre de 2001 la política establecida en el documento técnico *European Transport Policy for 2010: time to decide*. Aproximadamente la quinta

parte del consumo bruto de energía primaria o la tercera parte del consumo final de energía se realiza en el sector del transporte. El petróleo representa el 98% de la energía consumida en el sector del transporte, que es responsable del 28% de las emisiones de CO₂. Dos directivas se centran en el uso de combustibles alternativos en el sector del transporte. La primera directiva prevé que a partir de 2005 los combustibles contengan un porcentaje de biocombustibles y la segunda directiva tiene en cuenta la aplicación de un impuesto especial reducido a los biocombustibles. Los objetivos para la penetración del biocombustible en el mercado del combustible para transporte en la UE son del 2% para 2005 y del 5,75% para 2010, en comparación con el 0,6 % de 2002. Además, la Comisión ha negociado un acuerdo voluntario con el sector del automóvil para reducir las emisiones específicas de CO₂ de los turismos nuevos (Comisión Europea, 2001b). No obstante, se considera que estas iniciativas no son suficientes para compensar el ritmo del aumento de la demanda del transporte, por lo que se prevé que las emisiones de CO₂ del sector del transporte aumenten (Comisión Europea, 2001a: 16).

Legislación para el rendimiento energético. Uno de los principales mensajes del Libro Verde de la Comisión Europea sobre seguridad del abastecimiento energético es que la futura política energética europea debe centrarse más en políticas para la demanda y en el rendimiento energético (Comisión Europea, 2001a). La Comisión Europea estima que las directivas sobre ahorro de energía en los edificios, combinadas con las etiquetas de calefacción y electricidad, limitadores de corriente, nevera, horno y aire acondicionado, y la norma Energy Star pueden proporcionar ahorros de energía del orden de 22 Mtep para 2010, reduciendo el consumo total previsto de energía primaria a 1.556 Mtep (Comisión Europea, 2004e). El consumo en 1998 era de 1.436 Mtep (Comisión Europea 2001a: 22). Por tanto, la legislación sobre rendimiento energético aquí mencionada no se considera suficiente para reducir, ni siquiera para estabilizar, el consumo final de energía en los próximos decenios. En junio de 2005 se publicó un libro verde de la Comisión sobre rendimiento energético que destaca la necesidad de realizar más I+D en este campo (COM(2005) 265 final).

Programas de apoyo comunitario. La Comisión Europea ha lanzado varios programas de apoyo comunitario para abordar los temas del rendimiento energético y las energías renovables. El programa plurianual Energía inteligente - Europa (EIE) adoptado en junio de 2003 se basa en el éxito de los programas Save y Altener, que han apoyado acciones en los campos del rendimiento energético y las energías renovables desde principios de los noventa. El presupuesto combinado para los dos programas anteriores en el decenio 1993-2002 fue de 220 millones de euros, mientras que el presupuesto asignado al nuevo programa para el periodo 2003-2006 es de 250 millones de euros.

El objetivo de EIE es mejorar el rendimiento energético (acciones Save), impulsar el uso de fuentes de energías nuevas y renovables (acciones Altener), apoyar iniciativas que aborden los aspectos energéticos del transporte (Steer) e impulsar el uso de energías renovables y el rendimiento energético en los países en desarrollo (Co-opener) (Comisión Europea, 2004e).

Crecimiento económico. En el año 2000, el Consejo de Ministros Europeo adoptó el acuerdo de Lisboa para convertir el campo de la energía en el campo basado en el conocimiento más competitivo para 2010. Esto se concretó posteriormente en la declaración de Barcelona, que estableció el objetivo de asignar al menos el 3% del PIB a I+D para 2010 (1% del PIB debe provenir de fondos públicos para I+D).

En noviembre de 2003 el Presidente de la UE, Romano Prodi, anunció una iniciativa para el crecimiento de ejecución inmediata para llevar a cabo los proyectos prioritarios de las Redes energéticas transeuropeas (Comisión Europea, 2003c). Estos proyectos incluyen 7 redes energéticas, 3 redes de gas natural y 2 proyectos relacionados con el hidrógeno que deben llevarse a cabo en los próximos 10 años. Los recursos financieros indicativos requeridos son de 12.433 millones de euros procedentes de fuentes de la UE, nacionales, regionales y privadas.

Las nuevas tecnologías energéticas pueden convertirse en un catalizador para acercar nuevas industrias que generen puestos de trabajo en la Comunidad Europea. Un buen ejemplo es el sector de la energía eólica europea, que produce actualmente la mayoría de las instalaciones de turbinas eólicas del mundo. El sector de la energía eólica europea ha generado más de 72.000 puestos de trabajo en Europa (Asociación Europea de la Energía Eólica). Mirando al futuro, la Asociación Europea de la Energía Eólica prevé que puede ser posible generar el 12% de la energía eléctrica mundial a partir de energía eólica para 2020, lo que permitirá alcanzar 200.000 puestos de trabajo creados para 2020 (Asociación Europea de la Energía Eólica, 2004a y 2004b). No obstante, el impacto de la I+D en el campo de la energía no se evalúa sistemáticamente para las tecnologías energéticas clave, pero se ha realizado trabajo preparatorio en los criterios e indicadores para realizar evaluaciones y análisis fundamentados del retorno económico y social de las inversiones en I+D (Comisión Europea, 2005e).

Para terminar este apartado sobre las respuestas políticas, cabe mencionar que la UE ha realizado un esbozo de los desafíos que debe afrontar a largo plazo para proporcionar un abastecimiento energético asequible, sostenible y eficaz. Los mercados de la electricidad y el gas se han liberalizado, y además existe la necesidad de invertir en proyectos de redes energéticas internacionales prioritarios. La UE ha ratificado el Protocolo de Kioto con el objetivo de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en un 8% para 2012 y recientemente los ministros de medio ambiente europeos han recomendado nuevas y ambiciosas metas para la reducción a medio y largo plazo más allá de 2012. Se han establecido metas ambiciosas para la cuota de recursos de energías renovables (12% para 2010) así como para la energía eléctrica generada a partir de energías renovables (21% para 2010). En el sector del transporte, se han establecido como objetivos para el biocombustible el 2% del mercado de combustible para 2005 y el 5,75% para 2010. En cuanto al rendimiento energético, se prevé un ahorro de energía del orden de 22 Mtep para 2010. Los objetivos de Barcelona de aumentar el presupuesto global para I+D también están relacionados con las tecnologías energéticas.

No obstante, la puesta en práctica de estas políticas y estos objetivos plantea importantes problemas y, en última instancia, depende del cumplimiento de cada Estado miembro. Hay que salvar obstáculos para impulsar la competencia en los mercados del gas y la electricidad en los Estados miembros, incluido el compromiso financiero necesario para las redes energéticas prioritarias. Los Estados miembros de la UE tienen importantes dificultades para llevar a cabo las reducciones de gases de efecto invernadero pactadas en Kioto y son necesarias medidas adicionales para cumplir los requisitos. El cumplimiento de los objetivos para las fuentes de energía renovable y electricidad generada a partir de energías renovables requerirá esfuerzos adicionales por parte de la UE. Incluso si se cumplen los objetivos para los biocombustibles, serán necesarias iniciativas adicionales para afrontar el aumento de la demanda del sector del transporte. Se han adoptado medidas para afrontar el crecimiento económico mediante la iniciativa denominada Quick-start Growth Initiative (Iniciativa para el crecimiento de ejecución inmediata) con diversos proyectos de infraestructura que consumen muchos recursos y que deben llevarse a cabo en los próximos 10 años, pero aún no se demostrado el compromiso financiero de la UE, los Estados miembros y el sector privado. Por último, se han reducido los recursos de I+D para las tecnologías energéticas. Esto se analizará en mayor detalle a continuación.

1.4 Política europea de I+D en materia de energía

Como aún no hay mercado interno para la I+D europea en el campo de la energía, su descripción se dividirá en una descripción de la I+D en el campo de la energía en la UE y en los Estados miembros.

1.4.1 I+D en el campo de la energía en la UE

Además de las medidas legislativas y otras medidas antes descritas, la Comisión ha respaldado la investigación, el desarrollo y proyectos piloto en el campo de energía no nuclear bajo el programa ENERGY de los programas marco. En cuanto al campo de la energía nuclear, es responsabilidad de la Comunidad Europea de la Energía Atómica (EURATOM) fundada en 1957. EURATOM se encarga de diversas tareas, como la I+D para el uso pacífico de la energía nuclear.

En la tabla siguiente se muestra el gasto total de los programas marco en I+D en el campo de la energía. En realidad, el gasto en I+D en el campo de la energía se ha reducido a lo largo de los años y el porcentaje de I+D total de la Comunidad ha bajado del 66% a sólo el 12% del gasto del Programa Marco de la UE.

TABLA 2 Descripción general de los fondos para la energía en los programas marco.

	<i>I+D total (billones de euros)</i>	<i>I+D sobre energía (billones de euros)</i>	<i>I+D sobre energía (% de la I+D total)</i>	<i>I+D sobre energía nuclear (% de la I+D total)</i>	<i>I+D sobre energía no nuclear (% de la I+D total)</i>
Antes de los PM	-	-	66	-	-
Primer PM – 1983 a 1986	3,8	2,508	66	??	??
Segundo PM – 1987 a 1990	5,4	2,700	50	??	??
Tercer PM – 1991 a 1994	6,6	1,506	23	??	??
Cuarto PM – 1995 a 1998	13,2	2,412**	18	10	8
Quinto PM – 1999 a 2002	14,9	2,303**	15	8	7
Sexto PM – 2003 a 2006	17,5	2,040**	12	7	5

Fuente: Comisión de la UE, 2005c: 19; * Froggatt, A., 2004: 14. [falta información sobre los fondos del programa marco].

Originalmente, la I+D en energía nuclear era el centro de atención de la Comunidad Europea en el marco de trabajo del Tratado Euratom de 1957. A lo largo de los años, se han dedicado a este campo de investigación aprox. 1.000 millones de euros por programa marco, pero la cuota se ha reducido del xx% del total del Primer Programa

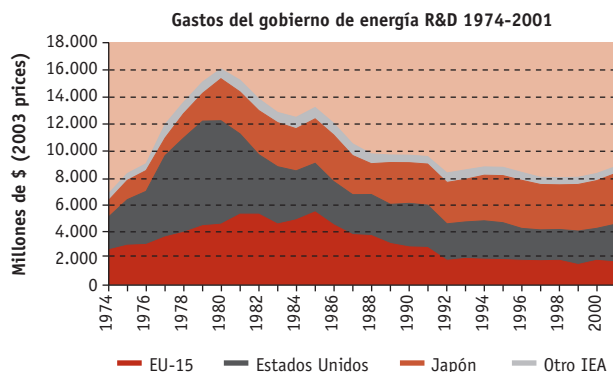
Marco total al 7% en el Sexto Programa Marco. La I+D en energía no nuclear ha sufrido fluctuaciones importantes. La importancia de la I+D en el campo de las energías renovables ha ido creciendo poco a poco, gracias al éxito de la tecnología eólica y al aumento de la influencia del Parlamento Europeo. La I+D relacionada con energías renovables representa aproximadamente la mitad del presupuesto para energía no nuclear desde 1994 (Consejo Mundial de la Energía, 2001: 100-101).

1.4.2 I+D en el campo de la energía en los Estados miembros

En comparación con otros países, las inversiones en I+D en el campo de la energía en los Estados miembros de la UE también han disminuido a lo largo de los años, y esta tasa de disminución ha sido más alta para los Estados miembros de la UE que para otros países de la AIE (véase la figura siguiente)⁷.

A diferencia de Estados Unidos y la UE-15, que han reducido las inversiones del gobierno en I+D en el campo de la energía, Japón triplicó la financiación para I+D en el campo de la energía a finales de los setenta y ha mantenido ese ritmo de inversión desde entonces. La UE-15 ha recortado la financiación en aproximadamente el 35% desde principios de los setenta o el 68% desde el máximo del año 1986. Ahora Japón gasta más del 40% del presupuesto total para la I+D en el campo de la energía financiada por los gobiernos de los países de la AIE, mientras que Estados Unidos y la UE-15 gastan alrededor del 33% y el 20% respectivamente (véase la figura siguiente).

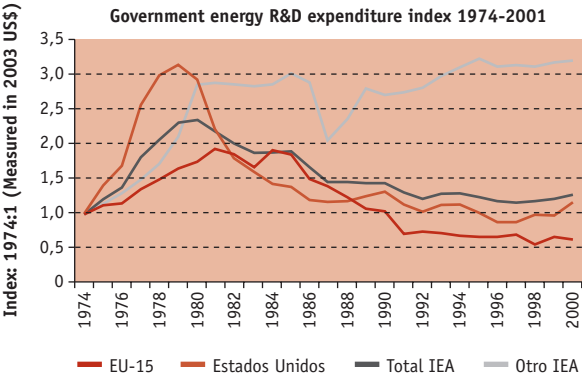
FIGURA 3 Gasto del gobierno en I+D en el campo de la energía en los países de la AIE durante 1974-2001.



Fuente: Sitio Web de estadísticas sobre I+D de la Agencia Internacional de la Energía: <http://www.iea.org/rdd/eng/>.

⁷ Los datos sobre los gastos de investigación en el campo de la energía en los sucesivos programas marco de la UE no se incluyen en las estadísticas de la AIE. La falta de datos de la UE significa que las estadísticas de la AIE sólo pueden proporcionar una imagen limitada de la situación de financiación de la I+D en Europa y en campos tecnológicos específicos (Comisión Europea, 2005a).

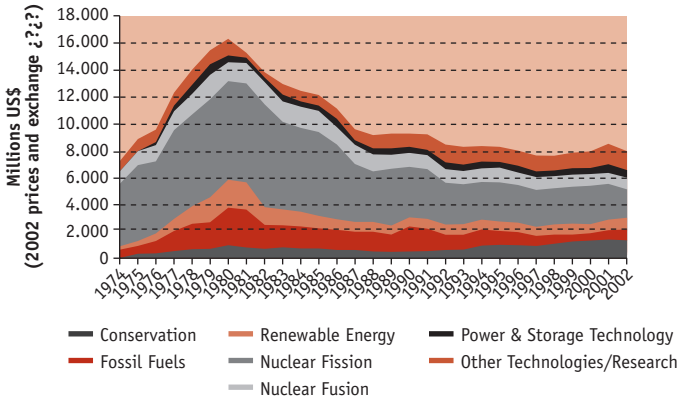
FIGURA 3 *Gasto del gobierno en I+D en el campo de la energía en los países de la AIE durante 1974-2001.*



Fuente: Sitio Web de estadísticas sobre I+D de la Agencia Internacional de la Energía: <http://www.iea.org/rdd/eng/>.

A lo largo del período 1974-2002, el 58% de la financiación del gobierno para I+D en el campo de la energía en los países de la AIE se ha destinado a la fusión nuclear y a la fisión nuclear, el 13% se ha gastado en combustibles fósiles, el 8% en la conservación, otro 8% en energías renovables, el 3% en tecnologías energéticas y de almacenamiento y el 10% en otros tipos de investigación en el campo de la energía. En 2002, los fondos para fusión nuclear y fisión nuclear cayeron al 39%, se gastó el 9% en combustibles fósiles, 18% en conservación, 9% en energías renovables, 7% en tecnologías energéticas y de almacenamiento y 18% en otros tipos de investigación en el campo de la energía.

FIGURA 4 *Desglose del gasto de los gobiernos en I+D en el campo de la energía, en diversas áreas de investigación durante 1974-2002.*



Fuente: Sitio Web de estadísticas sobre I+D de la Agencia Internacional de la Energía: <http://www.iea.org/rdd/eng/>.

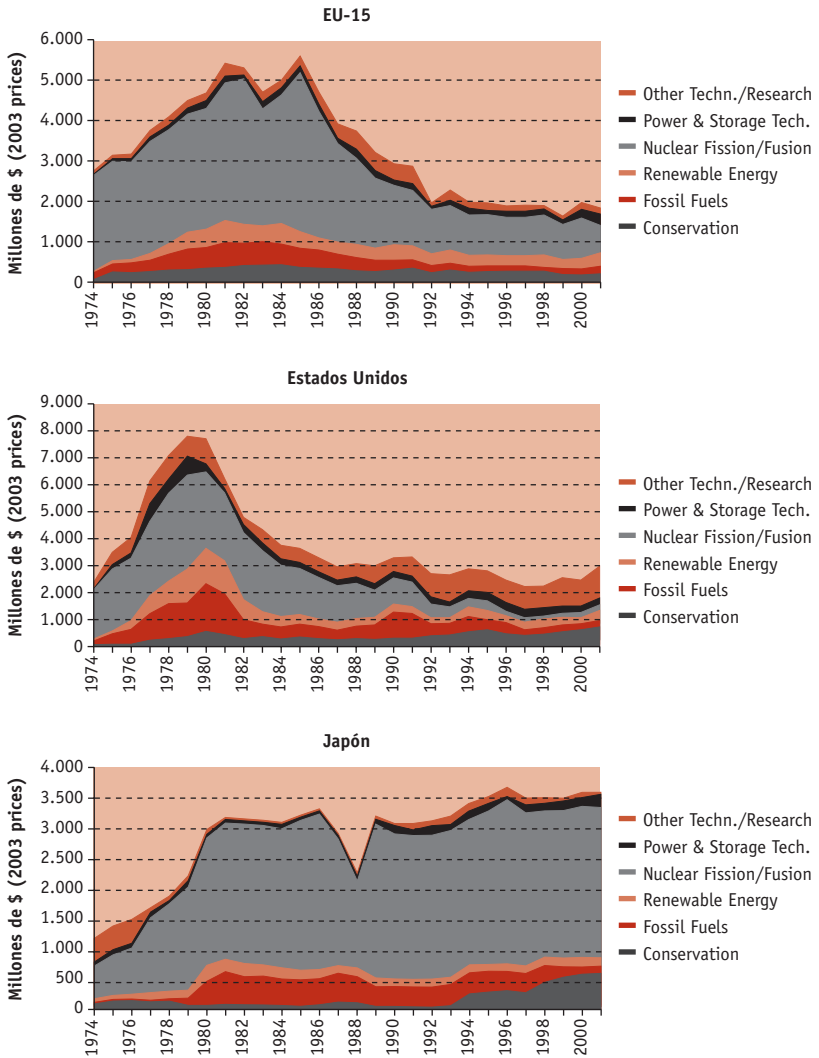
Mientras Europa y, especialmente, Japón siguen invirtiendo una parte importante de los fondos totales para investigación en energía nuclear (46% y 70 % respectivamente),

Estados Unidos ha pasado a centrarse en otras áreas a lo largo del decenio pasado, destinando sólo un 11% a la energía nuclear. En Estados Unidos se gasta en conservación casi cuatro veces más que en la UE-15 y cinco veces más que en Japón. La UE-15 sólo gasta en la conservación en torno al 13% de la I+D en el campo de la energía, y el 17% en energías renovables. Pero la UE-15 gasta un 15% más en energías renovables que Estados Unidos y más del doble que Japón. En el presupuesto global para la I+D en el campo de la energía, Estados Unidos y Japón gastan 1,6 y 2 veces más respectivamente que la UE-15 (véase la figura siguiente).

FIGURA 5 *Desglose del gasto de los gobiernos en I+D en el campo de la energía, en diversas áreas de investigación durante 1974-2002 en la UE-15, Estados Unidos y Japón.*

vt tecnologías clave para la energía en europa

38



Fuente: Sitio Web de estadísticas sobre I+D de la Agencia Internacional de la Energía: <http://www.iea.org/rdd/eng/>

En un análisis reciente de la financiación para I+D en energías renovables de los gobiernos, el sector privado y la UE, la Comisión Europea concluye que aproximadamente la mitad del gasto en investigación en energías renovables de la UE proviene del sector público. En 2001, el gasto total del gobierno fue de aproximadamente 350 millones de euros, 340 millones de euros provinieron de otros sectores y la UE contribuyó con otros 90 millones de euros (Comisión Europea, 2004h: 13). Un tercio del gasto en investigación del gobierno de la UE-15 y la mitad del personal que trabaja en investigación en energías renovables son de Alemania. Dinamarca y Holanda tienen la mayor proporción de gasto en investigación sobre energías renovables en comparación con el gasto nacional total en I+D: alrededor del 0,7%. Además, Dinamarca, Finlandia, Holanda y Suecia ocupan una posición destacada en I+D en el campo de las energías renovables con un 0,018-0,014% del PIB (Ibíd: 8).

En el área de programas de I+D en el campo de la energía no nuclear hay una marcada distinción entre, por una parte, los Estados miembros de la UE-15 y la mayoría de los países asociados y, por otra parte, los nuevos Estados miembros (Comisión Europea, 2005h). A finales de 2003, el segundo grupo no tenía programas de ningún tipo para I+D en energía no nuclear. Y en el primer grupo de Estados miembros hay una considerable variedad temática, salvo algunas prioridades emergentes entre los Estados miembros sobre tecnologías energéticas y de almacenamiento, en particular pilas de combustible y células fotovoltaicas y, en menor medida, biomasa y conservación (Comisión Europea, 2005h). En particular, para los nuevos Estados miembros el desafío de alcanzar a los otros Estados miembros en I+D en el campo de la energía es enorme. La mayoría de los nuevos Estados miembros tienen una masa de investigadores con buena formación, pero suelen tener políticas energéticas e infraestructuras de I+D poco desarrolladas.

Por último, tanto la UE como los Estados miembros han recortado los fondos para I+D en el campo de la energía a lo largo de los años. Los fondos para energía del programa marco han bajado en términos reales y han sufrido un drástico recorte del 66% de los recursos totales del programa marco en el Primer Programa Marco al 12% en el Sexto Programa Marco. La I+D en el campo de la energía nuclear permanece estable en términos reales, pero su cuota de la I+D en el campo de la energía ha bajado al 7% en el Sexto Programa Marco. La investigación en energía no nuclear ha aumentado a lo largo de los años, y la I+D en energías renovables va ganando importancia poco a poco. En el Sexto Programa Marco, se asignó el 5% de los fondos totales para I+D a investigación y desarrollo en energía no nuclear.

En los Estados miembros, las inversiones para I+D en el campo de la energía han sufrido drásticos recortes desde principios de los ochenta. La I+D en energía nuclear representa el 46% de la I+D total sobre energía de la UE-15. La UE-15 sólo gasta en torno al 17% en energías renovables, pero en comparación con Estados Unidos y

Japón, la UE-15 invierte mucho más en este campo. La I+D en el campo de las energías renovables se realiza principalmente en Alemania, pero en los países nórdicos y en Holanda también se da prioridad a estos tipos de energía. En el campo de la I+D sobre energía no nuclear, los nuevos Estados miembros, a pesar de que en general tienen una masa de investigadores con buena formación, se enfrentan a importantes retos para alcanzar a los otros Estados miembros en programas dedicados a energía no nuclear.

1.5 Conclusión

Teniendo en cuenta las tendencias actuales, las perspectivas para el sistema energético mundial son las de un mundo que depende de los combustibles fósiles. Claramente, esto no se puede mantener. No sabemos exactamente en qué momento la capacidad de extraer combustibles fósiles del planeta dejará de cubrir la demanda. Lo que sí sabemos es que sucederá en algún momento, a menos que las naciones del planeta desarrollen nuevas políticas para invertir drásticamente las tendencias actuales en los sectores de la energía y el transporte. La previsión para 2030 realizada por la AIE indica que habrá mayor demanda, mayor dependencia de combustibles fósiles importados y se producirán más emisiones de gases de efecto invernadero.

La respuesta política comunitaria a esta situación es variada, e intenta combinar medidas orientadas a cubrir las necesidades del mercado con soluciones orientadas a introducir avances tecnológicos. Los objetivos de la política energética de la Comisión Europea recogidos en el Libro Verde sobre la seguridad del abastecimiento energético se centran principalmente en mejorar el rendimiento energético y en aumentar la cuota de las fuentes de energía renovable con el fin de garantizar la seguridad energética y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. La UE ha establecido objetivos ambiciosos para las fuentes de energía renovable, electricidad basada en energías renovables, combustibles alternativos en el sector del transporte y rendimiento energético. Pero la puesta en práctica de los objetivos se enfrenta a importantes obstáculos, ya que no son obligatorios y, por tanto, dependen de su aplicación en cada Estado miembro individual. Además de solucionar este problema, son necesarias medidas adicionales para alcanzar los objetivos políticos de reducir las emisiones de CO₂ y la dependencia de combustibles fósiles importados.

Los fondos para energía del programa marco han sufrido un drástico recorte del 66% de los recursos totales del programa marco en el Primer Programa Marco al 12% en el Sexto Programa Marco. Aunque en realidad la I+D sobre energía nuclear permanece estable, su cuota de la I+D en el campo de la energía ha bajado al 7% en el Sexto Programa Marco. La investigación en energía no nuclear ha aumentado a lo largo de los años, y la I+D sobre energías renovables va ganando importancia poco a poco.

En el período 1974-2002, los gobiernos de la UE-15 han invertido menos que Estados Unidos en I+D en el campo de la energía, pero más que Japón. Los fondos de la UE-15 alcanzaron un máximo a principios de los ochenta, en el contexto de la subida de los precios del petróleo de los años setenta, pero desde entonces han sido reducidos en dos tercios. Actualmente, las inversiones de la UE-15 para I+D en el campo de la energía son sustancialmente más bajas que las de Japón y Estados Unidos.

Desde 1974, la UE-15 ha asignado a la energía nuclear, tanto de fisión como de fusión, más de dos tercios de los fondos totales para I+D sobre energía. En 2001 la cifra era del 46%. Estas prioridades de los fondos son muy superiores a las de Estados Unidos, pero sustancialmente inferiores a las de Japón. El rendimiento energético representa el 13% de la I+D en el campo de la energía de la UE-15, pero sólo representa el 25% de las inversiones de Estados Unidos en este campo. La I+D en energías renovables representa el 17% de los fondos, aunque el esfuerzo está distribuido de forma muy poco uniforme entre los Estados miembros, con Alemania a la cabeza, seguida de los países nórdicos y Holanda. Al menos esto deja la posibilidad de aumentar los esfuerzos en los otros Estados miembros.

TABLA 3 *Análisis de puntos fuertes, puntos débiles, oportunidades y peligros de los retos socioeconómicos.*

<i>Puntos fuertes</i>	<i>Puntos débiles</i>
<ul style="list-style-type: none"> · Políticas diversificadas, con medidas para cubrir las necesidades del mercado y para introducir avances tecnológicos. · Objetivos ambiciosos para fuentes de energía renovable, electricidad basada en energías renovables, biocombustibles, reducción de las emisiones de CO₂ y rendimiento energético. · Inversiones en infraestructura para mantener y respaldar un mercado del gas y la electricidad liberalizado. · Inversión en I+D sobre energía nuclear relativamente estable en la UE y en los Estados miembros. · Aumento de la cuota de I+D en energías renovables. 	<ul style="list-style-type: none"> · Aunque los objetivos de la UE son ambiciosos, no son suficientemente radicales, teniendo en cuenta los retos relativos al abastecimiento energético y a los permisos de emisión de CO₂. · Problemas de puesta en práctica. · No hay mecanismos para forzar el cumplimiento, salvo medidas "comunes y de cooperación". · Se han reducido los fondos del programa marco para I+D en el campo de la energía. · Se han reducido los fondos de la UE-15 para I+D en el campo de la energía (1974-2002). · La UE-15 aporta muchos menos fondos para I+D sobre energía que Japón y menos que Estados Unidos (1974-2002). · Hay concienciación política sobre la importancia de la I+D sobre rendimiento energético, pero en la práctica se le da una prioridad relativamente baja en comparación con la que tiene en Estados Unidos. · Hay una distribución poco uniforme de la I+D sobre energías renovables en los Estados miembros. · Hay una distinción marcada entre los nuevos Estados miembros y la UE-15 en términos de programas dedicados a I+D sobre energía nuclear.

Oportunidades

- La UE tiene la posibilidad de combinar diversas medidas para cubrir las necesidades del mercado y para introducir avances tecnológicos, a fin de afrontar la seguridad del abastecimiento, el cambio climático y los problemas medioambientales.

Peligros

- Las inversiones en energía se realizan a largo plazo y la UE-25 podría reaccionar con lentitud ante los desafíos relacionados con el aumento de la dependencia de las importaciones de combustibles fósiles, el cambio climático, los problemas medioambientales y el crecimiento económico.
- A largo plazo, es posible que la UE-25 no esté preparada para posibles interrupciones en el comercio de energía basada en combustibles fósiles o para fluctuaciones de los precios (por ejemplo, a causa de inversiones inadecuadas en la capacidad de extracción de energía basada en combustibles fósiles en países que no pertenecen a la UE).

CAPÍTULO 2

Base científica y tecnológica europea para las tecnologías energéticas

- 2.1 Tecnologías de uso final y rendimiento energético (PÁG. 47)
- 2.2 Biomasa, biogás y biocombustibles (PÁG. 52)
- 2.3 Hidrógeno y pilas de combustible (PÁG. 57)
- 2.4 Tecnologías fotovoltaicas (PÁG. 63)
- 2.5 Combustibles fósiles no contaminantes (PÁG. 69)
- 2.6 Fisión nuclear (PÁG. 73)
- 2.7 Fusión nuclear (PÁG. 79)
- 2.8 Conclusión (PÁG. 82)

En esta sección se describirá la base científica y tecnológica europea para las siguientes tecnologías energéticas:

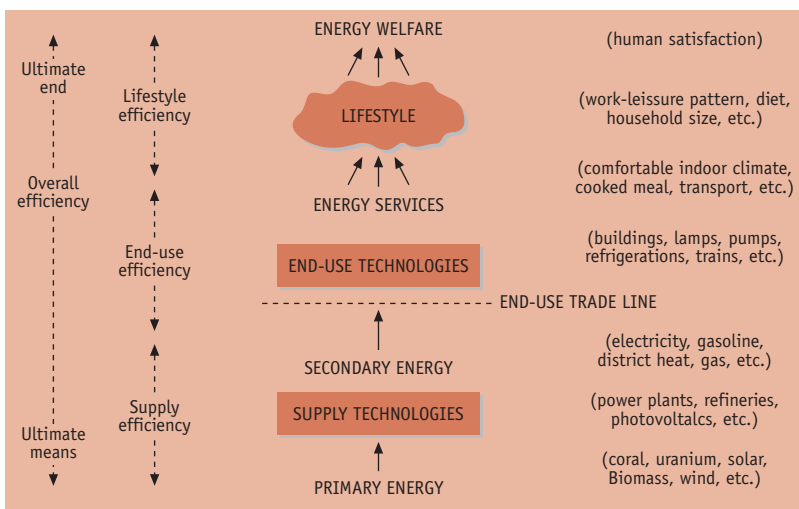
- Tecnologías de uso final y rendimiento energético (para la industria, el uso doméstico y el transporte).
- Biomasa, biogás y biocombustibles.
- Hidrógeno y pilas de combustible.
- Energía fotovoltaica.
- Tecnologías de combustibles fósiles y captura y almacenamiento de CO₂.
- Fisión nuclear.
- Fusión nuclear.

2.1 Tecnologías de uso final y rendimiento energético

Descripción general:

Las tecnologías energéticas de uso final cubren un área vasta y diversificada, estrechamente relacionada con el contexto energético y el país. Según el escenario de referencia de la AIE, el consumo de energía en los sectores finales aumentará en un 1,6% anual hasta 2030, un aumento prácticamente igual que el de la demanda de energía primaria (Agencia Internacional de la Energía, 2004: 66). La demanda del sector del transporte aumentará en un 2,1% anual, mientras que el consumo industrial, doméstico y del sector servicios aumentará en un 1,5% anual.

Se considera que el rendimiento energético o la conservación de energía es una forma prometedora de alcanzar los objetivos de seguridad energética, protección del medio ambiente y crecimiento económico. En el estudio EurEnDel, el rendimiento energético o las tecnologías orientadas a la demanda han alcanzado la máxima puntuación en efectos benéficos para la salud, el medio *ambiente*, la calidad de vida y la seguridad del abastecimiento (Wehnert et al., 2004). En general se acepta que hay un enorme potencial para mejorar el rendimiento energético, pero también que el papel futuro de la tecnología de rendimiento energético depende de si las mejoras de rendimiento se traducen en cambios de comportamiento del consumidor con la reducción del consumo de energía y de emisiones (Agencia Internacional de la Energía, 1997: 284).



Si se analiza el sistema energético como una cadena de flujos de energía, se aprecian distintos niveles de mejora de rendimiento (Karlsson, de próxima publicación). En el primer nivel, se explotan y transportan los combustibles primarios, que después pasan por refinerías y plantas generadoras que convierten la fuente primaria en energía secundaria en forma de electricidad, fuel-oil, gasolina, etc. para abastecer a las tecnologías de uso final. En el segundo nivel, las tecnologías de uso final con niveles específicos de rendimiento abastecen a los servicios energéticos deseados. A continuación, un conjunto de servicios energéticos describe un estilo de vida determinado que contribuye al bienestar de las personas. La cadena demuestra que el uso de un horno eléctrico en Europa tiene consecuencias para el consumo de energía y las emisiones a lo largo la cadena hasta Sudáfrica, donde el carbón utilizado en las plantas generadoras se extrae de las minas.

Tendencias tecnológicas:

En la Unión Europea, la conservación y el uso de energía se centran en reducir la intensidad de la demanda de energía y en utilizar la energía de forma mucho más eficaz. Se está investigando la conservación y el uso de energía en:

- La industria: desarrollo y demostración de procesos y tecnologías de control de procesos destinados a asegurar una reducción de la demanda de energía en los sectores de la fabricación y la agricultura.
- Los edificios: los objetivos de la investigación son reducir los requisitos de energía de la UE en un 30% para 2010 y en un 50% a más largo plazo. Actualmente, el sector de la construcción en la UE representa aproximadamente el 40% de los requisitos de energía totales.
- El transporte: mejora del rendimiento energético y medioambiental de los vehículos y la infraestructura relacionada.

Por lo que sabemos, no hay análisis comparativos detallados de I+D sobre rendimiento energético a nivel europeo. Por tanto, se utilizará un enfoque más general.

Rendimiento energético en la industria:

En la actualidad, la industria consume el 30% de la energía mundial. Siete industrias de gran consumo de energía generan la mayoría de la demanda de uso final en la región de la AIE: química, producción de aluminio, hierro y acero, pulpa de madera y papel, cemento, vidrio y cerámica, y alimentaria. También se incluyen tecnologías híbridas.

La *industria química* es una de las industrias que consume más energía. Muchas de las tecnologías emergentes introducen procesos mejorados que funcionan a temperaturas más bajas o hacen un uso más eficaz de los catalizadores.

La *industria del aluminio* consume mucha energía para la fundición y la fabricación. Las principales áreas de aplicación son el transporte (25%), el embalaje (20%) y la construcción (20%), que requieren un suministro eléctrico fiable.

La *industria del acero* se ubica principalmente en China, Japón, Estados Unidos y Rusia. Ha aumentado la productividad en los países industrializados. En Suecia, la industria del acero ha sufrido cambios estructurales importantes, pasando de producir grandes cantidades de suministros a producir productos especializados y caros. Se basa en dos procesos de producción, el proceso de alto horno del mineral de hierro y el proceso de electro-acero de chatarra de hierro.

La industria de la *pulpa de madera y el papel* es un importante sector económico en países como Estados Unidos, Canadá, China, Suecia y Finlandia. En Suecia representa aproximadamente el 50% del consumo industrial total de energía y alrededor del 40% de consumo industrial de electricidad. El reciclaje de papel es importante desde el punto de vista del rendimiento de materias primas y la gestión de residuos. La producción de pulpa se basa principalmente en dos procesos, uno químico y otro termomecánico. El programa de la AIE para desarrollar tecnologías energéticas eficaces para la industria del papel y la pulpa de madera se centra en la integración de procesos y las tecnologías de gasificación para líquidos residuales y biomasa.

La *industria del cemento* consume mucha energía y genera muchas emisiones de carbono. Se utilizan tres procesos: húmedo, semisecho y seco. Se pueden conseguir mejoras mediante cambios en la mezcla de productos y medidas relacionadas con la preparación de materias primas.

Los campos más importantes para el desarrollo tecnológico en el sector industrial pueden resumirse en los siguientes (Consejo Mundial de la Energía, 2004: 60):

- Productos nuevos y rentables
- Integración de procesos, incluida la recuperación de calor y la cogeneración de electricidad
- Uso eficaz de materias primas, con reciclaje, rendimiento energético y reducción de emisiones
- Reducción del impacto medioambiental de los procesos de producción y el uso de los productos
- Nuevas electrotecnologías, como la fabricación de acero con microondas y la producción de etileno.

Rendimiento energético en los edificios:

Los edificios consumen algo más del 30% de la energía mundial. En la Unión Europea (UE-15), el consumo de energía para hogares y servicios suma un 25% del total. Se

incluyen los mismos edificios, su superficie exterior y los aparatos eléctricos utilizados, así como los sistemas de gestión avanzada y de comunicaciones. En la tabla siguiente se indican algunas necesidades de I+D para los próximos decenios.

TABLA 4 *Necesidades de I+D para los edificios.*

<i>Necesidades de I+D</i>	
Superficie exterior	<ul style="list-style-type: none"> · Tecnologías de aislamiento avanzadas (en el techo, las paredes y el suelo). · Tecnologías avanzadas de ventanas (uso de materiales avanzados con baja conductividad térmica en las ventanas; ventanas con células solares integradas). · Uso de materiales reciclables para la construcción. · Materiales de almacenamiento térmico.
Equipos y aparatos eléctricos	<ul style="list-style-type: none"> · Bombas de calor más eficaces. · Combinación a pequeña escala de calor y electricidad (basada en pilas de combustible). · Una refrigeración alternativa implica incluir ciclos de Stirling, ciclos de Brayton y tecnologías magnéticas, acústicas y termoelectricas. · Bombillas de bajo consumo y sistemas de iluminación híbridos.
Sistemas inteligentes/ edificios inteligentes	<ul style="list-style-type: none"> · Diagnósticos automáticos. · Sensores avanzados. · Redes de control integrado. · Sistemas de reserva.

Rendimiento energético en el transporte:

El transporte es un sector fundamental de uso final de la energía, que consume actualmente alrededor del 20% de la energía primaria mundial. Se buscan combustibles alternativos al gas y al gasóleo, como los biocombustibles, el gas natural comprimido (GNC) y el hidrógeno para usar en motores de combustión interna o en pilas de combustible. Las principales incertidumbres están relacionadas con el hidrógeno y las pilas de combustible: ¿Será el hidrógeno el combustible de transporte predominante en el futuro y podrán las pilas de combustible competir con el motor de combustión interna? Estas cuestiones se abordarán en la descripción de estas tecnologías.

Puntos fuertes y puntos débiles en Europa:

En cuanto a la ciencia y la tecnología, es sorprendente que, a pesar de la gran concienciación política, en la UE-15 sólo se gaste en este campo el 13% de los fondos para I+D sobre energía. El Sexto Programa Marco da prioridad a la reducción del consumo de energía, pero a diferencia de las otras prioridades, no se presentan

ejemplos de proyectos respaldados en la página Web (http://europa.eu.int/comm/research/energy/nn/nn_rt/article_1075_en.htm#5, 24 de marzo de 2005). En conclusión, hay una actitud positiva hacia la I+D sobre rendimiento energético, pero de momento no se ha transformado en un campo de investigación coherente y bien definido en la UE. También es significativo que ni en las tareas fundamentales del Grupo de trabajo estratégico para la I+D europea futura en el campo de la energía ni en las tecnologías energéticas prioritarias de la Comisión se abordan las tecnologías de rendimiento energético.

La mayoría de las *políticas* de la UE se han centrado en las iniciativas orientadas a cubrir las necesidades del mercado. Éstas incluyen programas de apoyo, como el programa Energía Inteligente - Europa (2003-2006), que apoya acciones no tecnológicas. El programa Save también fomenta el rendimiento energético y el ahorro de energía en los distintos sectores. Entre las acciones se incluyen las legislativas, como la propuesta de fomento del rendimiento del uso final y los servicios energéticos, la directiva sobre el fomento de la cogeneración (en vigor), la directiva sobre el rendimiento energético en edificios (en vigor) y una serie de medidas legislativas para los planes de etiquetado de la UE y los requisitos mínimos de rendimiento en el sector doméstico (en vigor). También se incluyen acuerdos voluntarios con el sector del automóvil para reducir las emisiones de CO₂ de vehículos nuevos (véase también la página 16). Por último, se han introducido una serie de iniciativas promocionales sobre rendimiento energético para equipos de oficina, sistemas accionados por motores e iluminación, así como una campaña de concienciación pública para desarrollar un sistema energético sostenible en Europa (2004-2007).

En *conclusión*, hay muchas oportunidades relacionadas con la I+D sobre rendimiento energético, pero en comparación con Estados Unidos, Europa invierte relativamente poco en este campo. La mayoría de los esfuerzos se han dedicado a iniciativas orientadas a cubrir las necesidades del mercado que se pueden complementar con I+D para la introducción de avances tecnológicos y, de ese modo, hacer uso pleno de las medidas para fomentar el rendimiento energético y el uso de la energía.

2.2 Biomasa, biogás y biocombustibles

Descripción general:

En la actualidad, el biogás, los biocombustibles, la biomasa sólida y los residuos suministran menos del 4% de la demanda de energía primaria de la UE-25 (Agencia Internacional de la Energía, 2004: 466). Los biomateriales y los residuos se utilizan para producir combustibles sólidos, líquidos y gaseosos para aplicaciones de transporte, producción de electricidad y calefacción.

Los objetivos de aumento de uso de biomasa y biocombustibles en la producción de electricidad y calor así como en el sector del transporte son elementos importantes del objetivo global de la Unión Europea de aumentar la cuota de energías renovables de forma que suministren el 12% de la demanda de energía primaria en la UE-15 para 2010. Se pretende que los biocombustibles suministren el 2% del combustible consumido en el sector del transporte para 2005 y el 5,75% para 2010. Se prevé que la biomasa desempeñe un papel importante en la calefacción suministrando más del 90% del volumen de calor necesario (72 Mtep) a partir de fuentes de energía renovable para 2010. En 2002 suministraba 43 Mtep. La biomasa también desempeña un papel importante en el objetivo de cubrir el 21% (162 TWh) de la demanda de electricidad mediante energías renovables para 2010. Como parte del objetivo, en un principio se esperaba que la biomasa suministrara el 68% (o 110 TWh) del crecimiento necesario en la producción de electricidad renovable entre 1997 y 2010, pero se redujo al 40% (65 TWh) de este crecimiento. En 2002 era el 27% (43 TWh). Así, la biocalfacción, la bioelectricidad y los biocombustibles están creciendo mucho más despacio de lo que se preveía en las directivas de la UE, y ésta es la razón principal por la que es probable que no se alcance el objetivo global para el uso de fuentes de energía renovable en la UE-15 para 2010 (Comisión Europea, 2004c).

Tendencias tecnológicas:

Algunas tecnologías para la combustión de biomasa y residuos ya pueden competir con el petróleo en lugares en los que están disponibles residuos de la madera, hay pocos vertederos y en los que la combustión de residuos municipales permite ahorrar el coste del transporte a los vertederos y el depósito en los mismos. No obstante, en la mayoría de las aplicaciones de calefacción y electricidad, las energías de biomasa requieren subsidios o reducciones de impuestos para poder competir con el petróleo y el gas y, en general, la conversión de biomasa en líquidos tampoco puede competir con el petróleo (Comisión Europea, 2005c: 37-41).

Hay cinco formas fundamentales de uso de la bioenergía (Larsen et al., 2003: 19-20):

- Uso doméstico tradicional en países en desarrollo, para quemar leña, carbón vegetal o residuos de la agricultura para cocina doméstica, iluminación y calefacción de locales.
- Uso industrial tradicional para procesamiento de tabaco, té, hierro en lingotes, ladrillos, baldosas, etc.
- Uso industrial moderno para experimentación con tecnologías avanzadas de conversión térmica.
- Tecnologías de conversión química más recientes (pilas de combustible). Pueden pasar por alto la restricción de Carnot impuesta por la entropía que limita las eficacias de conversión de unidades de conversión térmica.
- Técnicas de “conversión biológica”, incluidas la digestión anaeróbica para la producción de biogás y la fermentación para alcohol, (p. ej. de materia prima lignocelulósica).

Aunque a muchas tecnologías de biomasa les falta poco para estar maduras, aún tienen que mejorar la eficacia y la relación coste-eficacia (véase la tabla siguiente).

TABLA 5 *Estado de desarrollo de las tecnologías de conversión de biomasa seleccionadas*

<i>Tecnología</i>	<i>Estado de desarrollo</i>
Fermentación a bioetanol	Estado comercial, pero con coste elevado, bajo rendimiento y baja producción (~55 GJ/ha con celulosa, 75 GJ/ha con hemicelulosa). Los retos son: reducción del coste, aumento de la producción, uso de hemicelulosa y lignina.
Procesos físicos para biodiesel	Tecnología de eficacia probada con un coste elevado y baja producción (~40 GJ/ha). Los retos son: uso de derivados, reducción del coste y producción continua.
Digestión anaeróbica	Estado comercial, pero con coste elevado, bajo rendimiento y baja producción. Los retos son: ampliación, reducción del coste y uso de mezcla de residuos.
Combustión	Está disponible comercialmente pero hay problemas de emisión y bajo rendimiento, y se produce a pequeña escala (~170 GJ/ha para producir calor, ~50 GJ/ha para producir electricidad). Los retos son: reducción de emisiones, disponibilidad de suministros, contaminación de suministros y estabilidad de la combustión.
Gasificación	Tecnología en estado de demostración, con un coste moderado y alto rendimiento, aumento de la combinación de electricidad y calor (~80 GJ/ha para producir electricidad, ~160 GJ/ha para producir calor y electricidad combinados). Los retos son: calidad del gas, reducción del coste, reducción de escala económica para combustibles líquidos e hidrógeno.
Pirólisis rápida	Tecnología en fase de desarrollo para combustible, con coste moderado, rendimiento moderado, que produce biocombustibles que se pueden almacenar y transportar, y se utilizan como combustibles o materia prima química. Los retos son: calidad y requisitos mínimos del producto, desarrollo de aplicaciones, integración en biorrefinería.

Fuente: Sesiones sobre la iniciativa Supergen de 2003, citadas en Jitex, 2004.

En la mayoría de los países de la UE los recursos de biomasa disponibles son bastante limitados. El aumento de los cultivos para energía podría aumentar el suministro doméstico de biomasa. En general, los cultivos para energía no son viables económicamente, pero podrían empezar a serlo en el futuro en la UE, si hubiera una necesidad continua de dedicar tierras de agricultura de producción de alimentos a otros usos, si se tuvieran en cuenta los beneficios económicos de la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero o si el coste de los combustibles fósiles aumentara de forma sustancial. Por tanto, una implementación sostenible de la biomasa depende de su ciclo de vida completo. Entre otras cosas, el Grupo de trabajo estratégico propone realizar en toda la UE I+D para criar plantas optimizadas para uso energético (Comisión Europea, 2005c: 37-41).

Convertir biomasa en combustibles líquidos es importante si se pretende que los biocombustibles sustituyan el petróleo en el sector del transporte. Por tanto, el Grupo de trabajo estratégico recomienda que la I+D en la UE se centre en desarrollar procesos más eficaces y baratos para convertir biomasa en líquidos. Además, los biocombustibles líquidos tienen la ventaja con respecto a la biomasa sólida y el biogás de que el comercio internacional a gran escala es factible. Así, Europa podría, en principio, importar biocombustibles líquidos de otras áreas del mundo con grandes recursos de biomasa. No obstante, a los precios actuales del petróleo, estas importaciones no son rentables a menos que los biocombustibles reciban subsidios o reducciones de impuestos (Comisión Europea, 2005c: 37-41).

Puntos fuertes y puntos débiles en Europa:

Europa es considerada un líder en capacidades *científicas* y *tecnológicas* relacionadas con la biomasa, y varios Estados miembros son líderes mundiales en sus respectivos campos. Se considera que las redes tecnológicas son importantes para el intercambio de información entre científicos y desarrolladores de gasificación y pirólisis rápida, pero es necesario intercambiar experiencias y prácticas recomendables entre los Estados miembros y también con los reguladores y los diseñadores de políticas. Los esfuerzos de investigación del Quinto Programa Marco cubrieron la cadena completa, desde la producción de suministro al uso final, así como estudios socioeconómicos de análisis del ciclo de vida de los biocombustibles, oportunidades para Europa Oriental y optimización de la introducción de biocombustibles (véase por ejemplo www.views.org). Sin embargo, existe el reto de buscar un equilibrio entre el apoyo de tecnologías muy innovadoras y la necesidad de desarrollar tecnologías más sólidas, sencillas y efectivas. La investigación a nivel europeo del uso y el aumento de los derivados de la bioenergía también es más bien escasa y fragmentada. En comparación con Estados Unidos, los presupuestos para I+D europeos son muy inferiores y las prioridades están más fragmentadas.

En cuanto a los *mercados* y *la industria*, Europa se ha convertido en un líder del mercado en la producción de electricidad mediante biomasa en plantas generadoras de

ciclo de vapor convencionales. En particular, las industrias nórdicas se han convertido en los principales productores y exportadores de equipos y servicios para la producción de bioelectricidad. Esto se debe principalmente a grandes mercados internos, recursos de biomasa de bajo coste, una industria fuerte del papel y la pulpa de la madera, y políticas nacionales favorables.

Las directivas y los objetivos *legislativos y políticos favorables* a nivel europeo favorecen la producción de energía de biomasa. También se han implementado a nivel nacional sistemas de apoyo como, por ejemplo, el sistema de apoyo danés para la bioelectricidad y los sistemas de apoyo alemanes para la bioelectricidad y los biocombustibles líquidos. No obstante, las metas de la UE no son obligatorias para los Estados miembros, los incentivos no se coordinan y las experiencias relacionadas con la puesta en práctica no se comparten (Jitex, 2004: 27-30). Por ejemplo, se exportan a Alemania grandes volúmenes de materias primas porque allí los biocombustibles líquidos reciben grandes subsidios en comparación con los que se conceden en Italia, Francia y España (Jitex, 2004: 28).

En conclusión, pueden buscarse nuevas oportunidades científicas y tecnológicas en biocombustibles fabricados con las económicas materias primas celulósicas. El proyecto TIME del Quinto Programa Marco, con un equipo de investigadores de Finlandia, Dinamarca, Hungría, Italia, Suecia y Holanda, investigó la conversión lignocelulósica, y en Suecia ha estado en funcionamiento desde 2004 una planta piloto para producir etanol a partir de madera.

Las nuevas oportunidades para la industria europea de la biomasa están en el desarrollo de tecnologías y procesos nuevos y más eficaces para producir biocombustibles líquidos, y en diseñar nuevas plantas optimizadas para el uso de la energía, buscando el equilibrio entre una producción elevada, los requisitos de fertilizantes y las consecuencias para el medio ambiente. Además, algunos Estados miembros nuevos podrían tener buenas oportunidades en el campo de la agricultura y los bosques para la producción de biomasa, aunque hay que analizar más a fondo el potencial exacto de la biomasa. Las posibilidades de la energía basada en biomasa fuera de la UE, en Asia, África, Sudamérica y Centroamérica, son fantásticas. Estos países, que utilizan residuos de la madera y la agricultura como combustibles, se beneficiarían en gran medida de utilizar sus recursos de biomasa de forma eficaz y no contaminante. Esto ofrece una oportunidad importante a las empresas europeas (Comisión Europea, 2005c: 37-41).

Los principales peligros del desarrollo de la bioenergía en Europa son el volumen limitado de los recursos de biomasa disponibles para la producción de energía y el precio relativamente elevado de dichos recursos. Las posibilidades de los biocultivos dedicados están limitadas por la competencia por las áreas de cultivo disponibles con otros usos posibles, como la industria alimentaria, por la producción de papel y

pulpa de madera, y por una economía poco favorable a los precios actuales de los combustibles fósiles. Además, actualmente hay en Europa una oposición a los cultivos modificados genéticamente y la falta de políticas integradas entre los sectores de la agricultura y la energía para alcanzar los objetivos en la UE y en los Estados miembros dificultan el desarrollo de la biomasa como una fuente de suministro energético (Jitex, 2004: 27-30).

2.3 Hidrógeno y pilas de combustible

Descripción general:

En general, se ha aceptado el uso del hidrógeno como portador de energía como un prometedor sustituto futuro de los combustibles fósiles, que permitirá afrontar los problemas de degradación del medio ambiente y de suministro energético. La idea de la economía del hidrógeno se ha convertido en un asunto candente para los decisores de los gobiernos y la industria en todo el mundo. Las visiones, las acciones proactivas y las inversiones están abriendo las rutas al futuro del hidrógeno desde las potencias económicas del mundo, como Estados Unidos y Japón, a las pequeñas naciones, como Islandia y Singapur. También se están realizando esfuerzos de colaboración internacional, como la Alianza Internacional para la Economía del Hidrógeno (IPHE, *International Partnership for the Hydrogen Economy*), el Grupo Coordinador para el Hidrógeno de la Agencia Internacional de la Energía, etc. Sin embargo, aún quedan por resolver diversos problemas fundamentales. Entre estos problemas están el desarrollo de tecnologías de producción no contaminantes y eficaces, la reducción del coste de la producción del hidrógeno, la creación de una infraestructura para el hidrógeno y el desarrollo de pilas de combustible económicas, duraderas y eficaces. Deben desarrollarse nuevos códigos y normas de seguridad para la producción, el almacenamiento, la distribución y el uso final del hidrógeno (Larsen et al., 2004).

El desarrollo de una economía del hidrógeno, con la producción de H₂ a partir de fuentes de energía renovable, es un objetivo a largo plazo de la agenda de I+D europea y se ha asignado una cantidad importante de fondos a lo largo de los años para preparar el camino.

Tendencias tecnológicas:

Las tecnologías del hidrógeno abarcan diversas tecnologías, desde la producción, el almacenamiento y la distribución a tecnologías de uso final en distintos campos de aplicación.

Las *tecnologías de producción* constan de tres vías principales: la conversión de hidrocarburos (proceso termoquímico por oxidación parcial, conversión, gasificación de biomasa o pirólisis), electrólisis del agua por electricidad (electricidad producida por diversas fuentes, como combustibles fósiles, energía nuclear y energías renovables) y la vía a más largo plazo de las tecnologías de disociación directa del agua, como la producción fotolítica y los ciclos termoquímicos de alta temperatura. El noventa y ocho por ciento de la producción industrial actual del hidrógeno se genera a partir de hidrocarburos. Los desafíos y las ventajas de cada tecnología son muy distintos en términos de coste, repercusiones para la seguridad del abastecimiento y emisiones de gases de efecto invernadero, como se indica en la tabla siguiente.

TABLA 6 *Coste y repercusiones de las distintas tecnologías de producción.*

	<i>Gas natural (SMR)</i>	<i>Electricidad a gran escala (electrólisis a gran escala 1000kg/d)</i>	<i>Energía eólica (electrólisis)</i>	<i>Biomasa (gasificación)</i>
Coste del hidrógeno (sin distribución)	1,0 €/kg (8,3 €/GJ)	3,75 €/kg (31,3 €/GJ)	6-8 €/kg (50-67 €/GJ)	3-4 €/kg (25-33 €/GJ)
Impacto positivo en la seguridad del suministro	Moderado	Alto	Alto	Alto
Impacto positivo en la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero	Neutro – moderado	Negativo – neutro	Alto	Alto

Fuente: Plataforma Europea de la Tecnología del Hidrógeno y las Pilas de Combustible. Draft Deployment Strategy. Versión del 6 de diciembre de 2004.

A corto plazo, se esperan nuevos desarrollos de conversión a pequeña escala (rendimiento y coste), electrólisis in situ (fiabilidad y rendimiento) y gasificación de biomasa en los proyectos piloto de tecnologías de pila de combustible. Los procesos biológicos y termoquímicos a alta temperatura tienen perspectivas a largo plazo pero requieren avances tecnológicos.

Las tecnologías de almacenamiento ofrecen las siguientes opciones: hidrógeno comprimido, hidrógeno líquido y almacenamiento por adsorción (en hidruros de metal, hidruros químicos, almacenamiento en nanotubos). Para aplicaciones móviles, el reto técnico es almacenar el suficiente hidrógeno requerido para un intervalo de conducción convencional. Para aplicaciones fijas, hay menos limitaciones de peso y volumen, pero es necesario un almacenamiento de hidrógeno económico y con buen rendimiento energético para toda la infraestructura del sistema de suministro de hidrógeno. Se considera que la técnica de almacenar hidrógeno en hidruros metálicos es la más prometedora el campo de transporte, pero los productos siguen siendo demasiado pesados y caros, y se deterioran a lo largo del tiempo. La tecnología más común en los vehículos actuales que funcionan con pila de combustible son los cilindros de gas comprimido. Para estas tecnologías hay que seguir investigando el almacenamiento a alta presión (de hasta 700 bares) y los materiales. El hidrógeno líquido tiene mejor densidad de energía que el gas comprimido, pero a causa de la baja temperatura (-253° C), hay que mejorar la eficacia del aislamiento y las pérdidas por evaporación.

Tecnologías de uso final:

Se considera que las pilas de combustible son la tecnología de uso final más prometedora a causa de su elevado rendimiento y su mayor eficacia medioambiental.

En términos del número global de unidades construidas, el tipo de pila de combustible dominante es la de membrana de intercambio de protones (PEMFC, *Proton Exchange Membrane Fuel Cell*), que representa más del 70% de todos los sistemas. Se utiliza en aplicaciones móviles, vehículos y aplicaciones fijas.

Las aplicaciones residenciales a pequeña escala (1-10 kW) han aumentado recientemente, con 1.400 sistemas nuevos construidos en 2003-2004. PEMFC sigue siendo la tecnología predominante, aunque las pilas de combustible de óxido sólido (SOFC, *Solid Oxide Fuel Cells*) también están muy extendidas (representan un tercio del total en 2004). En 2004 había más de 700 unidades de aplicaciones residenciales a gran escala (más de 10 kW). Hasta 2002, la tecnología predominante era la pila de combustible de ácido fosfórico (PAFC, *Phosphoric Acid Fuel Cell*) pero en la actualidad los sistemas de pila de combustible de carbonato fundido (MCFC, *Molten Carbonate Fuel Cell*) representan el 40% del total. La mayoría de los fabricantes de grandes pilas de combustible fijas están desarrollando sistemas SOFC y la cuota sigue aumentando (Jitex, 2004: 33).

El número de vehículos con pila de combustible en todo el mundo es de aproximadamente 300 vehículos de servicio ligeros y 65 autobuses. La tecnología preferida es PEMFC. Otros retos técnicos están relacionados con la membrana, el coste de los electrodos y la duración y estabilidad de la pila. La producción masiva y la reducción de costos asociada (en un factor 20) están muy relacionadas con el desarrollo de una infraestructura para el hidrógeno y el coste del hidrógeno. Los vehículos híbridos, ya disponibles en el mercado, son una tecnología rival (Jitex, 2004: 34, 36).

Las recomendaciones para I+D se centran en tecnologías de producción, de almacenamiento, de materiales y de producción económicas relacionadas con las pilas de combustible y demostraciones a gran escala en aplicaciones de transporte y aplicaciones fijas y móviles para energía (véase por ejemplo la Plataforma Europea de la Tecnología del Hidrógeno y las Pilas de Combustible, 12 de marzo de 2005; Comisión Europea, 2005c).

Puntos fuertes y puntos débiles en Europa:

En el área de *la ciencia y la tecnología*, Europa tiene una buena capacidad de investigación básica, especialmente en los campos de la química, la ciencia de materiales y los sistemas energéticos. Esto es importante para varias tecnologías de hidrógeno y las pilas de combustible. Los fondos para investigación han aumentado a lo largo de los años en los programas marco. Desde los años setenta, la UE ha apoyado la investigación, el desarrollo tecnológico y las demostraciones en el área de las tecnologías del hidrógeno y las pilas de combustible. Los fondos han aumentado de 8 millones de euros en el Segundo Programa Marco (1988-1992) a más de 130 millones de euros en el Quinto Programa Marco (1999-2002) (Comisión de la UE, 2003a: 5).

En el Sexto Programa Marco (2003-2006), el presupuesto para desarrollo sostenible y energías renovables aumentó a 2.100 millones de euros, de los cuales se esperaba destinar 250-300 millones de euros a I+D sobre hidrógeno y pilas de combustible. El análisis de citas en el campo de las pilas de combustible demuestra que la mitad de las 20 naciones principales son europeas, con Alemania en el tercer puesto, el Reino Unido en el cuarto, Italia en el sexto, Dinamarca en el séptimo y Suecia en el décimo (<http://esi-topics.com/fuelcells/index.html>). El Quinto Programa Marco y el Sexto Programa Marco se centraron en las tecnologías más atractivas, como PEMFC y SOFC.

Varios proyectos piloto europeos se han centrado en mercados especializados, como la producción de hidrógeno a partir de energías renovables y la conversión en ubicaciones remotas, el suministro auxiliar de energía de reserva para hogares y el proyecto piloto CUTE/ECTOS de 33 autobuses en 10 ciudades con 10 puestos para reponer combustible y un presupuesto total de 100 millones de euros.

Se han realizado varios esfuerzos a nivel europeo para coordinar actividades relacionadas con las tecnologías del hidrógeno y las pilas de combustible, a fin de superar la fragmentación de la I+D entre países y sectores, incluidas las redes de excelencia europeas, redes como SOFCNET, la interconexión de los programas nacionales y regionales (Hy-Co ERANet del Sexto Programa Marco), la Plataforma Europea de la Tecnología del Hidrógeno y las Pilas de Combustible y el proyecto Hyways del Sexto Programa Marco para crear hojas de ruta para la investigación de las tecnologías del hidrógeno en varios Estados miembros.

En cuanto a *los mercados y las industrias*, Europa es líder en el campo de la producción industrial, el tratamiento y la distribución del hidrógeno, con protagonistas como Linde y Air Liquide. Varias empresas, como Ahlstrom y Gotaverken, están desarrollando procesos para la gasificación de biomasa. En el campo de la electrólisis convencional, Hydro es uno de los principales fabricantes (Jitex, 2004: 67). El análisis de patentes muestra que desde 1996 se ha producido un importante aumento en las actividades de registro de patentes a nivel mundial relacionadas con la producción, distribución y almacenamiento de hidrógeno y con las pilas de combustible (Wietschel, 2004). Los países líderes son Japón (30% de las patentes), Estados Unidos (29%) y Alemania (22%), seguidos del Reino Unido (4%) y Canadá (4%). Dinamarca, Francia, Holanda, Australia y Corea también muestran una actividad de registro de patentes relevante. La UE-15 desempeña un papel protagonista en la conversión de vapor basada en patentes en Alemania, el Reino Unido y Dinamarca. Estados Unidos es el país líder en patentes de oxidación parcial. La electrólisis y la gasificación desempeñan un papel secundario.

Según el análisis de patentes, Japón es el líder en patentes de pilas de combustible (33%), seguido de cerca por Estados Unidos (30%) y la UE-15 (30%); Alemania tiene el 18% (Wietschel, 2004). Europa está en buena posición en el campo de SOFC con un

sólido compromiso de las compañías europeas, y en el campo de la combinación a pequeña escala de electricidad y calor, parece que el mercado europeo ofrece más posibilidades que el americano.

En cambio, los fabricantes de PEMFC europeos no están en buena posición para entrar en el mercado de automoción, si se les compara con las empresas de Estados Unidos (Jitex, 2004: 46). DaimlerChrysler ha elegido a Ballard junto con Ford (que es propietaria de Volvo y Jaguar). Es probable que Fiat se alíe con General Motors para utilizar pilas de combustible Toyota y Renault y Nissan tienen recursos internos de pila de combustible. Algunas empresas europeas han establecido sólidas alianzas estratégicas con empresas norteamericanas, como Veillard con Plugpower y el acuerdo de Ahlstrom con Ballard para desarrollar y fabricar aplicaciones fijas para PEMFC en Europa. Salvo en el caso de DaimlerChrysler, el compromiso de los fabricantes de pilas de combustible es débil si se compara con el de las empresas americanas y japonesas. Esto se deduce del análisis de patentes, que revela que los mayores aumentos en actividades de registro de patentes relacionadas con pilas de combustible se producen en el sector de automoción en Estados Unidos y Japón, mientras que en Europa se han reducido en el período 1999-2003 (Thomson Scientific Ltd., octubre de 2004).

En cuanto a las *políticas y medidas*, en noviembre de 2003 la Comisión de la UE lanzó la Iniciativa para el crecimiento con el Programa de ejecución rápida, que incluye dos iniciativas relacionadas con el hidrógeno. A lo largo de los 10 años siguientes se destinó la cantidad indicativa de 2.800 millones de euros a la producción a gran escala de hidrógeno basada en combustibles fósiles con captura y almacenamiento de CO₂ (Hypogen) y a la creación de un número limitado de comunidades basadas en el hidrógeno con aplicaciones fijas y para el transporte en toda Europa (HyCom) (Comisión de la UE, 2003c). Así, el programa Hypogen de 1.300 millones de euros es equivalente al proyecto FutureGen americano de 1.000 millones de dólares que demostrará en un período de diez años la producción integrada de electricidad e hidrógeno a partir del carbón, con captura y almacenamiento del CO₂ generado en el proceso (ESTO, 2005a). Por otra parte, el programa HyCom de 1.500 millones de euros se basa en el éxito de los proyectos CUTE/ECTOS en aplicaciones para el transporte y amplía su alcance para incluir otras aplicaciones para el transporte así como aplicaciones fijas y móviles y, por tanto, define proyectos piloto europeos como proyectos comunitarios integrados en relación con las actividades piloto en Estados Unidos, Canadá y Japón (ESTO, 2005b).

También cabe destacar el lanzamiento de la Plataforma Europea de la Tecnología del Hidrógeno y las Pilas de Combustible en enero de 2004 con más de 200 participantes en toda Europa. Esta plataforma es una importante iniciativa europea que tiene el objetivo de reforzar la capacidad de organizar y ofrecer innovación en Europa (www.hfpeurope.org). Aunque está dirigida por la industria, tiene un gran respaldo de la Comisión de la UE, que fomenta el proceso y coordina estrechamente sus actividades

en esta área y, si es necesario utiliza el trabajo de la plataforma al desarrollar la política de investigación (Comisión Europea, 2004g; Comité Consultivo Europeo de Investigación, 2004). Recientemente (en diciembre de 2004), el organismo de dirección de la plataforma, el Consejo Asesor, respaldó una Agenda de investigación estratégica y una Estrategia de implementación.

En cuanto a las emisiones de CO₂, las regulaciones actuales no ofrecen ninguna ventaja a las pilas de combustible que utilizan hidrógeno producido por procesos con baja emisión de CO₂. En el caso de las pilas de combustible fijas de 5,11 €/kWh, la tarifa alemana que retribuye las energías renovables no distingue el combustible utilizado en las pilas de combustible. Pero otras políticas y regulaciones europeas abordan este tema, como la adopción del Protocolo de Kioto, los objetivos políticos para energías renovables, los acuerdos medioambientales voluntarios con la industria sobre normas de reducción de emisiones, etc. (véase la sección anterior sobre las respuestas políticas de la UE).

Con respecto a la cooperación internacional, la Comisión de la UE y varios Estados miembros están representados en la Alianza Internacional para la Economía del Hidrógeno (IPHE).

En conclusión, los equipos de investigación europeos tienen una gran oportunidad para abordar algunas de las principales necesidades de avances en varias tecnologías del hidrógeno y las pilas de combustible que requieren el desarrollo de procesos químicos y materiales. Con la Agenda de investigación estratégica y la Estrategia de implementación creadas por la plataforma tecnológica, hay ahora también una buena base para optimizar todos los esfuerzos europeos. A medio plazo no existen oportunidades de mercado para las tecnologías del hidrógeno y las pilas de combustible, salvo para algunas aplicaciones específicas. Las aplicaciones fijas podrían surgir antes en el mercado y la posición de Europa en el desarrollo de SOFC es bastante buena. Las industrias europeas no tienen una posición de liderazgo en la fabricación de PEMFC o MCFC, pero pueden tener oportunidades en la fabricación de componentes complementarios. Con el lanzamiento de las dos iniciativas de ejecución rápida para el hidrógeno se están impulsando en Europa los proyectos piloto que, junto con el proyecto piloto CUTE/ECTOS actual de autobuses con pilas de combustible y distintos puestos para reponer hidrógeno, pueden contrarrestar las ambiciosas actividades de los japoneses, norteamericanos y canadienses en el sector. Aunque el proyecto Hyways de la UE está preparando el camino para introducir la energía basada en el hidrógeno en un número limitado de Estados miembros, aún falta mucho para establecer y aprobar un plan de acción europeo para el hidrógeno con el fin de introducir la economía del hidrógeno. Sin embargo, a diferencia de la situación en Estados Unidos, las medidas políticas europeas son mucho más variadas e incluyen medidas orientadas a cubrir las necesidades del mercado y a introducir avances tecnológicos.

2.4 Tecnologías fotovoltaicas⁸

Descripción general:

El mercado mundial de la electricidad solar ha aumentado en promedio más del 30% en los últimos 5 años. Este crecimiento se debe a los programas de estimulación de los mercados nacionales, especialmente en Japón y en la UE. Casi la mitad de los sistemas fotovoltaicos se utilizan en aplicaciones industriales y domésticas sin conexión a la red en lugares remotos, y los demás, que se utilizan en sistemas conectados a la red, pueden empezar a ser competitivos a medio plazo en aplicaciones de gran consumo energético. En los países de la AIE había instalados más de 1,8 GW de capacidad fotovoltaica a finales de 2003, con el 85% de esta capacidad instalada en Japón, Alemania y Estados Unidos.

En la tabla siguiente se ofrece una descripción general del gasto en I+D, proyectos piloto y estimulación del mercado en países de la AIE.

TABLA 7 *Presupuestos públicos (en millones de dólares) en I+D sobre energía fotovoltaica, proyectos piloto y estimulación del mercado en 2003.*

País	I+D	Proyectos piloto	Estimulación del mercado	Total
Austria	1,7	-	8,6	10,3
República Checa	11,3	1,1	2,3	14,6
Dinamarca	3,8	0,8	-	4,6
Alemania	33,6	-	757,1	790,6
Finlandia	0,5	-	0,0	0,5
Francia	5,8	-	22,6	28,4
Reino Unido	4,9	9,4	-	14,3
Italia	5,4	0,2	22,6	28,2
Holanda	2,4	0,2	54,7	87,3
Suecia	2,1	-	-	2,1
Estados Unidos	65,7	-	273,7	339,4

Fuente: Jitex, 2004 (basado en el estudio de la AIE de septiembre de 2004).

Tendencias tecnológicas:

Las células de silicio cristalino son una tecnología madura que dominará las aplicaciones de energía fotovoltaica durante los próximos decenios. Las células de silicio de capa fina podrían ser una solución en caso de escasez de silicio y

⁸ Esta sección se basa principalmente en el estudio Jitex (Jitex, 2004).

utilizarse en aplicaciones conectadas a la red eléctrica. Las pilas de semiconductores compuestas son muy caras, pero podrían encontrar aplicaciones especializadas, como los sistemas de concentración de energía fotovoltaica. Las células solares fotoelectroquímicas son inestables, pero podrían utilizarse en aplicaciones especializadas, como las ventanas fotovoltaicas, los sistemas de energía solar domésticos, etc. Las células solares de polímeros aún son ineficientes e inestables, pero podrían utilizarse en edificios.

Son necesarios avances tecnológicos para acelerar el desarrollo de la energía fotovoltaica, y también es necesario realizar investigación básica, especialmente en ciencia de materiales, fotoelectrónica, física cuántica y optoelectrónica. La investigación europea en células solares orgánicas es muy competitiva.

El informe del Grupo de trabajo estratégico propone las siguientes prioridades de I+D (Comisión Europea, 2005c: 35):

- Exploración de nuevos materiales fotovoltaicos, incluidos los orgánicos, y nuevas tecnologías de producción
- Nuevos módulos de capa fina y nuevas técnicas de producción
- Trabajar en módulos fotovoltaicos que se puedan producir en masa realmente, vinculando la física de dispositivos con la tecnología de fabricación y la investigación de materiales con tecnologías fotovoltaicas prometedoras.

Puntos fuertes y puntos débiles en Europa:

En el campo de *la ciencia y la tecnología*, durante los últimos cinco años Europa ha alcanzado una buena posición en la investigación sobre energía fotovoltaica. Dispone de la masa crítica para la capacidad científica y tecnológica, especialmente en Alemania. Sin embargo, el 90% del gasto público europeo en I+D proviene de los programas nacionales de I+D y no hay una coordinación formal entre estos programas. Por esta razón, la investigación está fragmentada y coloca a Europa en desventaja, en comparación con grandes naciones como Estados Unidos y Japón (Comisión Europea, 2005f: 17). La industria europea también está fragmentada. La rápida transferencia tecnológica de la investigación al mercado es un reto y, en general, los problemas de fabricación se tratan de forma deficiente en los programas de desarrollo tecnológico. Sin embargo, se pretende superar la fragmentación con acciones de coordinación respaldadas por el Sexto Programa Marco, como la Acción de coordinación para impulsar la energía fotovoltaica (*PV Catapult Coordination Action*), con más de 70 asociados de la industria europea, la comunidad investigadora y otras partes interesadas importantes del sector de la energía fotovoltaica (véase www.pvcatapult.org).

En *el mercado y la industria* de la UE, la producción de paneles fotovoltaicos aumentó un 43% en 2003, con una producción 193 MW. En Alemania se alcanzaron 400 MW de paneles instalados. Italia, Francia y el Reino Unido lanzaron programas de energía fotovoltaica en 2004 con el apoyo de inversores privados. La industria de la energía fotovoltaica de la UE tiene una estrategia de exportación dedicada y la hoja de ruta de la Asociación de la Industria Fotovoltaica Europea (*European Photovoltaic Industry Association*) establece objetivos de 1 GWp y 30 GWp de sistemas fotovoltaicos acumulados en aplicaciones rurales en el tercer mundo para 2010 y 2020 respectivamente. Sin embargo, las empresas europeas no pueden competir con las japonesas a causa de la capacidad limitada de producción de energía fotovoltaica. Los tres principales fabricantes de obleas de silicio policristalino se encuentran en Europa y también hay muchos fabricantes competitivos de módulos, células y componentes complementarios. Pero el mercado de las células fotovoltaicas aún está demasiado vinculado a los programas nacionales de sistemas fotovoltaicos con conexión a la red eléctrica, que sigue siendo insignificante.

En términos de *políticas y otras medidas*, se están preparando normas y códigos europeos para sistemas y componentes fotovoltaicos en conformidad con las directivas y las actividades internacionales de la UE. Esto es importante para la competitividad futura de la industria fotovoltaica europea. Sin embargo, hay diferencias más importantes en el marco regulador de los Estados miembros. España, Alemania y Bélgica han implementado como incentivo tarifas que retribuyen las fuentes de energía renovable, mientras que otros Estados miembros han limitado los programas de estimulación del mercado. De los nuevos Estados miembros, los tres países bálticos tienen tarifas que retribuyen las fuentes de energía renovable y en algunos de los demás países se están considerando medidas similares (Comisión Europea 2005f: 16). Actualmente se está estableciendo una Plataforma Tecnológica Fotovoltaica para definir, respaldar y acompañar la puesta en práctica de un plan estratégico coherente y completo para la energía fotovoltaica. Se espera que entre en vigor en mayo de 2005. La plataforma movilizará a todas las partes interesadas que compartan una visión europea a largo plazo para la energía fotovoltaica que ayude a asegurar el mantenimiento y la mejora de la posición industrial de Europa. De momento, el Comité Consultivo Europeo de Investigación para la Energía Fotovoltaica (PC-TRAC) ha desarrollado un plan para las tecnologías fotovoltaicas (Comisión Europea, 2005f).

En conclusión, las oportunidades científicas en energía fotovoltaica están estrechamente relacionadas con un buen punto de partida y pueden desarrollarse en mayor medida mediante investigación puntera en nanotecnología. Las oportunidades de mercado están asociadas con un rápido crecimiento en Europa, que puede consolidarse aún más mediante una mayor presencia en los mercados de exportación, especialmente en los países en desarrollo. Sin embargo, es probable que en pocos años, países pobres como la India, China e Indonesia ofrezcan sistemas de energía fotovoltaica baratos a estos mercados (Jitex, 2004: 16).

2.5 Combustibles fósiles no contaminantes⁹

Descripción general:

En la actualidad, la mayor parte de la energía se produce a partir de combustibles fósiles. El carbón es el combustible fósil más abundante y el menos caro, pero también está asociado con los problemas medioambientales. El petróleo y el gas son combustibles menos contaminantes que el carbón, y más fáciles de transportar y utilizar. Los combustibles fósiles pueden utilizarse en diversas tecnologías que producen electricidad, calor o una combinación de ambos.

En la actualidad, un reto importante es buscar mejores maneras de aprovechar este combustible fósil relativamente abundante, barato y muy usado a la vez que se minimiza el impacto en el medio ambiente. Los tres enfoques que se están siguiendo para lograr que el uso del carbón sea más atractivo y menos contaminante son (Comisión Europea, 2005c: 44):

- Mejora del rendimiento de los métodos actuales mediante la modernización o sustitución de las plantas
- Tecnologías menos contaminantes
- Captura y almacenamiento de CO₂

Además, se está colaborando a nivel internacional en el campo de la captura y el almacenamiento del CO₂. En junio de 2003 16 países y la Comisión Europea (www.cslforum.org) fundaron por iniciativa de Estados Unidos el Foro de Liderazgo para la Retención del Carbono (CSLF, *Carbon Sequestration Leadership Forum*). Es una iniciativa internacional relacionada con el cambio climático y centrada en desarrollar tecnologías más económicas y mejores para la separación y captura del dióxido de carbono, para su transporte y para el almacenamiento seguro prolongado. El propósito del CSLF es hacer que estas tecnologías estén disponibles a nivel internacional e identificar y abordar problemas más amplios relacionados con la captura y el almacenamiento de carbono.

Tendencias tecnológicas:

Mejora de rendimiento. El rendimiento medio a nivel mundial de la producción de electricidad a partir de combustibles fósiles es de aproximadamente el 30%, el promedio de la UE es de aproximadamente el 35% y se espera que sea del 50% en 2010 en plantas avanzadas calentadas por carbón. Por tanto, es crucial mejorar el rendimiento de las plantas modernizando las antiguas y construyendo nuevas plantas de mayor rendimiento.

⁹ Esta sección se basa principalmente en el estudio Jitex (Jitex, 2004).

Las turbinas de gas cubren una amplia gama de aplicaciones y tamaños. Se han realizado avances importantes en la tecnología de turbinas de gas, que ya se considera una tecnología madura. Sin embargo, aunque están muy extendidos los ciclos de combustión con calentamiento por gas natural (NGCC), aún hay obstáculos técnicos relacionados con el rendimiento y las temperaturas de funcionamiento, que requerirán el desarrollo de nuevos conceptos y ciclos.

Las tecnologías de producción de energía mediante calentamiento por carbón también están bien establecidas y muy extendidas, incluidas la combustión de combustible pulverizado con presión subcrítica de vapor que activa una turbina de vapor, las calderas de base húmeda calentadas por ciclón y las calderas de fogón para aplicaciones a pequeña escala.

El Grupo de trabajo estratégico recomienda apoyar y coordinar la I+D sobre (Comisión de la UE, 2005c: 45):

- Diseño de materiales y componentes genéricos de alta temperatura, que permitirán a los diversos motores de combustión alcanzar un alto rendimiento.
- Desarrollo y prueba de turbinas de vapor con presión supercrítica de vapor (STSS)
- Recolección sistemática de datos sobre la experiencia de uso de la cogeneración de más de un combustible, incluidos carbón mezclado con biomasa, residuos o petróleo y gas.

Las *nuevas tecnologías menos contaminantes* que se están desarrollando son, por ejemplo, la combustión de combustible pulverizado con turbina de vapor accionada por presión de vapor supercrítica, combustión en lecho fluido a presión atmosférica (FBC, *fluidised bed combustion*), combustión en lecho fluido presurizado (PFBC, *pressurised fluidised bed combustion*) y ciclo combinado con gasificación intensificada (IGCC, *intensified gasification combined cycle*). La tecnología avanzada basada en el carbón más extendida es la combustión de combustible pulverizado con plantas de ciclo de vapor a presión supercrítica, pero hay que desarrollarla más para poder operar a temperaturas más altas y a presiones muy elevadas. A principios de los noventa se inició el desarrollo de la tecnología IGCC y actualmente hay plantas piloto de 250-300 MW en funcionamiento, dos en Europa y dos en Estados Unidos. En la actualidad se están construyendo en todo el mundo las plantas de IGCC de nueva generación, basadas en IGCC sin captura, en la mejora de la refinería de IGCC y en la demostración de la captura de IGCC de carbón. Son el proyecto FutureGen de Estados Unidos, el proyecto EAGLE (planta piloto) de Japón, el proyecto CO₂CRC de Australia y dos proyectos piloto dirigidos por la Coalición Canadiense para la Energía No Contaminante (*Canadian Clean Power Coalition*). En el proyecto Hypogen de la UE aún no se ha decidido qué tecnología se va a utilizar para la producción a gran escala de hidrógeno basada en combustibles fósiles con captura y almacenamiento de CO₂ (puede ser conversión de vapor de gas natural o gasificación de carbón) (ESTO, 2005a).

El Grupo de trabajo estratégico recomienda fomentar la I+D sobre (Comisión Europea, 2005c: 46):

- Materiales de alta temperatura en PFBC y unidades de desarrollo de PFBC con nuevos materiales, diseño de componentes y técnicas de fabricación.
- Desarrollo de la tecnología de gasificación del carbón, incluidas técnicas de limpieza de gas caliente
- Desarrollo de tecnología de combustión preparada para la captura de CO₂, incluidos los sistemas de combustión que facilitan la captura de CO₂ y la circulación química.

Además de mejorar el rendimiento y los niveles de emisión de las tecnologías de conversión, se están realizando esfuerzos para desarrollar tecnologías de emisión prácticamente nula, que combine sistemas avanzados de producción de energía con *la captura y el almacenamiento de CO₂*. Tres tecnologías importantes son (Jitex, 2004: 75)

- Captura postcombustión, en la que se extrae CO₂ del gas de combustión, bien adaptado para el retrolleado
- Captura precombustión, que lleva a un vapor con una concentración elevada de CO₂ y a la separación de CO₂.
- Tecnologías de oxígeno-gas combustible, en las que la combustión en oxígeno conduce a una concentración elevada de CO₂ en el gas de combustión.

Estas tecnologías de captura de CO₂ implican procesos de adsorción, absorción (química o física), separación por membrana o criogenia. Todos ellos provocan pérdidas de rendimiento y, por tanto, un aumento del coste.

El almacenamiento de CO₂ en formaciones geológicas incluye depósitos agotados de petróleo y gas, vetas de carbón que no se puede extraer, acuíferos, etc. Además, se puede inyectar CO₂ en yacimientos petrolíferos casi agotados para mejorar la producción de petróleo. Se suele utilizar el proceso de Recuperación mejorada de petróleo (EOR, *Enhanced Oil Recovery*), especialmente en Estados Unidos. Actualmente no se utiliza la Recuperación mejorada de gas (EGR, *Enhanced Gas Recovery*) y se han realizado muy pocas pruebas de Recuperación mejorada de metano en lecho fluido (ECBM, *Enhanced Coal Bed Methane*) en el mundo.

El Grupo de trabajo estratégico recomienda fomentar la I+D sobre (Comisión de la UE, 2005c: 30):

- Procesos nuevos o mejorados para separar y capturar CO₂ de forma más económica en los gases de escape. Exploración de nuevas ideas. Se le debe dar una prioridad elevada.
- Pruebas de captura de CO₂ a largo plazo, con el objetivo de demostrar la seguridad y viabilidad de las distintas opciones de almacenamiento de CO₂ y eliminar el riesgo a largo plazo.

Puntos fuertes y puntos débiles en Europa:

Ciencia y tecnología. Salvo para proyectos de desarrollo sobre producción de hidrógeno y captura y almacenamiento de CO₂, las tecnologías energéticas no contaminantes basadas en combustibles fósiles no se han tenido en cuenta en el Sexto Programa Marco de la UE. Como los combustibles fósiles seguirán siendo la principal fuente de energía durante los próximos decenios, es un punto débil importante que estas tecnologías a corto o medio plazo no se aborden de forma adecuada en las prioridades de I+D de la UE, entre otras razones para equipararse con Estados Unidos y Japón en este campo (Jitex, 2004; Comisión de la UE, 2005c). En el Cuarto Programa Marco y el Quinto Programa Marco se apoyó el desarrollo de las turbinas de gas, pero a este desarrollo no le han seguido proyectos piloto como sucede, por ejemplo, en Estados Unidos. El Sexto Programa Marco no aborda la mejora de rendimiento de la producción de energía en turbinas de gas.

En el campo de la captura y el almacenamiento de CO₂, la UE apoya proyectos como el proyecto Weyburn de control de CO₂ de Canadá, un proyecto (denominado Sleipner) que demuestra el almacenamiento de CO₂ en acuíferos profundos en el Mar del Norte y una evaluación del potencial europeo para el almacenamiento geológico de CO₂ producido por la combustión de combustible fósil (GESTCO). En particular, el proyecto Sleipner iniciado por Statoil se ha convertido en un proyecto de talla mundial con muchos socios europeos y empresas internacionales que tienen la oportunidad de obtener experiencia práctica en el proceso, en seguridad y en fiabilidad. En el Quinto Programa Marco, el gasto total en I+D sobre captura y almacenamiento de CO₂ fue de 32 millones de euros, con una contribución de la UE de 16 millones de euros. En el Sexto Programa Marco se asignaron 37 millones de euros de financiación de la UE, igualados por una cantidad equivalente de inversión pública y privada para investigación, desarrollo y demostración, y están previstas nuevas peticiones de recursos (Comisión Europea, 2004i). Tres grandes proyectos (integrados) se centran en mejorar la captura de CO₂ (ENCAP), en el CO₂ desde la captura hasta el almacenamiento (CASTOR) y en un laboratorio in situ para la captura y almacenamiento de CO₂ (CO₂SINK).

Con el anuncio de la iniciativa Hypogen en noviembre de 2003, la Comisión de la UE ha otorgado prioridad a una instalación de prueba a gran escala para la producción de hidrógeno y electricidad a partir de combustibles fósiles, con captura y almacenamiento de CO₂. Se espera que la financiación indicativa de 1.300 millones de euros provenga de la UE, y de fuentes nacionales, regionales y privadas, pero aunque es prácticamente equivalente al proyecto FutureGen de Estados Unidos en términos de financiación y objetivo, aún no se ha adoptado ninguna decisión en cuanto a tecnología, sistema organizativo y financiación (Esto, 2005a).

El proyecto alemán COORETEC ha anunciado el estudio de un IGCC de captura de tercera generación, con un ciclo combinado de captura de CO₂, especificación de

turbina de hidrógeno y mejora de la gasificación. El estudio va a ser realizado por Siemens, Lurgi, RWE, Vattenfall, Eon, IEC y Linde.

El programa noruego KLIMATEK, de cinco años de duración y un presupuesto de 70 millones de dólares, pretende fomentar las tecnologías de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero. Algunos proyectos respaldados son, por ejemplo, el Proyecto Internacional de Captura de Carbono (CCP) emprendido por siete empresas energéticas globales, así como proyectos nacionales de investigación a largo plazo (www.co2captureandstorage.info).

Se considera que las actividades de I+D en Europa están fragmentadas. Se han realizado algunos esfuerzos para coordinar las actividades de I+D en tecnologías europeas no contaminantes de energía basada en combustibles fósiles para superar esta fragmentación en los distintos países y sectores:

- Centros de prestigio para turbinas de gas industriales (CE-IGT, respaldado por el Quinto Programa Marco).
- POWERCLEAN es una red temática financiada por el Quinto Programa Marco y centrada en tecnologías basadas en el carbón y otros combustibles.
- CO₂NET es una red de investigadores, desarrolladores y usuarios de tecnología de CO₂ (respaldada por el Quinto Programa Marco).
- CO₂GEONET es una red de excelencia sobre almacenamiento geológico respaldada por el Sexto Programa Marco.
- 2003 FENCO (coalición para la energía no contaminante basada en combustibles fósiles) es una Acción de apoyo específico (AAS) del Sexto Programa Marco que tiene como objetivo crear una Red para el Espacio Europeo de Investigación (ERA-net) sobre energía basada en combustibles fósiles. Algunos Estados miembros ya tienen programas para afrontar el uso de transición de combustibles fósiles no contaminantes, como el programa COORETEC (Tecnología de reducción de CO₂) alemán y el programa británico de Estrategia de gestión del carbono para combustibles fósiles. El objetivo global es coordinar el nivel nacional de financiación en este campo.

Mercado e industria. El mercado de plantas generadoras está actualmente en una situación de espera a causa de las incertidumbres relacionadas con los impuestos y otras regulaciones del CO₂, y de la preocupación de la opinión pública. No obstante, hay que sustituir las plantas antiguas y también puede ser necesario desarrollar nueva capacidad. En los mercados internacionales, se espera que en el futuro próximo China y la India sean los principales mercados para la energía basada en combustibles fósiles.

Durante el decenio pasado, las tecnologías de turbinas de gas de Estados Unidos alcanzaron una posición dominante en el mercado. En el campo de los sistemas avanzados de combustible pulverizado, la industria de la UE y la industria japonesa son

los líderes mundiales. Europa también ha avanzado en plantas de CFB y PCFC, así como en la planta de gasificación de Puertollano, que está en marcha desde 1998. El mercado de las microturbinas en Europa está en su fase inicial: hay aproximadamente 300 unidades de demostración instaladas, la mayoría de las cuales son calentadas por gas natural y se utilizan para la cogeneración.

Actualmente no hay producción de CO₂-EOR en Europa. Sin embargo, en el proyecto CENS (CO₂ para EOR en el Mar del Norte) se van a empezar a utilizar las instalaciones de captura de CO₂ de Dinamarca y el Reino Unido en 2007, y también hay un proyecto piloto a gran escala respaldado por la UE para ECBM en una cuenca carbonífera polaca.

Con todo, Europa va por detrás de Estados Unidos y Japón, que son los líderes mundiales en las tecnologías de absorción disponibles comercialmente, una posición de mercado que también está respaldada por la I+D sobre tecnologías de membrana (Jitex, 2004: 112).

En términos de *políticas y medidas*, hay muchas incertidumbres en Europa, especialmente en cuanto a los márgenes de emisión y los impuestos del CO₂. Sin embargo, a diferencia de lo que ocurre en Estados Unidos, las políticas y medidas para la generación distribuida son favorables, y la legislación europea también desempeña un papel cada vez más importante en la definición de las condiciones del marco para la cogeneración, incluida la directiva sobre el fomento de la cogeneración. Además, la directiva que establece un esquema para el comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero permite a los participantes europeos recibir algunos beneficios, como el desarrollo de tecnologías de almacenamiento económicas en el Mar del Norte y el establecimiento de un mercado para las tecnologías de captura y almacenamiento de CO₂.

En cuanto a la iniciativa de la Comisión Europea, se ha dado un paso importante en marzo de 2005 para solicitar la creación de una Plataforma tecnológica para plantas generadoras de energía basada en combustibles fósiles sin emisiones contaminantes. Inicialmente, la plataforma tiene como objetivo identificar y eliminar los obstáculos para la creación de plantas generadoras de alto rendimiento con emisiones cercanas a cero, que reducirán drásticamente el impacto en el medio ambiente del uso de combustibles fósiles, especialmente el carbón. Incluirá la captura y el almacenamiento de CO₂, así como tecnologías de conversión no contaminantes que mejorarán sustancialmente el rendimiento, la fiabilidad y el coste de las plantas. Sin embargo, es demasiado pronto para analizar la coherencia, solidez y efectividad de la plataforma, que recibirá financiación más adelante en 2005. En cuanto a la cooperación internacional, la Comisión de la UE y varios Estados miembros están representados en el Foro de Liderazgo para la Retención del Carbono (CSLF) y la Alianza Internacional para la Economía del Hidrógeno (IPHE).

En conclusión, las oportunidades científicas están relacionadas con la mejora de rendimiento de tecnologías bien conocidas, así como con tecnologías menos contaminantes para la captura y el almacenamiento del CO₂. Esto incluye un importante esfuerzo en plantas avanzadas de combustible pulverizado y CBF, y el desarrollo de plantas generadoras de IGCC y PFBC. El desarrollo futuro del mercado se producirá principalmente en China y la India, pero parece que Europa va por detrás de Japón y Estados Unidos en estos mercados. Los mercados para el almacenamiento de CO₂ son muy prometedores, pero en este caso también Europa va por detrás, ya que Estados Unidos y Japón son líderes en las tecnologías de absorción comercialmente disponibles, una posición que se mantendrá por el importante esfuerzo de I+D norteamericano (Jitex, 2004: 102). Dado el gran potencial para CO₂-EOR en el Mar del Norte, existen oportunidades excelentes para implementar una importante infraestructura de recolección y transporte de CO₂. En este caso también, los peligros de un proyecto así están relacionados con la falta de un marco legal similar al de “inyección subterránea de residuos” de Estados Unidos o las regulaciones noruegas para el gas natural, que podrían durar años.

2.6 Fisión nuclear

Descripción general:

El descubrimiento de la fisión nuclear fue un esfuerzo europeo. A partir del desarrollo de las bombas atómicas y su uso en la II Guerra Mundial, los esfuerzos se centraron en el uso pacífico de la energía nuclear. La primera planta generadora de electricidad se construyó en Idaho en 1951 y la producción de energía a gran escala se inició en Calder Hall (Reino Unido) en 1956. En los años sesenta y setenta se realizaron inversiones importantes en energía nuclear en Estados Unidos, Japón, Rusia, Francia, Alemania, España, Finlandia, etc. En la actualidad, hay 440 centrales nucleares en 31 países y se están construyendo unas 30 más. Más del 90% de estas plantas son reactores de agua ligera (LWR, light-water reactor). La energía nuclear aporta el 17% de la electricidad generada en el mundo, el 31% en la UE-25 y el 78% en Francia (Comisión Europea, 2005c; Lauritzen et al., 2005).

La I+D sobre fisión ha formado parte, junto con la fusión, del programa de investigación de la Comunidad desde los comienzos del Tratado Euratom de 1957. Desde el principio, la I+D sobre fisión ha cubierto todo el ciclo relacionado con la fisión, incluidos el enriquecimiento y la fabricación de combustible, los diversos tipos de reactores, el reprocesamiento y tratamiento de residuos, el almacenamiento y la eliminación final. También se han incluido las defensas y la protección contra la radiación.

Algunas de las ventajas de la fisión nuclear son que hay abundantes y extendidos yacimientos de uranio, que es una fuente de energía concentrada y que no produce gases de efecto invernadero. Además, los costos están relacionados principalmente con la tecnología y algunos reactores de fisión también pueden generar calor de alta temperatura, que podría utilizarse para otros procesos y para la producción de hidrógeno. Sin embargo, a causa de los graves accidentes en la central nuclear de Three Mile Island (Pennsylvania) en 1979 y en la planta de Chernobyl (Ucrania) en 1986, se ha generado una preocupación pública y política sobre la seguridad de esta tecnología. También preocupa la eliminación de los residuos radioactivos. Pero como la energía nuclear no produce gases de efecto invernadero, los retos de afrontar el calentamiento global y el aumento de los precios de los combustibles fósiles pueden impulsar el uso de la energía nuclear en algunos países.

Según un estudio reciente, para que se produzca un gran aumento del uso de la energía nuclear se deben solucionar cuatro problemas fundamentales (MIT, 2003):

- Coste. La energía nuclear no puede competir con el carbón y el gas natural a los precios actuales en mercados liberalizados, pero los créditos de emisión de carbono pueden ofrecer a la energía nuclear una ventaja económica en Estados Unidos.

- Seguridad. Son necesarias prácticas recomendadas para la construcción y el funcionamiento de los reactores modernos, con diseños más seguros.
- Residuos. La eliminación geológica es técnicamente factible, pero las ventajas a largo plazo para la gestión de residuos de ciclos de combustible avanzados y cerrados son contrarrestadas por los riesgos y los costos a corto plazo.
- Proliferación. Se deben minimizar los riesgos de proliferación del funcionamiento del ciclo de combustible nuclear comercial. Hay preocupación respecto a las existencias de plutonio, al control inadecuado en instalaciones de investigación nuclear y a la transferencia de la tecnología de enriquecimiento y reprocesamiento. Los acuerdos de seguridad internacionales establecidos actualmente son inadecuados para afrontar estos riesgos.

Con respecto a los retos tecnológicos, se están realizando esfuerzos en dos foros internacionales para realizar I+D sobre nuevos tipos de reactor, más seguros y económicos, y para buscar soluciones viables al problema de los residuos. Estos esfuerzos son:

- En 2001, el Departamento de Energía (DOE) de Estados Unidos inició el proyecto Generation IV y después lo transformó en el Foro Internacional del Reactor Nuclear de Cuarta Generación (GIF, *Generation IV International Forum*) con diez países para coordinar la I+D sobre reactores de cuarta generación (véase el apéndice para obtener información detallada).
- En 2001 también, por iniciativa de Rusia, se estableció el Proyecto Internacional sobre Reactores Nucleares y Ciclos de Combustible Nuclear Innovadores (INPRO) auspiciado por el Organismo Internacional de la Energía Atómica (OIEA) y con 20 Estados miembros de la IAEA y la UE (véase el apéndice para obtener información detallada).

Los dos foros internacionales tienen los mismos objetivos, términos de referencia y calendarios para las nuevas generaciones de reactores. También hay un solapamiento importante en la pertenencia, salvo Estados Unidos, que sólo es miembro de GIF, y Rusia, que sólo es miembro de INPRO a causa de discrepancias relativas a la conveniencia de la exportación de un reactor nuclear ruso a Irán (Lauritzen et al., 2005: 20).

En cuanto a la proliferación, está regulada por el Organismo Internacional de la Energía Atómica (OIEA), que es el centro mundial para la cooperación en el campo de la energía nuclear. En 1968 se aprobó el Tratado sobre la no proliferación de las armas nucleares (NPT). En esencia, limita el número de estados con armas nucleares declaradas a cinco (Estados Unidos, Rusia, el Reino Unido, Francia y China), pero dado que hay programas de armas nucleares en países como Pakistán, India y Corea del Norte, y se han realizado intentos con un éxito relativo en Irak y Libia, hay serias dudas sobre los acuerdos de seguridad del OIEA.

Tendencias tecnológicas:

Las prioridades de investigación propuestas por el Grupo de trabajo estratégico tienen como objetivo la seguridad y la protección en las centrales nucleares, así como la eliminación final segura de los residuos radioactivos. Sólo entonces será posible vencer el miedo de la opinión pública y política a la energía nuclear. Las acciones de I+D específicas son (Comisión Europea, 2005c):

- Desarrollo de plantas generadoras innovadoras a través del GIF. Los sistemas de energía nuclear "Generation IV" son un conjunto de tecnologías de reactores nucleares que podrían desplegarse para 2030 y ofrecer mejoras significativas en la economía, seguridad, fiabilidad y sostenibilidad con respecto a las tecnologías de los reactores en funcionamiento actualmente. En la hoja de ruta tecnológica del GIF se abordan las siguientes tecnologías: reactor rápido enfriado con gas (GFR, *Gas-cooled Fast Reactor*), reactor a muy alta temperatura (VHTR, *Very-High-Temperature Reactor*), reactor de presión supercrítica enfriado con agua (SCWR, *Supercritical Water-cooled Reactor*), reactor rápido enfriado con sodio (SFR, *Sodium-cooled Fast Reactor*), reactor rápido enfriado con plomo (LFR, *Lead-cooled Fast Reactor*) y reactor refrigerado por sales fundidas (MSR, *Molten Salt Reactor*). El Grupo de trabajo estratégico no trata la cuestión de por qué la I+D de la UE debe realizarse en el marco del GIF y no en el marco de INPRO, o si podría haber sinergias.
- Validación de modelos y tecnologías para la eliminación geológica de residuos.
- Desarrollo de un tratamiento mejor del combustible agotado, incluidos los procesos de partición y reciclaje. Además, debe abordarse el impacto del tratamiento avanzado de combustible agotado en el diseño y la eficacia de los contenedores de residuos.
- Aumento del conocimiento del efecto de pequeñas dosis de radiación en la salud del ser humano.

Puntos fuertes y puntos débiles en Europa:

Ciencia y tecnología. Los recursos asignados a la fisión se han mantenido estables durante los últimos 17 años. El gasto nominal de la UE en energía nuclear a través el Centro Común de Investigación ha sido de aproximadamente 300 millones de euros en cada programa marco, y éste también es el caso para el apoyo indirecto a la investigación en temas relacionados con la fisión, que en promedio fue de 190 millones de euros (Consejo Mundial de la Energía, 2001: 99).

La I+D europea sobre centrales nucleares más seguras y de mayor rendimiento se realiza en varias instituciones, como:

- CERN (Centro Europeo de Investigación Nuclear), el mayor centro mundial de investigación en física de partículas. Este laboratorio, fundado en 1954, fue una de las primeras empresas conjuntas europeas y actualmente reúne a 20 Estados miembros.

- El proyecto de reactor Halden de la OCDE. El proyecto de reactor Halden ha estado en marcha durante más de 40 años y es el mayor proyecto de la Agencia para la Energía Nuclear. Une redes técnicas internacionales en los campos de la fiabilidad del combustible nuclear, la integridad de los componentes internos de los reactores, el control y la supervisión de las centrales y los factores humanos. El programa se basa principalmente en experimentos, desarrollo de productos y análisis realizados en las instalaciones de Halden en Noruega, y está respaldado por unas 100 organizaciones de 20 países.
- Centro Común de Investigación Petten. Este centro es el laboratorio de investigación científica y tecnológica de la Unión Europea y forma parte integral de la Comisión Europea. La investigación nuclear realizada en este laboratorio se centra en la protección nuclear y la seguridad nuclear.
- Commissariat a l'Énergie Atomique (CEA). Esta institución pública francesa se dedica a investigación básica y tecnológica relacionada con la tecnología nuclear.
- Forschungszentrum Karlsruhe, con un programa de I+D en seguridad nuclear y de seguridad de los residuos.
- SINTER, en la Universidad de Stuttgart, Institut für Kernenergie und Energiesysteme.

Hay tres redes europeas que cubren aspectos de integridad estructural de los componentes nucleares antiguos:

- AMES (Ageing Materials Evaluation and Studies, *Análisis y estudios de materiales antiguos*). Esta red agrupa los 'centros de prestigio' de evaluación e investigación de materiales en reactores presurizados (RPV).
- NES (Network for Evaluating Structural Components, *Red de evaluación de componentes estructurales*). La red NES realiza proyectos experimentales a gran escala para validar el proceso de evaluación de la integridad estructural de componentes antiguos de centrales nucleares. Se pretende que los resultados integren los esfuerzos fragmentados de I+D y fomenten el uso de prácticas recomendadas a nivel europeo (<http://safelife.jrc.nl/nesc/>)
- ENIQ (European Network for Inspection Qualification, *Red europea para la cualificación de inspecciones*). El objetivo global de ENIQ es coordinar y gestionar el conocimiento y los recursos a nivel europeo para la cualificación de técnicas y procedimientos de inspección no destructivos, principalmente para la inspección en servicio de componentes nucleares (<http://safelife.jrc.nl/eniq/>).

Después de los graves accidentes de Estados Unidos y Ucrania, la construcción de nuevas centrales nucleares se paralizó casi completamente. El 60% de la capacidad nuclear de la OCDE se construyó antes de 1973, el 20% en el período 1974-79 y otro 20% en años recientes. La edad media de una central nuclear es de 21 años y se han desactivado definitivamente 107 reactores, también con una edad media de 21 años.

Sin embargo, el problema es que cuesta casi lo mismo desactivar un reactor que construir uno nuevo (Schneider & Froggatt, 2004).

La nueva central de 3.000 millones de euros que se está construyendo en Finlandia es un reactor presurizado europeo (EPR) que se ha encargado a la empresa francesa Areva y a la empresa alemana Siemens. Tiene una vida útil de 60 años y producirá 1.600 MWe. Areva también participa en la construcción de una nueva planta piloto EPR de 1.800 MWe en Francia, con un coste de 2.800 millones de euros. Estas nuevas construcciones proporcionará a Areva una valiosa competencia técnica para la próxima generación de centrales (Lauritzen et al., 2005: 8).

También se están construyendo centrales nucleares en otros países, siendo China, la India, Japón y la República de Corea los más activos. Los mercados futuros para las tecnologías de fisión están muy asociados con los mercados de las economías de rápido crecimiento en China, India y Brasil. En diciembre de 2004, el Secretario de Estado norteamericano afirmó que China sería la primera potencia mundial en energía nuclear. China espera doblar para 2020 su capacidad nuclear, del 2% al 4% de la producción total de electricidad. Esto requerirá una inversión total de 40.000 millones de dólares, lo que equivale a unas 25 centrales nucleares. Los proveedores de estas centrales serán los líderes en tecnología nuclear. En la actualidad compiten tres empresas en este mercado: La norteamericana Westinghouse, la francesa Areva y la rusa AtomStroyExport (Oerstroem Moeller, 2005: 45; Lauritzen et al., 2005).

Política y medidas. Hay energía nuclear en 12 Estados miembros de la UE (Francia, Lituania, Bélgica, Eslovaquia, Suecia, Hungría, Finlandia, Alemania, España, Reino Unido, República Checa y Holanda). Además, también está presente en países como Suiza, Bulgaria, Rumanía y en todos los miembros de Euratom. En algunos países (como Dinamarca) la opinión pública ha evitado la introducción de la energía nuclear, en otros (como Suecia, Bélgica, Alemania, Holanda, España) se han aprobado leyes para cerrar las centrales nucleares existentes, y también hay países (como Suiza) que tienen una moratoria. Francia, Finlandia, la República Checa y Eslovaquia han expresado una actitud positiva hacia la energía nuclear y se están construyendo nuevas centrales en Finlandia, Eslovaquia y la República Checa. Con todo, hay grandes presiones para afrontar la preocupación pública y política.

Normalmente la seguridad nuclear ha sido un asunto nacional en Europa, pero recientemente la Comisión Europea ha propuesto una directiva¹⁰ relativa a la seguridad de las centrales nucleares y el procesamiento de residuos radioactivos para hacer frente a los defectos de la legislación nuclear en la UE ampliada (Loyola de Palacio, Vicepresidenta a cargo de la energía y el transporte, 30 de enero de 2003).

¹⁰ Propuesta revisada de una Directiva del Consejo (Euratom) sobre la gestión segura del combustible nuclear agotado y los residuos radioactivos (COM(2004)526 final).

En conclusión, la I+D en fisión nuclear se basa en una sólida investigación básica y los fondos destinados se han mantenido estables a lo largo de los años. La construcción de reactores EPR en Finlandia y en Francia puede otorgar a la industria europea una ventaja competitiva en los nuevos mercados emergentes de China y otros países. Sin embargo, los Estados miembros tienen opiniones divergentes sobre la energía nuclear y hay una preocupación pública declarada sobre la seguridad de la energía nuclear y los residuos radioactivos. Recientemente se ha propuesto la legislación de la UE relativa a la seguridad nuclear y la gestión de residuos para abordar estos problemas en la UE ampliada. En cuanto a la cooperación internacional en I+D, parece que las partes interesadas en Europa están bloqueadas entre dos foros en competencia y, a menos que Europa se decida a trabajar en una fusión de ambos o tome partido definitivamente por uno de los dos, verá socavado su impacto en la cooperación internacional en el campo de la fisión.

2.7 Fusión nuclear

Descripción general:

La fusión es una de las alternativas para el abastecimiento de energía en el futuro. Es el proceso que genera la energía del sol y se denomina fusión porque produce energía mediante la fusión de átomos ligeros, como los átomos de hidrógeno. Sin embargo, la producción efectiva de energía requiere una combinación de combustibles que debe ser calentada a temperaturas muy elevadas (150 millones de grados centígrados) y aislada mediante confinamiento magnético para que no entre en contacto con las paredes del reactor. La fusión ofrece algunas ventajas: la abundancia del combustible básico, las características de seguridad inherentes, no emite gases de efecto invernadero y no produce residuos de larga duración. Sin embargo, los reactores deben ser de gran tamaño (de alrededor de 1 GW) para poder mantener las elevadas temperaturas del plasma requeridas. El gran tamaño del módulo hace que el desarrollo sea lento y extremadamente caro. En consecuencia, la investigación principal se está realizando a nivel europeo y en cooperación con otros socios internacionales.

La I+D sobre fusión ha formado parte del programa de investigación comunitario desde los comienzos del Tratado Euratom de 1957 y se ha incluido en todos los programas marco. Desde los años 50, los Estados miembros de la UE y los esfuerzos mundiales se han centrado en crear, controlar y mantener una reacción de fusión confinando y calentando plasma mediante campos magnéticos. En cambio, Francia, el Reino Unido y Estados Unidos tienen programas basados en el uso de láseres (para centrales y armas nucleares). Un solo programa europeo integrado ha asegurado que las actividades de investigación tengan masa crítica y se han emprendido proyectos conjuntos como, por ejemplo, el Joint European Torus (JET). Cerca de 2.000 científicos trabajan en I+D sobre fusión nuclear en más de 20 laboratorios, incluido el JET. La colaboración se basa en contratos de asociación con los Estados miembros y otros socios del Programa Marco Euratom. Además, el Acuerdo Europeo para el Desarrollo de la Fusión Nuclear (*European Fusion Development Agreement*) establece las reglas para la explotación de las instalaciones del JET, la colaboración internacional para el proyecto ITER (*International Thermonuclear Experimental Reactor*, Reactor Termonuclear Experimental Internacional) y la I+D.

Tendencias tecnológicas:

La fusión es una tecnología a largo plazo, y el plazo previsto para obtener energía de fusión a gran escala y viable comercialmente es de 30 a 50 años. Las instalaciones del JET entraron en funcionamiento en 1983 y se considera que es el mayor experimento de fusión a nivel mundial y también el de mayor rendimiento. Los experimentos en el JET y en otras instalaciones han constituido la base de un nuevo experimento que se está

preparando desde 1992. Con el ITER se pretende demostrar la capacidad de controlar y mantener plasma en combustión durante un tiempo prolongado, así como obtener experiencia en el funcionamiento integrado de los componentes. Los socios son los del Tratado Euratom de la UE, Japón, Estados Unidos, Rusia, China y la República de Corea. Hasta ahora no se ha tomado una decisión en cuanto al emplazamiento del ITER. El coste estimado de su construcción es de unos 4.600 millones de euros, el plazo estimado de la construcción es de unos 10 años y se prevé que esté en funcionamiento durante 20 años. Si el reactor experimental tiene éxito, se construirá una central piloto a escala completa.

El Grupo de trabajo estratégico cree que, en paralelo a la construcción y el funcionamiento del ITER, preferiblemente en Europa, la I+D de la UE también debe centrarse en las principales incertidumbres técnicas y en probar materiales y componentes de reactores de fusión antes de usarlos en el reactor (Comisión Europea, 2005c). También recomienda mantener los conocimientos en física de plasma fundamental.

Puntos fuertes y puntos débiles en Europa:

Ciencia y tecnología. El programa de fusión de la UE representa un campo de investigación europeo a largo plazo y bien establecido, que ha agrupado conocimientos y recursos en torno a retos comunes de I+D. Esto ha permitido a la UE desempeñar un papel protagonista en el proyecto global del ITER (Comisión Europea, 2005e). Se ha invertido a lo largo del tiempo una cantidad considerable de recursos en la investigación sobre fusión nuclear. En el Sexto Programa Marco se han destinado 750 millones de euros para la I+D sobre fusión, incluidos 200 millones de euros para la posible construcción del ITER.

Aunque la energía de fusión es un proyecto a largo plazo (y tiende a seguir siendo a largo plazo después de 50 años de I+D), también hay importantes derivados de la fusión en otros campos que deberán tenerse en cuenta al juzgar la inversión de recursos. Algunos ejemplos de derivados de la fusión se encuentran en el sector médico y sanitario, conversión de energía y pulsos de energía, procesamiento de materiales, superconductividad, propulsión espacial y procesamiento de residuos (para obtener información detallada, véase Comisión Europea, 2003d).

En cuanto a *la política y las medidas*, la organización de un programa común para la I+D sobre fusión en la UE ha sido un éxito en el campo de la energía de fusión nuclear, un campo de investigación a largo plazo que consume una gran cantidad de recursos. El Tratado Euratom tiene su origen en la creación de la Comunidad Europea y se ha beneficiado del deseo político, posterior a la II Guerra Mundial, de utilizar los átomos para fines pacíficos mediante fusión nuclear y fisión nuclear. El programa de fusión es un ejemplo de campo de investigación europeo en el que, mediante una visión de conjunto y la agrupación de conocimientos y recursos, la UE aparece destacada con respecto a otros socios internacionales.

En conclusión, la I+D sobre fusión es un campo bien establecido y con muy buena reputación a nivel internacional. Este campo de investigación, que requiere muchos recursos, se gestiona como un verdadero espacio de investigación europeo, que agrupa competencias y recursos a nivel de la UE. La necesidad de demostrar que se obtiene a largo plazo un valor a cambio del dinero invertido en I+D está relacionada con los importantes resultados derivados de la I+D en fusión. No obstante, puede ser un desafío atraer suficientes fondos para los campos de I+D a muy largo plazo, que compiten con las tecnologías a corto y medio plazo.

2.8 Conclusión

Aunque aún no se ha establecido un espacio de investigación europeo en el campo de las tecnologías energéticas clave, se han dado importantes pasos políticos y se han puesto en práctica actividades para alcanzar este ambicioso objetivo. Se han establecido plataformas tecnológicas y se han abierto los programas nacionales de I+D a los otros Estados miembros. Sin embargo, aún no se aprecian las consecuencias de estos esfuerzos y pueden surgir problemas de implementación. Es importante recordar que la cooperación europea en I+D sobre energía tiene un largo historial, desde la fundación del Tratado Euratom en 1957 y las actividades de investigación en fisión y fusión.

Plataformas tecnológicas para superar la fragmentación. En los distintos campos tecnológicos relacionados con la energía, se han establecido (o se están estableciendo plataformas) en los campos del hidrógeno y las pilas de combustible, plantas generadoras de energía a partir de combustibles fósiles con emisiones prácticamente nulas, energía fotovoltaica y la red eléctrica del futuro¹¹. Aunque se han establecido por iniciativa de la Comisión de la UE, están gestionadas por la industria y en ellas participan profesores y funcionarios científicos de los gobiernos nacionales. La Plataforma Europea de la Tecnología del Hidrógeno y las Pilas de Combustible celebró la segunda asamblea general, a la que asistieron más de 500 participantes de la industria, la universidad y los gobiernos para debatir informes bien documentados sobre una Agenda de investigación estratégica y una Estrategia de implementación para las tecnologías del hidrógeno y las pilas de combustible. Actualmente se están estableciendo la Plataforma tecnológica para plantas generadoras de energía basada en combustibles fósiles sin emisiones contaminantes y la Plataforma Tecnológica Fotovoltaica. Las tareas prioritarias de las plataformas se centran en establecer agendas de investigación estratégicas y estrategias de implementación, pero también abordan problemas relacionados con las normas, los códigos y la regulación. Sin embargo, también sería importante abordar el análisis del impacto de los esfuerzos de I+D emprendidos para aclarar el valor científico y social del dinero invertido.

La investigación europea en fusión nuclear está bien establecida y funciona bien. Aparte de estas plataformas, a lo largo de los últimos 40 años se ha llevado a cabo una colaboración europea bien establecida en energía de fusión. Este programa integrado de I+D europea ha garantizado una masa crítica y una calidad elevada que en la actualidad permite a Europa llevar la delantera en instalaciones experimentales internacionales.

Apertura de los programas de I+D nacionales a los otros Estados miembros. Ésta es una tarea emprendida por el grupo de representantes de la Plataforma Europea de la Tecnología del Hidrógeno y las Pilas de Combustible en el contexto de Hy-Co ERAnet, pero también

¹¹ Visite <http://www.ired-cluster.org/>

incluye experiencias de Nordic Energy Research, que desde 1992 ha agrupado fondos de I+D para los proyectos comunes de I+D sobre energía en los países nórdicos.

Cada *tecnología energética clave* se enfrenta a distintos retos en cuanto a su base científica, los desarrollos del mercado y las medidas políticas. Sin embargo, parece que aunque la fragmentación puede ser dominante en la mayoría de los campos, se están estableciendo redes de excelencia y centros de prestigio. En la mayoría de los campos hay un enfoque diversificado para introducir las tecnologías en el mercado, que combina I+D para introducir avances tecnológicos con medidas orientadas a cubrir las necesidades del mercado. La base científica europea es, en general, sólida en investigación básica, que suele ser crucial para el desarrollo de la mayoría de las tecnologías energéticas. Sin embargo, quedan obstáculos importantes relacionados con la transferencia tecnológica de la ciencia a la industria y en varios campos el proceso de fabricación está poco desarrollado.

Las oportunidades futuras están estrechamente relacionadas con el uso pleno de diversas medidas establecidas para introducir avances tecnológicos y cubrir las necesidades del mercado en las diversas tecnologías energéticas clave. En particular, Europa tiene buenas oportunidades para combinar el rendimiento energético con nuevas tecnologías energéticas no contaminantes y sostenibles, como la biomasa y los biocombustibles, el hidrógeno y las pilas de combustible, la energía fotovoltaica y otras tecnologías como la eólica, marina, termosolar y geotérmica. Se podría hacer más para asegurar el apoyo mutuo de las iniciativas de la UE (por ejemplo, entre la política agraria y la I+D en bioenergía). Aunque queda mucho trabajo por delante para crear un Espacio de investigación europeo completo para tecnologías energéticas clave, Europa ha dado pasos importantes para utilizarlas con el fin de beneficiar sus propios sistemas y mercados energéticos, así como para colocar en posición destacada la industria europea a nivel internacional. Deben buscarse posibles sinergias entre las iniciativas de los Estados miembros, por ejemplo utilizando redes y plataformas tecnológicas, que pueden basarse en la experiencia nacional e incluir distintas partes interesadas para subsanar la fragmentación de la I+D. Europa puede utilizar su elevada reputación científica en diversos campos para mejorar y consolidar las relaciones de la I+D y la industria en campos con mercados emergentes para las nuevas tecnologías energéticas, como la producción de bioelectricidad, pilas de combustible en aplicaciones fijas y especializadas, energía fotovoltaica en los países en desarrollo, energía nuclear en los países de rápido crecimiento económico, y la captura y el almacenamiento de CO₂ en América del Norte.

Los principales *peligros* están relacionados con los problemas de puesta en práctica del espacio de investigación europeo, la preocupación pública por tecnologías polémicas como los organismos modificados genéticamente o la energía nuclear, y la fuerte competencia de países como Estados Unidos y Japón, pero también de países de rápido crecimiento económico como China, India, etc.

TABLA 8 *Análisis de puntos fuertes, puntos débiles, oportunidades y peligros de la base científica y tecnológica europea en las tecnologías energéticas clave.*

	Puntos fuertes	Puntos débiles
Problemas generales	<ul style="list-style-type: none"> · Ambición política de crear un Espacio de Investigación Europeo. · Concienciación política de la necesidad de abrir los programas de I+D nacionales a los otros Estados miembros. · Se han establecido (o se están estableciendo) plataformas tecnológicas en 3-4 campos importantes de I+D. · Espacio de Investigación Europeo en fusión nuclear. 	<ul style="list-style-type: none"> · La mayor parte de la I+D sobre energía se realiza a nivel de los Estados miembros y no está coordinada. · Los recursos asignados a la I+D sobre energía son insuficientes para preparar a Europa para los retos a largo plazo.
Rendimiento	<ul style="list-style-type: none"> · Concienciación política sobre el rendimiento energético · Muchas iniciativas orientadas a cubrir las necesidades del mercado a nivel de la UE, incluidos programas de apoyo no tecnológicos, legislación y campañas de información. 	<ul style="list-style-type: none"> · La I+D sobre rendimiento energético no es un campo de investigación coherente y definido a nivel de la UE. · Los fondos asignados a la I+D sobre rendimiento energético son relativamente escasos.
Biomasa y biocombustibles	<ul style="list-style-type: none"> · Hay una sólida base científica y tecnológica en biomasa y biocombustibles, y buenas redes. · Posición líder en producción de electricidad mediante biomasa en plantas generadoras de ciclo de vapor. · La industria Europea/Nórdica es el principal productor y exportador de equipos y servicios para la producción de bioelectricidad. · La legislación de la UE favorece la producción de energía a partir de biomasa. · Hay sistemas de apoyo nacional en varios países. 	<ul style="list-style-type: none"> · Se pone demasiado énfasis en tecnologías innovadoras y poco en el desarrollo de tecnologías más sólidas, sencillas y efectivas. · No hay redes o vinculaciones fuertes entre la universidad y los reguladores. · En Europa hay preocupación por los cultivos modificados genéticamente. · Disponibilidad de tierras. · Falta de políticas integradas entre el sector agrario y el de la energía en la UE y en los Estados miembros. · No hay coordinación entre los distintos sistemas de apoyo nacional y hay poco intercambio de experiencias.
Energía fotovoltaica	<ul style="list-style-type: none"> · Buena base científica en energía fotovoltaica. · Aumento del mercado europeo para la energía fotovoltaica y estrategia de exportación dedicada. · Tres fabricantes europeos de obleas y fabricantes competitivos de módulos, células y componentes complementarios. · Normas y certificaciones de la UE en preparación. · Algunos Estados miembros tienen incentivos para cubrir las necesidades del mercado. · Se está estableciendo una plataforma. 	<ul style="list-style-type: none"> · El 90% de la I+D se realiza a nivel nacional y no hay una coordinación formal entre programas. · La transferencia tecnológica a la industria y los problemas de fabricación no se tratan de forma eficaz y la industria de la energía fotovoltaica no puede competir con Japón. En la mayoría de los Estados miembros faltan sistemas de incentivos para la energía fotovoltaica.

Puntos fuertes

- Hay una buena capacidad de investigación básica en química, ciencia de materiales y sistemas energéticos.
- Se está realizando un esfuerzo de I+D a largo plazo en pilas de combustible e hidrógeno en la UE, y hay buenas redes en el campo de las pilas de combustible.
- Hay una demostración en marcha bien definida en el sector del transporte (CUTE/ECTOS).
- Se han lanzado programas piloto de 2.800 millones de euros en el campo del hidrógeno y una instalación de producción de hidrógeno a gran escala basada en combustibles fósiles con captura y almacenamiento de CO₂.
- La industria europea es líder en conversión de vapor.
- Hay una sólida posición en el campo de SOFC para aplicaciones fijas.
- Hay una plataforma tecnológica bien establecida con una agenda de investigación estratégica y una estrategia de implementación, así como el compromiso de los Estados miembros de crear un Espacio de Investigación Europeo.
- Proyecto Hyways y hojas de ruta en marcha en 6 Estados miembros.
- En Alemania, tarifa que retribuye las energías renovables para pilas de combustible fijas.
- Hay medidas políticas diversificadas para cubrir las necesidades del mercado y para introducir avances tecnológicos.
- La Comisión de la UE y varios Estados miembros están representados en IPHE.

- En la UE y en algunos Estados miembros hay una sólida I+D básica en energía nuclear.
- La construcción de un nuevo reactor nuclear (EPR) más seguro en Finlandia y en Francia otorga a la industria europea una ventaja competitiva en los nuevos mercados de China y en otros países de rápido crecimiento económico.
- Legislación de la UE propuesta para la seguridad nuclear y la gestión de residuos de larga vida en el Tratado Euratom.

Puntos débiles

- Los fabricantes de PEMFC no son competitivos en el mercado de automoción en comparación con las empresas norteamericanas.
- Entre los fabricantes de automóviles europeos hay relativamente poco compromiso con el desarrollo de vehículos basados en pilas de combustible, salvo en el caso de Daimler-Chrysler, si se compara con Estados Unidos y Japón.
- No hay hoja de ruta europea para la economía del hidrógeno, incluidas las tecnologías de transición fundamentales, las tecnologías competidoras, etc.

- Preocupación pública y política por la energía nuclear.
- Las políticas sobre energía nuclear de los distintos Estados miembros son muy distintas.
- Los Estados miembros y la UE están sujetos a dos foros internacionales de I+D sobre fisión en competencia.

Puntos fuertes

Puntos débiles

Combustibles fósiles no contaminantes

- El proyecto de almacenamiento Sleipner en el Mar del Norte es de talla mundial.
 - Cooperación internacional en el proyecto Weyburn de control de CO₂ en Canadá.
 - Buenos centros de prestigio y redes de excelencia.
 - Se está estableciendo una plataforma tecnológica.
 - Hay buenos marcos políticos para la cogeneración en varios países.
 - Legislación de la UE sobre cogeneración y comercio de derechos de emisión de CO₂, etc.
 - Lanzamiento del proyecto Hypogen con un presupuesto de 1.300 millones de euros.
 - La Comisión de la UE y varios Estados miembros están representados en CSLF y IPHE.
- Baja prioridad de las tecnologías de combustibles fósiles a corto y medio plazo en el sexto programa marco.
 - I+D fragmentada.
 - En el Sexto Programa Marco la I+D en turbinas de gas no desemboca en proyectos piloto (como ocurre en Estados Unidos).
 - No hay fabricantes de tecnologías de captura.
 - Aún no se han aclarado la financiación de Hypogen y la tecnología seleccionada.
 - Hay algunas incertidumbres respecto a los márgenes de emisión y los impuestos del CO₂.
 - No hay un marco legal para el almacenamiento de CO₂.

Fusión nuclear

- El Espacio Europeo de Investigación ERAnet sobre fusión nuclear, que dirige la I+D internacional, está bien establecido y funciona bien.
 - Derivados de la I+D en fusión.
 - Tratado Euratom de larga duración.
- Investigación a muy largo plazo que consume muchos recursos.

Oportunidades

Peligros

- Aprovechar plenamente las diversas medidas orientadas a cubrir las necesidades del mercado y a introducir avances tecnológicos, establecidas para el rendimiento energético y nuevas tecnologías energéticas sostenibles y menos contaminantes como la biomasa y los biocombustibles, hidrógeno y pilas de combustible, energía fotovoltaica y otras.
 - Fomentar la coordinación y la cooperación entre las administraciones de la UE.
 - Crear Espacios de Investigación Europeos completos en tecnologías energéticas clave con los fondos necesario y el compromiso de la industria y los Estados miembros.
 - Desarrollar sinergias entre las iniciativas de los Estados miembros.
 - Reforzar la I+D internacional y las relaciones comerciales con los mercados emergentes para las nuevas tecnologías energéticas.
- Fragmentación continuada de la I+D sobre energía de la UE.
 - Preocupación pública sobre algunas tecnologías (organismos modificados genéticamente, energía nuclear).
 - Competencia de Estados Unidos y Japón, así como de los países de ingresos bajos y rápido crecimiento económico como China, India etc.

CAPÍTULO 3

Análisis de puntos fuertes, puntos débiles, oportunidades y peligros de los retos socioeconómicos y la base científica y tecnológica europea para la energía

)

TABLA 9 *Resumen de puntos fuertes, puntos débiles, oportunidades y peligros.*

	<i>Puntos fuertes</i>	<i>Puntos débiles</i>
<i>Base científica y tecnológica</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Políticas diversificadas, con medidas para cubrir las necesidades del mercado e introducir avances tecnológicos. • Objetivos ambiciosos para fuentes de energía renovable, electricidad basada en energías renovables, biocombustibles, reducción de las emisiones de CO₂ y rendimiento energético. • Inversiones en infraestructura para mantener y respaldar un mercado del gas y la electricidad liberalizado. • La inversión en I+D sobre energía nuclear se ha mantenido relativamente estable en la UE y en los Estados miembros. • Ha aumentado la cuota de I+D en energías renovables. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aunque ambiciosas, las metas de la UE no son suficientemente radicales teniendo en cuenta los retos del abastecimiento energético y las emisiones de CO₂. • Problemas de implementación. • No hay mecanismos para forzar el cumplimiento, salvo medidas “comunes y de cooperación”. • Se han reducido los fondos del programa marco para I+D en el campo de la energía. • Se han reducido los fondos de la UE-15 para la I+D en el campo de la energía, muy inferiores a los de Japón e inferiores a los de Estados Unidos (1974-2002). • Hay concienciación política sobre la importancia de la I+D en rendimiento energético, pero en la práctica se le da una prioridad relativamente baja en comparación con la que se le da en Estados Unidos. • La I+D sobre energías renovables no está distribuida uniformemente y está poco coordinada. • Hay una distinción marcada entre los nuevos Estados Miembros y la UE-15 en términos de programas dedicados a I+D en energía nuclear.
<i>Retos socioeconómicos</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Ambición política de crear una concienciación política en el área de la investigación europea sobre la necesidad de abrir los programas de I+D nacionales a otros Estados miembros. • Se han establecido (o se están estableciendo) plataformas tecnológicas en 3-4 campos importantes de I+D en el Espacio de investigación europeo sobre fusión. • Hay una sólida base científica en química, ciencia de materiales, sistemas energéticos, energías renovables, pilas de combustible, fisión nuclear y fusión nuclear. • Hay proyectos piloto ambiciosos, como CUTE, HyCom, Hypogen, almacenamiento Sleipner, JET, etc. • Industria líder en bioelectricidad, conversión de vapor, componentes de tecnología fotovoltaica, reactores EPR • Representación en organizaciones internacionales (IPHE, CSLF, etc.) 	<ul style="list-style-type: none"> • La mayor parte de la I+D se realiza a nivel de los Estados miembros y no está coordinada. • Los recursos asignados a la I+D sobre energía son insuficientes para preparar a Europa para los retos a largo plazo. • La transferencia tecnológica de la ciencia a la industria no se trata de forma adecuada (en los campos de biomasa, energía fotovoltaica, combustibles fósiles no contaminantes, pilas de combustible). • No hay políticas coordinadas para cubrir las necesidades del mercado con nuevas tecnologías energéticas. • No hay un mecanismo de financiación claro para nuevos proyectos piloto ambiciosos. • Las políticas sobre energía nuclear de los distintos Estados miembros son distintas.

Oportunidades

- La UE tiene la posibilidad de utilizar plenamente diversas medidas para cubrir las necesidades del mercado e introducir avances tecnológicos a fin de afrontar la seguridad del abastecimiento, el cambio climático y los problemas medioambientales.

Peligros

- Las inversiones en energía se realizan a largo plazo y la UE-25 podría reaccionar con lentitud o de forma poco apropiada ante los desafíos relacionados con el aumento de la dependencia en las importaciones de combustibles fósiles, el cambio climático, los problemas medioambientales y el crecimiento económico.

- Aprovechar plenamente las diversas medidas para cubrir las necesidades del mercado y para introducir avances tecnológicos, establecidas para el rendimiento energético y las nuevas tecnologías energéticas sostenibles y menos contaminantes.
- Fomentar la coordinación y la cooperación entre las administraciones de la UE.
- Crear Espacios de Investigación Europeos completos en tecnologías energéticas clave con los fondos necesario y el compromiso de la industria y los Estados miembros.
- Desarrollar sinergias entre las iniciativas de los Estados miembros.
- Reforzar la I+D internacional y las relaciones comerciales con los mercados emergentes para las nuevas tecnologías energéticas.

- Fragmentación continuada de la I+D sobre energía de la UE.
- Preocupación pública sobre algunas tecnologías (organismos modificados genéticamente, energía nuclear).
- Competencia de Estados Unidos y Japón, así como de los países de ingresos bajos y rápido crecimiento económico como China, India, etc.

La disponibilidad de energía es un requisito indispensable para el crecimiento económico y el bienestar. El aumento del consumo de energía, la liberalización de los mercados energéticos, la seguridad del abastecimiento energético y la necesidad de tomar medidas para combatir el cambio climático están generando nuevos desafíos para el sector energético. El objetivo estratégico de la investigación en el campo de la energía de la UE es desarrollar sistemas y servicios energéticos sostenibles para Europa.

Teniendo en cuenta las tendencias actuales, las perspectivas para la situación energética europea son de aumento de consumo, aumento del uso de combustibles fósiles y duplicación de las importaciones de combustibles fósiles. La respuesta política comunitaria a esta situación es variada y combina medidas orientadas a cubrir las necesidades del mercado con medidas para introducir avances tecnológicos. Se han establecido metas ambiciosas para las energías renovables, la electricidad generada a partir de energías renovables, los biocombustibles, el rendimiento energético, etc. Pero incluso estas metas ambiciosas podrían ser insuficientes para afrontar los importantes desafíos que nos esperan. Además, hay problemas importantes para la puesta en práctica a causa de la falta de mecanismos de imposición. Otra consecuencia es el hecho de que las medidas para cubrir las necesidades del mercado no están coordinadas entre los Estados miembros.

Los fondos para I+D sobre energía se han reducido en la UE y también en los Estados miembros a lo largo de los años. Las prioridades de los fondos reflejan la historia y se aprecia que a lo largo de los años, la financiación de la energía nuclear ha disminuido y que actualmente se asignan más fondos a la investigación de energía no nuclear. Hay diferencias importantes entre los Estados miembros que reflejan las políticas energéticas y la dependencia de los resultados en la trayectoria de la I+D sobre energía. En particular, hay una distinción marcada entre los nuevos Estados miembros y los antiguos en el campo de los programas dedicados de I+D sobre energía no nuclear, y no se deben subestimar los retos implicados en establecer programas de I+D sobre energía en los nuevos Estados miembros. La I+D sobre rendimiento energético atrae una considerable concienciación política, pero en la práctica este campo es bastante difuso.

Es indudablemente positivo que haya un sólido compromiso político para crear un Espacio de Investigación Europeo sobre Energía (EERA) y se han dado pasos importantes para preparar el camino. Estos pasos incluyen (además de los instrumentos de los programas marco) los esfuerzos para establecer espacios ERAnet con el fin de crear programas nacionales y regionales de I+D en otros Estados miembros, pero también el establecimiento de plataformas tecnológicas con tareas fundamentales para realizar investigación estratégica y de agendas de implementación. No obstante, aún hay que evaluar el impacto de estas medidas.

Hay una sólida base europea en las áreas tecnológicas de ciencia básica relevantes para las tecnologías energéticas clave y, en algunos campos, se han establecido ambiciosos experimentos y proyectos piloto, que aumentan el interés por los participantes europeos para la colaboración internacional.

La industria europea es líder en algunos sectores pero, en general, la transferencia tecnológica de la ciencia a la industria no es satisfactoria y, como mínimo, no puede competir con la de Estados Unidos y otros países de la OCDE.

Por último, la dedicación de I+D sobre energía y los recursos asociados no son suficientes para afrontar los retos que nos esperan. Europa tiene cierta libertad para utilizar medidas destinadas a introducir avances tecnológicos y cubrir las necesidades del mercado. En particular, hay buenas previsiones para campos de investigación coherentes, caracterizados por tener fondos suficientes y compromiso de la industria y los gobiernos al combinar I+D sobre rendimiento energético y nuevas tecnologías energéticas sostenibles y menos contaminantes.

En conclusión, es indudable que para crear un Espacio de Investigación Europeo sobre la Energía (EERA) son fundamentales las recomendaciones realizadas por el Grupo de trabajo del Espacio de Investigación Europeo sobre la Energía (ERAWOG) (Comisión Europea, 2005g):

- Compromiso político para resolver los problemas medioambientales, económicos y sociales que debe abordar la investigación en el campo de la energía.
- Compromiso a largo plazo de proporcionar recursos para I+D.
- Compromiso de todas las partes interesadas para establecer agendas estratégicas y estrategias de implementación.
- Acceso a fondos públicos para proyectos costosos, de larga duración y de riesgo elevado, pero también a capital riesgo adicional del sector privado.
- Disponibilidad de instalaciones de talla mundial para la investigación en el campo de la energía a nivel europeo.
- Agrupación de recursos intelectuales de investigación en el campo de la energía.
- Capacidad de realizar la investigación interdisciplinaria necesaria, especialmente en ciencia de materiales, básica para gran parte de la investigación en materia de energía.

CAPÍTULO 4

Previsiones

Con vistas al futuro, es importante lograr que los principales problemas, las dudas y las incertidumbres relativas a la situación energética futura sean transparentes:

Recursos energéticos:

- ¿Cuánto combustible fósil (petróleo, gas, carbón y fuentes no convencionales como arena impregnada de brea y pizarra bituminosa) podrá recuperarse en el futuro y a qué coste?
- ¿Cuáles son las previsiones de uso de fuentes de energía nuclear y fuentes de energía renovable que no emiten carbono, así como de combustibles fósiles con captura y almacenamiento de carbono?

Impacto medioambiental y otros riesgos del consumo de energía:

- ¿Como afecta el consumo de energía al medio ambiente, a la salud del ser humano y al clima?
- ¿Qué nivel de contaminación es aceptable políticamente?
- ¿Cómo cambiarán las percepciones sobre el impacto medioambiental del consumo de energía en el futuro y qué políticas se pondrán en práctica?

Desarrollo económico y cambios sociales y de estilo de vida:

- ¿Cómo se desarrollará la economía mundial?
- ¿Cuánto aumentará la demanda de servicios energéticos?
- ¿Cómo se distribuirán la extracción y el uso de recursos a escala mundial?

Previsiones de cambio tecnológico:

- ¿Cuánto mejorarán las tecnologías actuales y qué nuevas tecnologías podrían estar disponibles en el futuro? ¿A qué coste?
- ¿Cómo afectarán los cambios tecnológicos al coste, los niveles de servicios energéticos, el rendimiento energético, las opciones de combustibles y el impacto medioambiental relacionado de la producción y los usos finales de energía?
- ¿Cómo será el impacto de las nuevas tecnologías en la arquitectura de los sistemas energéticos?

Previsiones de la seguridad del abastecimiento de energía y la independencia energética nacional:

- ¿Pueden los países y las regiones que ahora dependen de las importaciones de energía aumentar su independencia energética nacional mediante el uso de recursos energéticos internos?

Previsiones para un acceso más equitativo a los recursos energéticos y una distribución más uniforme de los servicios energéticos:

- ¿Cuáles son las previsiones de crecimiento económico en los países en desarrollo y cómo afectarán al comercio energético, a los patrones de consumo, a los precios de la energía y al impacto medioambiental?

Las nuevas tecnologías innovadoras serán un factor decisivo para reducir la dependencia del petróleo y el gas a la vez que se aumenta la capacidad de cumplir los compromisos internacionales de reducir la carga medioambiental de los sectores de la energía y el transporte. En este sentido, las tecnologías emergentes clave son tecnologías eficaces de uso final así como nuevas tecnologías eficaces para la producción, distribución y almacenamiento de energía.

En la previsión energética realizada en diversos escenarios se utilizan algunos de los principales problemas y dudas para desarrollar distintos escenarios energéticos en los que se pueden ensayar acciones y hojas de ruta de I+D. A continuación se muestran ejemplos de previsiones energéticas para Europa (que implican un proceso de previsión con la participación de varias partes interesadas y con una visión a largo plazo):

El estudio **Energy Foresight – Sweden in Europe (Previsión energética: Suecia en Europa)** fue iniciado por la Real Academia Sueca de Ingeniería (IVA) en 2002 y en ella han participado más de 100 expertos que han trabajado durante 2002 en cuatro grupos de trabajo centrados en sistemas, usuarios, estructuras y problemas a largo plazo (Real Academia Sueca, 2003). Algunos puntos de partida:

- La perspectiva temporal era de 20 años, con algunas previsiones de 50 años.
- Los sectores del transporte, la industria y la construcción eran tres partes integradas.
- Las tecnologías genéricas clave importantes para la energía eran: tecnologías de la información, nueva biología y tecnología de materiales.
- Se consideraron distintas visiones de los cambios climáticos, incluidos los escenarios “El clima en primer plano” y “El clima, un factor más”.

UE 2050 – El clima en primer plano

- La electricidad basada en energía solar (por ejemplo, eólica, fotovoltaica, biocombustibles) y pilas de combustible accionadas por hidrógeno tienen una cuota de mercado considerable y en aumento.
- Varios países han sustituido la energía nuclear después de 60 años de actividad. Una nueva generación de centrales nucleares ofrece mayor seguridad y un puente a una sociedad basada en la energía solar y del hidrógeno.
- El gas natural con captura y almacenamiento de CO₂ es el combustible fósil predominante para la producción de electricidad.
- La mayoría de los vehículos tienen pilas de combustible que utilizan hidrógeno producido a partir de energías renovables y de gas natural con captura de carbono de CO₂.
- La calefacción y la refrigeración se basan en gas natural y electricidad.

UE 2050 – El clima, un factor más

- La electricidad basada en energía solar tiene una cuota de mercado limitada pero en aumento.
- Las centrales nucleares actuales se han desactivado después de 40 años en funcionamiento.
- Se produce con gas natural y plantas generadoras de alto rendimiento calentadas por carbón con captura de CO₂.
- Muchos vehículos utilizan combustibles fósiles con un gran flujo del gas natural. En los centros de las áreas urbanas sólo se permite la circulación de vehículos sin emisiones.
- La calefacción y la refrigeración se basan en gas natural y electricidad.

Además de los dos escenarios climáticos, se desarrollaron cuatro escenarios centrados en distintos niveles de desarrollo de la UE y en distintos niveles de penetración de las tecnologías de la información. Basándose en estos escenarios plausibles y distintos, se seleccionaron varios problemas prioritarios:

1. Necesidades energéticas: nivel y composición, como:

- Edificios de mayor rendimiento energético pero con más espacios que calentar o refrigerar
- Soluciones integradas y mejor logística, pero mayores necesidades de transporte
- Procesos industriales de mayor rendimiento energético, pero con aumento anual de población

2. Sustitutos de la energía nuclear:

- Gas natural (una alternativa)
- Otras alternativas son nuevas fuentes de energía nuclear y energías renovables
- La energía basada en combustibles fósiles puede adaptarse al medio ambiente
- Se establece un puente a una sociedad basada en la energía solar y el hidrógeno mediante gas natural y energía nuclear

3. Reducción del uso de combustibles en el sector del transporte, como:

- Nuevas tecnologías de vehículos y nuevos combustibles
- Biocombustibles

El estudio **Energy for Tomorrow. Powering the 21st Century** (Energía para el futuro. Impulso para el siglo XXI) se inició en el Ministerio de Comercio e Industria Británico (*British Department of Trade & Industry*) en el contexto del Programa de previsión (www.foresight.gov.uk/; Department of Trade and Industry, 2001). Fue llevado a cabo por el grupo de trabajo sobre futuros de la energía con coordinadores de previsión regional y otros participantes. Como en el caso del estudio sueco, se eligió un enfoque de diversos escenarios para explorar distintos futuros posibles (para 2040) con el fin de comprender las implicaciones de los distintos escenarios y ver más allá de las preocupaciones actuales.

Los cuatro escenarios eran:

- Mercados mundiales: un mundo definido por el énfasis en el consumo privado y por sistemas de comercio mundial muy desarrollados e integrados.
- Empresa provincial: un mundo de valores consumistas y a corto plazo acoplados con sistemas de formulación de políticas que definen las preocupaciones y las prioridades nacionales y regionales.
- Sostenibilidad global: un mundo en el que los valores ecológicos y sociales se tienen en cuenta en las decisiones económicas, y en el que una fuerte acción colectiva afronta los problemas a través de instituciones a escala mundial.

- Gobierno local: un mundo en el que una forma de gobierno nacional y local más fuerte permite que los valores sociales y ecológicos desempeñen un papel importante en el desarrollo de los mercados y el comportamiento.

Los retos que surgieron en estos escenarios fueron el desarrollo sostenible, la I+D y la educación y formación, por lo que se abordaron los siguientes temas y recomendaciones clave para I+D:

- Debe iniciarse inmediatamente la I+D a largo plazo que permita determinar cómo puede pasar el Reino Unido de una infraestructura basada en pocas plantas de gran tamaño a otra infraestructura con muchas plantas generadoras más pequeñas, dispersas geográficamente.
- Hay que iniciar y coordinar la I+D que garantice que el Reino Unido puede gestionar el cambio de los combustibles de transporte basados en el petróleo. Esto incluye asegurar un entorno regulador adecuado y permitir al Reino Unido participar plenamente en la adopción de decisiones internacional.
- Se deben emprender una revisión completa del tema de la energía nuclear.

Otros **estudios de posibles futuros de la energía** son:

- Nordic Hydrogen Energy Foresight (www.h2foresight.info)
- The next 50 years: Four European energy futures (Bruggink, 2005)
- EurEnDel – European Energy Delphi (www.eurendel.net)
- Electricity Technology Roadmap, USA (www.epri.com)

CAPÍTULO 5

Referencias bibliográficas

Bruggink, J.J.C. The next 50 years: Four European energy futures. Energy research Centre of the Netherlands. Mayo de 2005. Disponible en www.ecn.nl

Danish Energy Agency. Technology data for electricity and heat generating plants. Marzo de 2004. Department of Trade and Industry. Energy for Tomorrow. Powering the 21st Century. Energy Futures Task Group. DTI. 2001.

EPRI. Electricity Technology roadmap. Meeting the Critical Challenges of the 21st Century.

2003 Summary and Synthesis. Product Number 1010929. 2003. ESTO (European Science & Technology Observatory). Hycom Pre-feasibility Study. Final Report prepared by Risø National Laboratory (DK), Fraunhofer ISI (D), ENEA (I). EUR 21512. 2005. Disponible en www.jrc.nl

ESTO. (European Science & Technology Observatory). Hycom Pre-feasibility Study. Final Report prepared by Risø National Laboratory (DK), Fraunhofer ISI (D), ENEA (I). EURxxxx. 2005. Disponible en www.jrc.nl

Energy Information Administration. International Energy Outlook 2004. Energy Information Administration, Office of Integrated Analysis and Forecasting, U.S. Department of Energy, Washington, DC 20585. 2004.

EuroObserver, 2004. 2004 European Barometer of Renewable Energies. 2004.

European Commission. Green Paper – towards a European strategy for the security of energy supply. 2001a.

European Commission. White Paper – European transport policy for 2010: time to decide. 2001b.

European Commission. World energy, technology and climate policy outlook WETO 2030. EUR 20366. 2003a.

European Commission. European Energy and Transport Trends to 2030. 2003b.

European Commission. Communication from the Commission. A European Initiative for Growth. Investing in Networks and Knowledge for Growth and Jobs. Final Report to the European council. COM(2003) 690 final. 2003c.

European Commission. Energy and Transport in Figures. 2004a.

European Commission. Electricity from Renewable Energy Sources. 2004b.

European Commission. The Share of Renewable Energy in the EU Country Profiles – Overview of Renewable Energy Sources in the Enlarged European Union COM(2004) 366 final. 2004c.

European Commission. Trans-European Energy Networks – TEN-E Priority Projects. 2004d.

European Commission. The Share of Renewable Energy in the EU. SEC(2004) 547. 2004e.

European Commission. Renewable energy to take off in Europe?. MEMO. 2004f.

European Commission. Technology Platforms from Definition to Implementation of a Common Research Agenda. EUR 21265. 21 September 2004g.

European Commission. European research spending for renewable energy sources. EUR 21346. 2004h.

European Commission. European CO2 Capture and Storage Projects. EUR 21240. 2004h.

European Commission. Energy R&D Statistics in the European Research Area. EUR 21453, 2005a.

European Commission. Proposal for a Decision of the European Parliament and of the Council On the European Community 7th Research Framework programme 2007-2013 and a Decision of the Council On the EURATOM 7th Framework Programme 2007-2011. Building the Europe of Knowledge. 2005b.

European Commission. Key Tasks for Future European Energy R&D. DG Research. EUR 21352. 2005c.

European Commission. Annual Report on the Implementation of the Gas and Electricity Internal Market. COM(2004) 863 final. 2005d.

European Commission. Assessing the impact of energy research. EUR 21354. 2005e.

European Commission. A Vision for Photovoltaic Technology. EUR 21242. 2005e.

European Commission. Towards the European Energy Research Area – Recommendations by the ERA Working Group of the Advisory Group on Energy. EUR 21353, 2005g.

European Commission. Non-Nuclear Energy Research in Europe – a comparative study. 2005h.

European Environment Agency. Greenhouse gas emission trends and projections in Europe 2004 – Progress by the EU and its Member States towards achieving their Kyoto Protocol targets. 2004.

European Wind Energy Association. Wind Energy – the facts – an analysis of wind energy in the EU-25. 2004a.

European Wind Energy Association. Wind force 12. 2004b.

Exxon Mobile. A Report on Energy Trends, Greenhouse Gas Emissions and Alternative Energy. 2004.

European Hydrogen and Fuel Cell Technology Platform. Strategic Overview. Trabajo en curso, 12 de marzo de 2005.

European Research Advisory Board. Report on European Technology Platforms. EURAB 04.010-final. Enero de 2004.

Halsnæs, K. & Christensen, J. Future energy Perspectives. En Hans Larsen & Leif Sønnderberg Petersen (eds.) Risø Energy Report 1. New and emerging Technologies – options for the future. Risø-R-1351(EN). 2002. Disponible en www.risoe.dk.

Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC Special report emissions scenarios summary for policy makers. Intergovernmental Panel on Climate Change. 2000.

International Energy Agency. Energy technologies for the 21st century. OECD 1997.

International Energy Agency. Energy Technology and Climate Change. A Call to Action. OECD, 2000.

International Energy Agency. World Energy Investment Outlook. 2003 Insights.

International Energy Agency. Creating Markets for Energy Technologies. OECD, 2003.

International Energy Agency. World Energy Outlook 2004.

JITEC Technology & Industry Assessment. Study on Priority Energy Technologies: SWOT Analysis – Draft Final Report. Diciembre de 2004. El informe final ha sido publicado por la Comisión de la UE en 2005: Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats in Energy Research. 2005.

Karlsson, K. Energy Efficiency. En Risø Energy Report 4. De próxima publicación.

Larsen, H. in Larsen, H. & Sønderberg Petersen, L. (eds.). Risø Energy Report 1. New and emerging Technologies – options for the future. Disponible en www.risoe.dk.

Larsen, H.; Kossmann, J.; Sønderberg Petersen, L. (eds.). Risø Energy Report 2. New and emerging bioenergy technologies. Risø-R-1430(EN). 2003. Disponible en www.risoe.dk.

Larsen, Hans; Feidenhans'l, Robert; Søndergaard Petersen, Leif (eds.). Risø Energy Report 3. Hydrogen and its competitors. Risø-R-1469(EN). 2004. Disponible en www.risoe.dk.

Lauritzen, B., Majborn, B. Nonbøl, E. Ølgaard, PL. (eds.). Kernekraft og nuclear sikkerhed Risø-R-1502(DA). 2004. Disponible en www.risoe.dk.

Longwell, H.J. The future of the oil and gas industry: Past approaches, new challenges. World Energy 5(3). 2002.

MIT Nuclear Energy Study Advisory Committee. The Future of Nuclear Power. An interdisciplinary MIT Study. MIT. 2003.

Oerstrom Moeller, J. De globale udfordringer. En danés. Teknologirådets rapport 2005/1

Schneider, M & Froggatt, A. The World Nuclear Industry Status Report 2004. Bruselas. Encargado por el grupo Greens-EFA en el Parlamento Europeo.

Shell. Global Scenarios 1998-2020. 2004.

The Royal Swedish Academy (IVA). Energy foresight – Sweden in Europe. 2003.

Thompson Scientific Ltd. White paper. The Hydrogen Revolution. An evaluation of patent trends in the fuel cell industry. Octubre de 2004.

Wehnert, T.; Oniszk-Poplawska, A.; Ninni, A.; Velte, D.; Joergensen, BH. Eurendel Project. Final Report. Noviembre de 2004. Disponible en www.eurendel.net.

Wietschel, Martin. Opening doors to fuel cell commercialisation – Patents in fuel cells and hydrogen production. En Fuel Cell today. www.fuelcelltoday.com 4 de agosto de 2004.

Consejo Mundial de la Energía. Energy Technologies for the Twenty-First Century. Agosto de 2001.

Consejo Mundial de la Energía. Energy Technologies for the Twenty-First Century. Julio de 2004.

APÉNDICE 1

Políticas y programas de organizaciones internacionales

En el campo de la política energética y las tecnologías energéticas existen muchos organismos y consejos internacionales de colaboración a nivel mundial. Algunas de las principales organizaciones internacionales son:

Agencia Internacional de la Energía (AIE):

La Agencia Internacional de la Energía (AIE) se fundó en noviembre de 1974 en respuesta a la crisis del petróleo como un organismo intergubernamental autónomo dentro de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE) para asegurar el abastecimiento energético de las naciones industrializadas (www.iea.org).

Bajo el acuerdo del Programa Internacional de la Energía (IEP, *International Energy Program*), los países miembros de la AIE se comprometen a crear reservas de emergencia de petróleo equivalentes a 90 días de importaciones netas de petróleo y a adoptar medidas de cooperación efectivas para afrontar emergencias de abastecimiento de petróleo. A largo plazo, los miembros tratarán de reducir su vulnerabilidad ante interrupciones del abastecimiento. Entre los medios para alcanzar este objetivo están el aumento de rendimiento energético, la conservación y el desarrollo de la energía basada en el carbón y el gas natural, la energía nuclear y las fuentes de energía renovable, con especial interés en la tecnología.

En 1993, los miembros de la AIE adoptaron objetivos compartidos que destacan la importancia de garantizar la contribución del sector energético a un desarrollo económico sostenible, el bienestar social y la protección del medio ambiente. Además, la formulación de políticas energéticas debe fomentar la liberalización y apertura de los mercados. La AIE tiene su sede en París y actúa como secretaría permanente de los países miembros, supervisa los mercados energéticos, organiza la repuesta a las situaciones de emergencia y revisa constantemente las políticas y las prácticas energéticas y medioambientales para fomentar el uso de las prácticas recomendadas en los países miembros y en otros países. La AIE también fomenta la formulación de políticas energéticas racionales en un contexto global mediante relaciones de colaboración y diálogo con países que son miembros de la organización, incluidos los principales productores y consumidores de energía, y mantiene un sistema de información permanente sobre el mercado energético internacional.

Los 25 miembros son: Australia, Austria, Bélgica, Canadá, República Checa, Dinamarca, Finlandia, Francia, Alemania, Grecia, Hungría, Irlanda, Italia, Japón, República de Corea, Luxemburgo, Holanda, Noruega, Portugal, España, Suecia, Suiza, Turquía, el Reino Unido y Estados Unidos.

Organismo Internacional de la Energía Atómica (OIEA):

El OIEA es el centro mundial de la cooperación en el campo nuclear (www.iaea.org). Se fundó como la organización de “Átomos para la paz” en 1957 dentro de la familia de Naciones Unidas. El Organismo trabaja con sus Estados miembros y varios socios de todo el mundo para fomentar las tecnologías nucleares seguras, garantizadas y pacíficas. En 2004, el OIEA tenía 124 Estados miembros y había pactado acuerdos de seguridad con 148 países.

A medida que aumenta el número de países que dominan la tecnología nuclear, aumenta la preocupación de que tarde o temprano puedan llegar a adquirir armamento nuclear. Ha crecido el apoyo a los compromisos internacionales legalmente vinculantes y los acuerdos de seguridad integral para detener la proliferación de armamento nuclear y trabajar para la eliminación de las armas nucleares. En 1968 se aprobó el Tratado sobre la no proliferación de las armas nucleares (NPT). En esencia, limita el número de estados con armas nucleares declaradas a cinco (Estados Unidos, Rusia, Reino Unido, Francia y China).

En 1991, el descubrimiento del programa clandestino de armamento nuclear iraquí sembró dudas sobre la idoneidad de los acuerdos de seguridad del OIEA, pero también propició nuevos pasos para reforzarlos. Actualmente hay más estados con programas de armamento nuclear, como Pakistán, India y, probablemente, Israel. Libia intentó desarrollar un programa de armamento nuclear, pero no llegó a conseguirlo y en 2003 proporcionó al OIEA toda la información y acceso a sus instalaciones. En la actualidad, la preocupación internacional está centrada en Corea del Norte e Irán.

Proyecto Internacional sobre Reactores Nucleares y Ciclos de Combustible Nuclear Innovadores (INPRO):

En 2001, se estableció INPRO por iniciativa rusa dentro del marco del OIEA y con los siguientes Estados miembros del OIEA: Argentina, Armenia, Brasil, Bulgaria, Canadá, Chile, Francia, Holanda, India, Indonesia, China, Pakistán, Rusia, Suiza, España, Sudáfrica, República de Corea, la República Checa, Turquía, Alemania y la Comisión de la UE. El objetivo era apoyar el uso seguro, sostenible, económico y contra la proliferación de la tecnología nuclear con el fin de satisfacer las necesidades energéticas del siglo XXI. Algunos estudios de casos para la evaluación de la metodología de INPRO son: reactor CAREM-X (Argentina), reactor avanzado de agua pesada (India), reactor BN-800 (Rusia) y ciclo de combustible DUPIC (República de Corea), reactor refrigerado por sales fundidas (República Checa) y reactor de alta temperatura refrigerado por gas (China) (Lauritzen et al., 2005).

Foro Internacional del Reactor Nuclear de Cuarta Generación (GIF, Generation IV International Forum):

Por iniciativa de Estados Unidos, el GIF fue fundado en 2001 por 10 países: Argentina, Brasil, Canadá, Euratom, Francia, Japón, República de Corea, República de Sudáfrica, Suiza, el Reino Unido y Estados Unidos. GIF realiza el trabajo preparatorio para el reactor nuclear de cuarta generación, Generation IV. La tecnología de centrales nucleares ha evolucionado en tres generaciones distintas: I. prototipo, II. las plantas en funcionamiento actualmente y III. reactores avanzados. El reactor Generation IV debe comercializarse, construirse y utilizarse de forma que proporcione abastecimiento energético a un precio competitivo. Se debe considerar un uso óptimo de los recursos naturales a la vez que se abordan los problemas de la seguridad nuclear, los residuos y la resistencia a la proliferación, así como las preocupaciones por la percepción pública de los países en los que se construyan estos sistemas. Como la próxima generación de sistemas de energía nuclear abordará las áreas que hay que mejorar y tendrán un gran potencial, muchos países comparten un interés común en la I+D avanzada. Este desarrollo se beneficiará de la identificación de campos de investigación prometedores y de los esfuerzos de colaboración que deben ser explorados por el comité de investigación internacional.

Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (UNFCCC, United Nations Framework Convention on Climate Change):

La Convención sobre el Cambio Climático establece un marco global para los esfuerzos intergubernamentales destinados a abordar los retos planteados por el cambio climático. Reconoce que el sistema climático es un recurso compartido cuya estabilidad puede verse afectada por emisiones industriales y otras emisiones de dióxido de carbono u otros gases que atrapan el calor (www.unfccc.int). En virtud de la Convención los gobiernos deben:

- recopilar y compartir información sobre la emisión de gases de efecto invernadero, políticas nacionales y prácticas recomendadas
- lanzar estrategias nacionales para afrontar el problema de las emisiones de gases de efecto invernadero y adaptarse a las consecuencias esperadas proporcionando apoyo financiero y tecnológico a los países en vías de desarrollo, por ejemplo
- cooperar en la preparación para la adaptación a las consecuencias del cambio climático

El Protocolo de Kioto de 1997 comparte el objetivo, los principios y las instituciones de la Convención, pero la refuerza considerablemente la Convención comprometiéndola a las partes especificadas en el Anexo I a objetivos individuales legalmente vinculantes para limitar o reducir sus emisiones de gases de efecto

invernadero. Sin embargo, sólo las partes de la convención que también son partes del Protocolo (porque lo han ratificado, aceptado, aprobado o están de acuerdo con el mismo), estarán obligadas a cumplir los compromisos del Protocolo. Los objetivos individuales para las partes especificadas en el Anexo I se indican en el Anexo B del Protocolo de Kioto. Se suman a un corte total en las emisiones de gases de efecto invernadero del 5% como mínimo con respecto a los niveles de 1990 durante el período de compromiso 2008-2012. El Protocolo ha entrado en vigor con la ratificación rusa de noviembre de 2004.

Foro de Liderazgo para la Retención del Carbono (CSLF, Carbon Sequestration Leadership Forum):

El Foro de Liderazgo para la Retención del Carbono es una iniciativa internacional relacionada con el cambio climático y centrada en desarrollar tecnologías más económicas y mejores para la separación y captura del dióxido de carbono, para su transporte y para el almacenamiento seguro prolongado. El propósito del CSLF es hacer que estas tecnologías estén disponibles a nivel internacional e identificar y abordar problemas más amplios relacionados con la captura y el almacenamiento de carbono. Esto podría ayudar a fomentar los entornos técnicos, políticos y reguladores para el desarrollo de esta tecnología.

Los estatutos del CSLF se firmaron en junio de 2003. Los 17 miembros son Australia, Brasil, Canadá, China, Colombia, Francia, Alemania, India, Italia, Japón, Méjico, Noruega, Rusia, Sudáfrica, el Reino Unido, Estados Unidos y la Comisión Europea. Los estatutos, que permanecerán en vigor durante 10 años, establecen las líneas generales de la cooperación con el fin de facilitar el desarrollo de técnicas económicas para la captura y el almacenamiento seguro por tiempo prolongado del dióxido de carbono (CO₂) y hacer que estas tecnologías estén disponibles para la comunidad internacional. Aunque hay varios proyectos internacionales a gran escala de retención del CO₂, este primer foro sobre retención de nivel ministerial destaca la importancia otorgada a la cooperación internacional (www.cslforum.org).

Alianza Internacional para la Economía del Hidrógeno (IPHE, International Partnership for the Hydrogen Economy):

La Alianza Internacional para la Economía del Hidrógeno (IPHE) se estableció en noviembre de 2003 por iniciativa de Estados Unidos a continuación de la creación del Foro de Liderazgo sobre la Retención del Carbono (CSLF) en junio de 2003. Los miembros son: Australia, Brasil, Canadá, China, Francia, Alemania, Islandia, India, Italia, Japón, Noruega, República de Corea, Federación Rusa, el Reino Unido, Estados Unidos y la Comisión Europea.

El objetivo del IPHE es servir como mecanismo para organizar y poner en práctica actividades internacionales de investigación, desarrollo, demostración y uso comercial efectivas, eficientes y centradas, relacionadas con las tecnologías del hidrógeno y las pilas de combustible. También ofrece un foro para fomentar políticas, códigos y normas comunes que puedan acelerar una transición económica a una economía mundial del hidrógeno para mejorar el abastecimiento energético y la protección del medio ambiente. Desempeña las siguientes funciones (www.iphe.net):

- Identifica y fomenta posibles campos para la colaboración bilateral y multilateral en tecnologías del hidrógeno y las pilas de combustible.
- Analiza y recomienda prioridades de I+D, demostración y uso comercial de las tecnologías y los equipos de hidrógeno.
- Analiza y desarrolla recomendaciones de políticas sobre orientación técnica, incluidos códigos, normas y regulaciones comunes para avanzar el desarrollo tecnológico, la demostración y el uso comercial del hidrógeno y las pilas de combustible.
- Impulsa la puesta en práctica de la cooperación pública y privada a gran escala y a largo plazo para avanzar las tecnologías e infraestructuras de investigación, el desarrollo, la demostración y el uso comercial del hidrógeno y las pilas de combustible, en conformidad con las prioridades de los asociados.
- Coordina y aprovecha los recursos para avanzar la cooperación bilateral y multilateral en la investigación, desarrollo, demostración y uso comercial de las tecnologías del hidrógeno y las pilas de combustible
- Aborda oportunidades y problemas técnicos, financieros, jurídicos, de mercado, socioeconómicos, medioambientales y políticos emergentes relacionados con las tecnologías del hidrógeno y las pilas de combustible que no se están abordando actualmente en otros foros.

Consejo Mundial de la Energía (CME):

El Consejo Mundial de la Energía (CME) es la principal organización mundial dedicada a la energía. Tiene Comités de miembros en más de 90 países, incluidos la mayoría de los principales productores y consumidores de energía. Esta organización, con 81 años de antigüedad, cubre todos los tipos de energía, incluidos carbón, petróleo, gas natural, nuclear, hidráulica y renovables, está acreditada por las Naciones Unidas, es no gubernamental, no comercial y no alineada, y su sede está en Londres (www.worldenergy.org).

Misión del Consejo Mundial de la Energía: *“Fomentar el abastecimiento y el uso sostenible de energía para beneficio de las personas”*. Para ello:

- a. recopila datos sobre la investigación y emprende y fomenta la investigación sobre los medios para suministrar y utilizar energía que proporcionen a corto y a medio plazo los mayores beneficios sociales, y publica o divulga los resultados útiles de esta investigación
- b. emprende acciones como la organización de congresos, talleres y seminarios, entre otras, para facilitar el abastecimiento y el uso de la energía
- c. colabora con otras organizaciones del sector energético que tienen objetivos compatibles

Consejo Mundial de Energía Renovable (CMER):

El Consejo Mundial de Energía Renovable fue fundado en Berlín en 2001 por un grupo de organizaciones no gubernamentales del sector de las energías renovables. Está dirigido por un comité responsable con cinco miembros de cinco continentes. La secretaría actual está en la Asociación Europea para Energías Renovables (EUROSOLAR, *European Association for Renewable Energies*).

La misión del CMER es llevar las energías renovables al primer plano de la economía y el estilo de vida mundial. Pretende convencer a la opinión mundial de las posibilidades de las energías renovables a la vez que muestra los desarrollos no deseables, los peligros, los costos ocultos y los daños que provoca en la civilización el abastecimiento de energía convencional. Para alcanzar estos objetivos, el CMER se basa en la información, en un calendario de trabajo y en la interconexión.

