

# Medidas tecnológicas para mitigar el cambio climático

**Autora:** Susana Ortiz Marcos

Profesora Departamento Organización Industrial

Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ICAI).

Universidad Pontificia Comillas

## Resumen

En este artículo se presenta una panorámica del sector energético a nivel mundial, y en especial a nivel europeo y español, destacando aquellos sectores que más contribuyen con sus emisiones de CO<sub>2</sub> al cambio climático. Se analizan una gran variedad de propuestas tecnológicas incentivadas a través de directivas o planes nacionales ante el reto de reducción de emisiones planteado para el 2020. Se concluye que todas ellas son necesarias para tan ambicioso objetivo, así como particularmente relevantes aparecen todas las iniciativas concernientes a la eficiencia y ahorro energético. El fomento de la investigación y desarrollo en proyectos piloto y tecnologías ayudarán de forma importante a mitigar el cambio climático en el futuro.

*Palabras clave:* cambio climático, derechos de emisión, tecnologías bajas en carbono, ahorro y eficiencia energética.

### Abstract

The present paper presents a worldwide overview of the energy sector, stressing the focus in both, Europe and Spain. Firstly, sectors that contribute the most to climate change with their CO<sub>2</sub> emissions are highlighted. Additionally, it analyzes a wide variety of technological proposals related to the emission reduction challenge to 2020, that have been encouraged through directives or national plans. As a conclusion, it can be stated that all of these proposals are necessary for such an ambitious goal; moreover, all initiatives relating to efficiency and energy saving appear to be particularly relevant. The promotion of research and development in pilot projects and technologies will significantly help to mitigate the climate change in the future.

*Key words:* climate change, carbon credits, low carbon technologies, energy saving and efficiency technologies.

Recibido: 30.04.2012

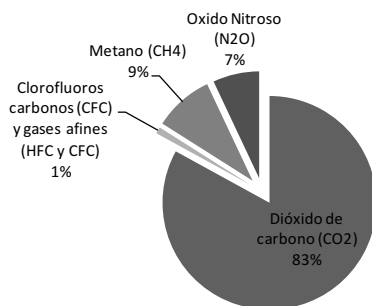
Aceptado: 14.05.2012

## I. Introducción

Uno de los problemas más importantes a los que se enfrenta la humanidad en estos momentos es el cambio climático, que está provocando y seguirá provocando a futuro y cada vez con mayor intensidad significativos cambios económicos si no se ponen los medios necesarios para evitarlo. La causa de este cambio climático es la emisión a gran escala de los gases de efecto invernadero (GEI). Aún poniendo soluciones hoy, se tardarían décadas en hacer desaparecer los GEI de la atmósfera.

En el Gráfico 1 que se muestra a continuación se presentan los principales gases de efecto invernadero y su contribución al calentamiento global.

**Gráfico 1: Contribución de los GEI al calentamiento global**



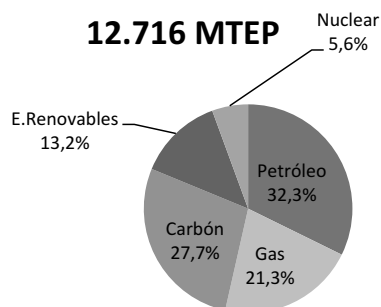
Fuente: Elaboración propia a partir datos AIE.

Según se puede apreciar, el GEI que tiene un mayor peso sobre el cambio climático es el CO<sub>2</sub>. Según el Informe especial del Grupo de Trabajo III del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), la evolución futura de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), seguirá siendo incierta y provocada fundamentalmente por el cambio demográfico, el desarrollo social y económico, y la rapidez y dirección del cambio tecnológico. Para conseguir una reducción global de las emisiones de CO<sub>2</sub> en un 50 % de aquí a 2050, es necesario reducir en un 30% las emisiones en el mundo desarrollado de aquí a 2020, y entre un 60 % y el 80 % de aquí a 2050. Dicha reducción es técnicamente factible y los beneficios se espera que superen por supuesto a los costes, pero para alcanzar este objetivo es necesario promover todas las opciones de reducción de las emisiones.

Según la última publicación del World Energy Outlook (WEO-2010) de la Agencia Internacional de la Energía (AIE), en 2010, los países emergentes, y China en particular, se han recuperado económicamente de forma más rápida que los países desarrollados, lo que ha potenciado el crecimiento desigual de sus demandas energéticas. Desde 2009 China es el primer consumidor mundial de energía y a su vez el mayor emisor de CO<sub>2</sub> desde 2008. También es líder mundial en energías renovables. Respecto a la energía eólica, China, gracias a la gran ayuda pública recibida, se ha convertido en la primera potencia del mundo instalando 16 GW eólicos durante 2010, con lo que alcanza una potencia de 41,8 GW, con un aumento del 62% respecto a la de 2009. El Gobierno prevé invertir en torno a los 735.000 millones de dólares en un plan a diez años para alcanzar un objetivo en 2020 del 15% de energías renovables sobre el total de la demanda energética. Este apoyo público facilitará la reducción de los costes de las tecnologías renovables. Teniendo en cuenta que en tan sólo diez años China ha doblado su demanda energética y que se ha convertido en el primer consumidor mundial, la evolución de las políticas públicas chinas tendrá un enorme impacto directo en los mercados mundiales de energía.

En el Gráfico 2 se muestra el consumo mundial de energía en 2010.

**Gráfico 2: Consumo mundial de energía en 2010.**



Fuente: Comisión Europea. BP Statistical Review.

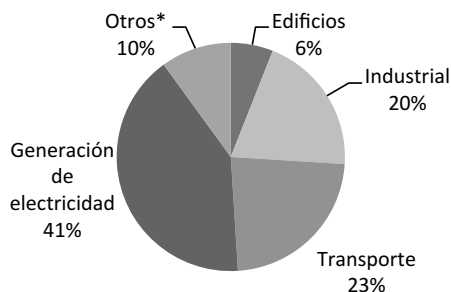
De él se desprende que el consumo mundial de carbón en 2010 (MICYT 2010) fue del 27,7% del consumo primario total. La generación eléctrica nuclear aumentó un 2%, especialmente en Europa y Asia, situándose en un 5,6%. La generación hidroeléctrica aumentó un 5,3% debido a una evolución irregular de las precipitaciones en los países desarrollados. Las energías renovables distintas de la hidroeléctrica siguen creciendo fuertemente gracias a apoyos públicos, pero su peso en el abastecimiento mundial es aún bajo (13,2%). La capacidad instalada de energía eólica creció principalmente en China (como ya se ha explicado) y Estados Unidos y la producción creció un 22,7% en 2010. La capacidad de generación con energía solar creció un 47%. En biocombustibles, la producción creció un 13,8%, especialmente en Estados Unidos y Brasil. Esta es la situación mundial actual con los datos publicados hasta este momento.

En este artículo se analizan las propuestas e iniciativas por parte de la Unión Europea a nivel tecnológico, para mitigar este cambio climático. Se da una visión de conjunto, sin ser exhaustiva, de cómo la tecnología, y en particular la eficiencia energética, ayudada y respaldada por la normativa correspondiente, es un pilar fundamental para conseguir estos objetivos, siempre que se mantengan firmes en el tiempo y no a tenor de las diferentes situaciones políticas y económicas. Para ello se analizarán los principales sectores emisores de GEI (CO<sub>2</sub> fundamentalmente) y las medidas llevadas a cabo para mitigar su efecto.

Se ha querido dar una visión general de las medidas que se están tomando a nivel tecnológico, fundamentalmente en el sector energético, pero el futuro del modelo energético conllevaría también muchos cambios a nivel de concienciación social y pautas de comportamiento.

## II. Principales sectores emisores de CO<sub>2</sub>

El que seamos capaces de conseguir todos los acuerdos surgidos a partir de la concienciación del cambio climático lleva consigo cambios importantes en la utilización de la energía en diferentes sectores, especialmente aquellos que generen mayor volumen de gases de efecto invernadero. Según el Gráfico 3 que se muestra a continuación, se puede observar que los principales sectores emisores de CO<sub>2</sub> a nivel mundial, según la Agencia Internacional de la Energía (IEA), fueron en 2009: generación de electricidad, el transporte y el industrial (entre los tres generaron el 84% de las emisiones).

**Gráfico 3: Emisiones mundiales de CO<sub>2</sub> por sectores en 2009**

Fuente: Elaboración propia a partir de International Energy Agency Statistics, 2011 edition

Como consecuencia, se están llevando a cabo políticas a nivel mundial que incentivan la puesta en marcha de tecnologías que reduzcan las emisiones en estos sectores. Estas iniciativas llevan consigo actualmente un elevado coste de inversión.

Así, en enero de 2007, la Comisión Europea presentó una comunicación denominada “Una política energética para Europa” en la que se establecían las líneas generales de la política energética comunitaria de forma que se garantice el acceso a una energía sostenible, segura y competitiva.

El objetivo que se estableció es conseguir una reducción a nivel mundial de los GEI en los países desarrollados del 30% en 2020, comprometiéndose a que en la UE esta reducción sea como mínimo del 20%. Dicha comunicación incluía un Plan de Acción con diez medidas concretas así como dos objetivos adicionales para el 2020: lograr que el 20% del consumo se hiciera con energías renovables y que se lograra una mejora de la eficiencia energética del 20% (objetivos del 20-20-20).

En 2009, el 43% de las emisiones de CO<sub>2</sub> provenientes de generación fueron originadas por carbón, el 37% por el petróleo y el 20% por gas.

Australia, China, India, Polonia y Sudáfrica producen entre un 68% y un 94% de su electricidad y calefacción quemando carbón.

El desarrollo futuro de la intensidad de emisiones de este sector depende fundamentalmente de los combustibles utilizados en la generación de electricidad y en cuánto generarán otras fuentes no contaminantes, como las renovables y la nuclear.

Para el 2035, el *Worldwide Energy Outlook 2010* (IEA2010), prevé que la demanda de electricidad será alrededor de un 75% superior a la actual. Dicha demanda será debida al rápido crecimiento de la población e ingresos de los países en vías de desarrollo, por el continuo aumento de dispositivos eléctricos que se usan en los hogares y edificios comerciales, y el crecimiento en procesos industriales que necesitan de la electricidad para su puesta en operación. Mientras tanto, se espera que siga

umentando la generación eléctrica a partir de renovables durante los próximos 25 años, beneficiándose de ayudas públicas, disminuyendo los costes de inversión y aumentando los precios de los combustibles. El siguiente gran sector responsable de un 23% de las emisiones de CO<sub>2</sub> en 2009 fue el del transporte, disminuyendo entre el 2008 y el 2009 un 1,7%. En Europa, los altos precios de los carburantes han provocado acuerdos con los fabricantes para que los coches disminuyan el consumo en combustible. Las previsiones del WEO 2010 apuntan a un aumento del 40% en la demanda de carburantes para el transporte para el 2035. De ahí la importancia de las políticas encaminadas a reducir las emisiones en este sector y a ayudar a mejorar la eficiencia de los vehículos. Hay que fomentar el uso del transporte público y modos de transporte menos contaminantes así como el uso de carburantes bajos en carbono. Esto incluiría los vehículos eléctricos, el hidrógeno por medio de los vehículos con pilas de combustible y un uso mayor de los biocombustibles. Todas estas iniciativas deberían ir respaldadas por medio de políticas de poner precio a las emisiones de manera que “quien contamina paga”. Ya existen impuestos en los vehículos por emisiones en los que paga el consumidor final.

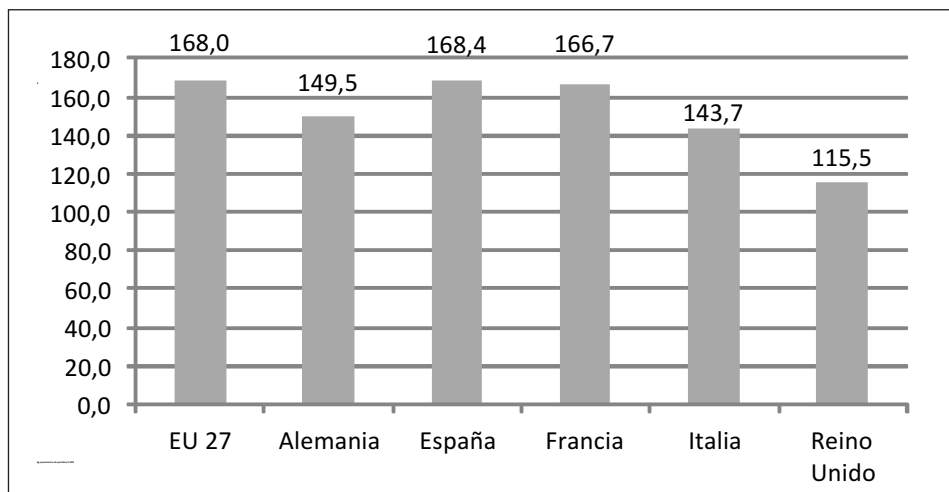
En el Gráfico 4 se muestra la evolución de emisiones por sectores para distintos escenarios y hasta el 2030.

**Gráfico 4. Evolución emisiones por sectores**

	1990	2007	2020		2030	
			Escenario de referencia	Escenario de 450 ppm	Escenario de referencia	Escenario de 450 ppm
Generación	37%	37%	35%	32%	35%	20%
Transporte	19%	25%	26%	26%	27%	32%
Industria	18%	13%	13%	14%	12%	13%
Construcción	18%	15%	16%	18%	17%	23%
Otros	9%	10%	9%	10%	9%	13%
	<b>4Gt</b>	<b>3,9Gt</b>	<b>3,6Gt</b>	<b>3,1Gt</b>	<b>3,5Gt</b>	<b>2,3Gt</b>

Fuente: How the energy sector can deliver on a climate agreement on Copenhagen. Octubre de 2009. AIE

La intensidad energética, medida por el ratio del consumo energético primario dividido por el PIB ha mejorado en el mundo de forma continua. España, sin embargo, ocupa una peor posición relativa en términos de intensidad energética que sus principales competidores europeos como se muestra en el gráfico presentado a continuación. Esta situación hace urgente el desarrollo de un Plan de eficiencia energética para los próximos 10 años.

**Gráfico 5: Intensidad energética (consumo energético/PIB) en 2009**

Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Eurostat

España se ha fijado el objetivo de disminuir la intensidad energética en un 2% cada año hasta 2020 para alcanzar la convergencia con los países EU 27.

Como consecuencia de la intensidad energética, las emisiones de CO<sub>2</sub> procedentes del consumo de energía aumentaron un 43,7% respecto a 1990 (MICYT2010), a pesar del gran descenso en las áreas de Rusia y este de Europa debido a la reducción del consumo causada por la crisis económica. El principal sector emisor es el de generación eléctrica con un 35% del total.

En vista de las previsiones que distintos grupos de expertos han publicado, han ido surgiendo una serie de iniciativas regulatorias cuyo fin es conseguir los objetivos propuestos.

### **III. Algunas propuestas europeas y españolas para mitigar emisiones**

Las diferentes iniciativas regulatorias para conseguir reducir las emisiones y sus aplicaciones tecnológicas se pueden resumir en el esquema que se muestra a continuación:

#### Generación eléctrica

- **Energías renovables:** Directiva 2009/28/CE
  - Hidráulica
  - Eólica
  - Solar Fotovoltaica
  - Termosolar
  - Biomasa
  - Geotérmica
  - Ondimotriz (generada por el movimiento de las olas)
  - Mareomotriz
- **Energía Nuclear**
- **Apoyos a I+D+i y plantas demostración (CAC)**

#### Transporte: Directiva 2009/33/CE. Plan de Activación del Ahorro y la Eficiencia Energética 2008-2011

- Biocombustibles
- Mejora eficiencia motores
- Pilas de combustible
- Vehículos eléctricos: Plan de Acción del Vehículo Eléctrico
- Transporte público: Plan de Acción de Movilidad Urbana

#### Industria

- Eficiencia energética
- Captura y almacenamiento de CO<sub>2</sub>: Directiva 2009/31/CE

#### Edificios

- **Eficiencia energética:** Directiva 2010/31/UE Eficiencia energética de los edificios
  - Iluminación
  - Calefacción
  - Refrigeración
  - Materiales constructivos y aislantes
  - Solar térmica

SET-Plan



**RD 314/2006**, de 17 de marzo, Código Técnico de la Edificación.

**RD 47/2007**, de 19 de enero, Procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios de nueva construcción.

**RD 1027/2007**, de 20 de julio Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios.

Fuente: Elaboración propia



Según la AIE, (Energía y Sociedad: Cambio climático a futuro-), para conseguir los objetivos planteados en términos de emisiones de GEI, sería necesario invertir:

MUNDIALES 2010-2030			EUROPEAS 2010-2030		
6,6 billones de \$ en capacidad de generación con bajas emisiones			1.300 MM de \$ en capacidad de generación con bajas emisiones		
Energías renovables 72%	Energía nuclear 19%	Captura y almacenamiento de carbono (CAC) 9%	Energías renovables 77%	Energía nuclear 16%	Captura y almacenamiento de carbono (CAC) 7%

Fuente: Elaboración propia a partir de *Cambio climático a futuro y el sector eléctrico: Energía y Sociedad*

Según las tablas anteriores, tanto a nivel europeo como mundial, en el mix de generación sería la eólica la que tendría el mayor peso dentro de las energías renovables, ya que de momento es la más madura y más competitiva a nivel comercial teniendo también gran importancia la nuclear –como tecnología convencional no emisora- y los ciclos combinados de gas, como tecnología convencional más eficiente. Sin embargo las centrales de carbón generadoras de electricidad sin captura y almacenamiento de carbono (CAC) sufrirían un descenso importante.

### III.1. Generación eléctrica

Como se ha visto, el sector eléctrico juega un papel clave al hacer frente a los objetivos planteados ante el cambio climático, y deberá acometer importantes inversiones para reducir su intensidad de emisiones.

La asociación europea de la industria eléctrica (EURELECTRIC), ha firmado en 2009 un compromiso en el que las principales compañías eléctricas europeas asumen tres compromisos:

- Alcanzar en Europa un suministro libre de emisiones de CO<sub>2</sub> en 2050.
- Ofrecer un suministro competitivo y seguro a través de un mercado eléctrico europeo integrado.

- Fomentar la eficiencia energética y la electrificación de la economía como uno de los principales instrumentos para hacer frente al cambio climático. (En este compromiso, iría incluido el colaborar con el sector del automóvil para avanzar en la estandarización necesaria para agilizar la implantación del vehículo eléctrico).

Analicemos un poco más en detalle las principales ventajas e inconvenientes de las diferentes apuestas tecnológicas europeas:

### III.1.1. *Energías renovables: Directiva 2009/228/CE*

La UE tiene que importar más del 60% de los recursos energéticos que consume y en el caso de España, la dependencia energética es del orden del 80%. Estos recursos vienen normalmente de países políticamente inestables (Norte de África y Oriente Medio). Las ventajas fundamentales que aportan las energías renovables son:

- Reducen la dependencia de la economía de combustibles fósiles, reduciendo los riesgos de precio y de cantidad ante posibles crisis energéticas.
- Suelen utilizar tecnologías no emisoras de CO<sub>2</sub>.
- Reducen las importaciones de combustibles fósiles.

Las principales desventajas son:

- Aun presentando importantes diferencias de costes entre ellas, vienen siendo más caras que las energías convencionales. En la UE se han llevado a cabo subsidios a la inversión, ventajas fiscales y precios especiales del kilovatio hora producido por estas energías para su desarrollo. El desarrollo europeo ha sido desigual respondiendo más a intereses económicos que a intereses técnicos, estableciendo cada país miembros políticas diferentes. En ciertos momentos no están disponibles para cubrir la demanda, al ser intermitentes y no gestionables (por ejemplo la solar o la eólica).
- Conllevan la necesidad de realizar inversiones adicionales en infraestructuras de transporte del sistema eléctrico, con el consiguiente coste económico para los consumidores.

Estas desventajas manifiestan la importancia de contar con marcos de apoyo eficientes y eficaces y con energía de respaldo, que esté disponible para producir electricidad cuando las renovables no lo estén.

El criterio debería ser introducir primero aquellas con un coste mínimo y un precio de producción menor de la energía. En cada país, se deberían instalar aquellas unidades generadoras que puedan suministrar más energía por MW de potencia instalada.

### • Plan de Acción Nacional de Energías Renovables de España 2011-2020 (PANER)

La Directiva 2009/28/CE fija como objetivos conseguir una cuota del 20% de energía procedente de fuentes renovables en el consumo final bruto de energía de la UE y una cuota del 10% de energía procedente de fuentes renovables en el consumo de energía en el sector del transporte en cada Estado miembro para el año 2020.

El PANER para el periodo 2011-2020, debe hacer cumplir los objetivos vinculantes de dicha Directiva. Según el mismo (PANER2010), el incremento previsto en energías renovables entre 2010 y 2020 daría lugar en España a un volumen de emisiones evitadas de 186.850.674 ton de CO<sub>2</sub> hasta el 2020. El 73% se deben a generación de electricidad (hidroeléctrica, eólica, eólica marina, solar termoeléctrica, solar fotovoltaica, biomasa, biogás, RSU (residuos sólidos urbanos) renovable, energías del mar y geotermia), el 13% a calefacción y refrigeración (biomasa, biogás, geotérmica, paneles solares y otros y bomba de calor) y el 14% al uso de biocarburantes (bioetanol y biodiesel) en el sector transporte.

#### III.1.1.1. Energía hidráulica

Representa hoy en día la quinta parte de la producción mundial de electricidad. La capacidad mundial de generación hidroeléctrica es de unos 630 GW que producen unos 2.200 TWh. El coste del kWh hidráulico está entre 50 y 100 US\$, lo que le hace posicionarse de manera competitiva al ser los costes de operación y mantenimiento del agua, inferiores al de una central convencional.

#### III.1.1.2. Energía eólica

Esta energía nunca podrá por sí sola asegurar el suministro eléctrico debido a la volatilidad de su producción. Por tanto, habrá que diseñar y ampliar la red de transporte para conectar las nuevas instalaciones renovables y el nuevo equipo térmico para cubrir la demanda y cumplir con los nuevos requerimientos de cobertura de la punta de potencia del sistema, asegurando su operatividad en los momentos en los que la energía eólica tenga que suplir su carencia con las instalaciones de generación convencionales. Ello supondrá un mayor coste de desarrollo de la red de transporte.

#### III.1.1.3. Energía solar

La energía solar es más predecible que la eólica. Con la latitud geográfica se pueden hacer estimaciones menos aleatorias que las asociadas al régimen de vientos aún sabiendo que la nubosidad y el índice de claridad asociado a cada localización introducen cierta aleatoriedad a la hora de realizar predicciones.

De las tecnologías existentes, la fotovoltaica es menos sensible al efecto de las nubes, siendo la solar térmica más sensible a este fenómeno. Actualmente existe tecnología que permite acumular energía solar térmica y por tanto, permiten suministrar energía incluso en horas donde no haya radiación solar. Por tanto, estas tecnolo-

gías son capaces de suministrar una mayor garantía de potencia que la eólica. Asimismo, los gradientes de producción son menores y no están disponibles en las horas de máxima demanda que suelen ser entre las 8 y las 10 de la noche, pero podrían ser un apoyo en las horas punta de la mañana.

El coste de producción de estas tecnologías se encuentra entre los 140-450€/Mwh (en euros de 2005, Estevan Bolea et al, 2012), pero se espera una gran reducción en los costes de la tecnología fotovoltaica provocado por la mejora y avance tecnológico en la producción de paneles solares así como por una reducción en los costes de la tecnología solar térmica a medida que se vayan poniendo en funcionamiento más instalaciones.

#### III.1.1.4. Energía biomasa

La biomasa se refiere a cualquier tipo de materia orgánica originada por un proceso biológico. Es la segunda energía renovable más eficiente y tiene una potencia instalada considerable, pero se puede impulsar todavía más. En los últimos cinco años se han duplicado las plantas que utilizan como com. El sector de la biomasa (DBK2011) ha experimentado en los últimos años un gran crecimiento y, de 2008 a 2010, se pusieron en marcha 54 nuevas instalaciones provocando una variación media anual en las ventas de electricidad generada por biomasa del 12% llegando a alcanzar los 3.122 gigavatios/hora. Las 154 plantas operativas en España en febrero de 2011 disponían de una potencia instalada de 705 megavatios, tras el crecimiento del 6,5% experimentado por el conjunto de estas instalaciones en 2010.

Las materias primas utilizadas sobre la potencia total fueron: 23% correspondientes a plantas de residuos de la industria agroforestal; 20% residuos de la industria papelera, y un 16% biogás.

En España se han construido varias plantas eléctricas que utilizan como combustible el alperujo (Estevan Bolea et al, 2012), un residuo que proviene de la producción de aceite por extracción de las aceitunas. Las plantas de biomasa para la producción de electricidad son todas de pequeña potencia por ser necesario disponer de materia prima en un radio cercano y así reducir los costes de transporte. Las instalaciones mayores de biomasa corresponden a las plantas de combustión de residuos sólidos urbanos. La posible contaminación ambiental se ha reducido controlando la temperatura de combustión para evitar la liberación de dioxinas y furanos. Esta tecnología ha sido recientemente recomendada por la UE. Últimamente se está introduciendo la tecnología de plasma para la eliminación de residuos sólidos urbanos y los residuos peligrosos.

#### III.1.1.5. Energía geotérmica

Es la energía almacenada en el interior de la tierra utilizada para producir calor y electricidad. La temperatura interior va desde más de 1.000 °C hasta 7.000 °C. En invierno se extrae calor de zonas poco profundas de la tierra y mediante bombas de

calor se suministra a las distintas estancias. En verano se extrae calor de la vivienda y se traslada a la tierra, obteniéndose una climatización con una reducción de hasta el 75% en el consumo energético. En Filipinas, representa ya el 27% de la energía total producida. Una de sus grandes ventajas es su gran disponibilidad (más del 90%) ya que puede ser utilizada de forma continua. Según la AIE, existen actualmente a nivel mundial una potencia geotérmica eléctrica de unos 10.000 MW, pero se podría llegar a 240.000 MW.

### III.1.1.6. Energía undimotriz

La energía de las olas tiene mayor disponibilidad que otras y es predecible. Se pueden instalar tanto en la costa como en mar abierto. Existen ya experiencias en Reino Unido, el Pelamis con una potencia de 750 kW y en la costa de Portugal se están poniendo en operación tres unidades Pelamis de 750 kW cada una. El Mar Cantábrico es una de las zonas mundialmente más apropiada para este tipo de centrales.

### III.1.1.7. Energía mareomotriz

El agua que se desplaza en las mareas se retiene mediante diques móviles o fijos, creando una diferencia de alturas en el agua almacenada que permite su aprovechamiento energético. Existen diversas estaciones experimentales en lugares en donde las diferencias de altura entre pleamar y bajamar son superiores a 6 metros.

En la Tabla 1 mostrada a continuación, se puede observar cómo han crecido las renovables en el mix energético de generación durante el 2010 así como las cantidades de emisiones de CO<sub>2</sub> generadas por las distintas tecnologías.

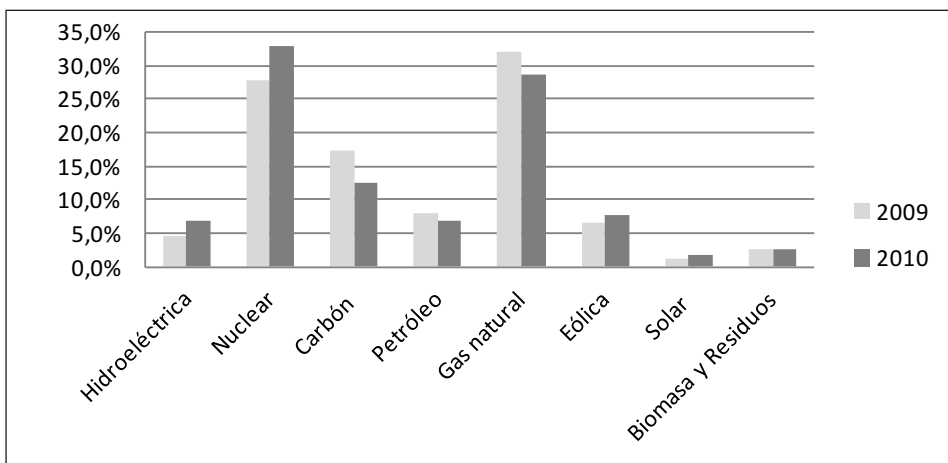
**Tabla 1: Generación de energía eléctrica por fuentes de energía en España**

	2009		2010		2010/2009	Emisiones CO <sub>2</sub>	Potencia instalada		Participación en generación
	Gwh	%	Gwh	%			Kt/GWh	Mw	
<b>REGIMEN ORDINARIO</b>	<b>206.210</b>	<b>69,6%</b>	<b>204.249</b>	<b>67,9%</b>	<b>-1,0%</b>	<b>46.977</b>	<b>64.813</b>	65,6%	66,5%
Hidroeléctrica	23.862	8,1%	38.653	12,9%	62,0%	8.890	17.561	17,8%	13,6%
Nuclear	52.761	17,8%	61.991	20,6%	17,5%	14.258	7.777	7,9%	21,8%
Carbón	36.106	12,2%	24.951	8,3%	-30,9%	5.739	11.380	11,5%	7,8%
Productos petrolíferos	13.546	4,6%	12.805	4,3%	-5,5%	2.945	1.048	1,1%	
Gas natural	79.935	27,0%	65.849	21,9%	-17,6%	15.145	27.047	27,4%	23,3%
<b>RÉGIMEN ESPECIAL</b>	<b>90.093</b>	<b>30,4%</b>	<b>96.528</b>	<b>32,1%</b>	<b>7,1%</b>	<b>22.201</b>	<b>34.047</b>	34,4%	33,5%
Hidráulica	5.322	1,8%	6.793	2,3%	27,6%	1.562	1.991	2,0%	2,4%
Eólica	37.887	12,8%	43.784	14,6%	15,6%	10.070	20.057	20,3%	15,3%
Solar	6.067	2,0%	7.186	2,4%	18,4%	1.653	4.140	4,2%	2,4%
Carbón	758	0,3%	766	0,3%	1,1%	176	149	0,2%	0,3%
Gas natural	29.654	10,0%	29.555	9,8%	-0,3%	6.798	5.718	5,8%	10,4%
Fuel oil-Gas oil	6.529	2,2%	4.333	1,4%	-33,6%	997	1.049	1,1%	1,4%
Biomasa y Residuos	3.876	1,3%	4.111	1,4%	6,1%	946	943	1,0%	1,4%
<b>Producción bruta</b>	<b>296.303</b>	<b>100,0%</b>	<b>300.777</b>	<b>100,0%</b>	<b>1,5%</b>	<b>69.179</b>	<b>98.860</b>	100,0%	100,0%

Fuente: Secretaría de Estado de Energía, REE, CNE y elaboración propia.

La generación en Régimen Ordinario cae el 1%, con una menor producción en todos los tipos de centrales que consumen combustibles fósiles y crecimiento en la hidroeléctrica y nuclear. La producción eléctrica neta total nacional fue, en 2010 de 290.786 GWh, con un aumento del 1,8% en relación con dicho valor en 2009.

**Gráfico 6: Consumo de energía primaria en generación eléctrica en España**



Fuente: Elaboración propia a partir de SEE.

III.1.2. Nuclear: Directiva 2009/71/Euratom del Consejo, de 25 de junio de 2009, por la que se establece un marco comunitario para la seguridad nuclear de las instalaciones nucleares

En el caso de las Centrales Nucleares, por encima de los principios de garantía de suministro, economía y protección del medio ambiente está la garantía de la seguridad. Además, se necesita en todo momento agua para refrigerar el sistema y electricidad para bombear el agua allí donde se necesaria. Europa es ya un modelo real para el resto del mundo en un entorno que parece ha despertado su interés por la energía nuclear. Las principales ventajas de este tipo de energía son:

- Carácter autóctono.
- El combustible utilizado, el uranio, es una fuente dispersa geográficamente y ubicada en zonas políticamente estables (por ejemplo Australia y Canadá).
- Coste muy pequeño en relación a los costes totales, por lo que variaciones en el precio del uranio tiene un impacto mínimo en los costes totales.
- Disponibilidad aproximada de un 95% del tiempo para hacer frente a la demanda.

Las principales desventajas serían:

- Rechazo social ante esta opción debido a la seguridad y a la gestión de los residuos radiactivos aunque los residuos están totalmente inventariados y controlados. La tendencia actual es reprocesar el combustible usado y obtener así nuevos combustibles nucleares. Francia y Japón ya lo hacen.
- Elevados costes de inversión.
- Debido al largo período de construcción se hace más difícil su financiación.

Por tanto, harían falta un marco de estabilidad y certidumbre regulatoria, reglas claras, transferencia tecnológica y cooperación internacional en materia de seguridad.

### III.1.3. *Captura y Almacenamiento de Carbono (CAC ó CCS en inglés): Directiva 2009/31/CE*

El CAC ó CCS consiste en la captura del CO<sub>2</sub>, surgido de un proceso de combustión, y su transporte hasta su almacenamiento en formaciones geológicas e inyectarlo en una formación geológica subterránea adecuada con vista a su almacenamiento permanente. No debería propiciar el que aumentasen las centrales eléctricas que utilizan combustibles fósiles.

La principal ventaja es que compatibiliza la presencia del carbón en el mix energético del futuro con los objetivos de reducción de emisiones.

Su desarrollo debe ir en paralelo a los esfuerzos de apoyo a las políticas de ahorro energético, a las fuentes renovables de energía y a otras tecnologías seguras y sostenibles con baja emisión de carbono.

Estimaciones preliminares, efectuadas con vistas a evaluar el impacto de la Directiva indican que se podrían almacenar siete millones de toneladas de CO<sub>2</sub> de aquí a 2020, y hasta 160 millones de toneladas de aquí a 2030, si se logra una reducción del 20 % de las emisiones de efecto invernadero de aquí a 2020 y si la tecnología de CAC obtiene apoyo privado, nacional y comunitario y resulta ser una tecnología segura desde la perspectiva ambiental. Las emisiones de CO<sub>2</sub> que se eviten en 2030 podrían representar aproximadamente el 15 % de las reducciones exigidas en la Unión.

Desventajas:

- Coste elevado.
- Elevada incertidumbre tecnológica y de costes.
- Sus posibilidades de desarrollo dependen de las particularidades geológicas de cada país.

No se espera hasta como pronto, finales de la 2020 que la tecnología de CAC tenga una contribución significativa a la reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>.

### III.2. Sector transporte

Como se ha visto en el Gráfico 3, el transporte representa la cuarta parte de las emisiones de gases de efecto invernadero. Según EUROSTAT, el transporte representó el 32,6% del consumo total energético de la UE. Actualmente a nivel mundial se está trabajando en políticas de movilidad sostenible, entendiendo por estas aquellas que promueven tecnologías desarrolladas en el sector de la automoción a lo largo de las últimas décadas para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera además de prácticas de movilidad responsable por personas más sensibilizadas con este tema.

#### III.2.1. Directiva 2009/33/CE. Plan de Activación del Ahorro y la Eficiencia Energética 2008-2011 relativa promoción de vehículos de transporte por carretera limpios y energéticamente eficientes

Los biocarburantes, como el bioetanol y el biodiesel, son una alternativa a la sostenibilidad del sector transporte. Su consumo aumentó un 13,6% en 2010 en la UE (Observatorio de las Energías Renovables). El mayor consumidor es Alemania (3 millones de tep), a continuación Francia (2,62 millones de tep) y a continuación España (1,42 millones de tep). Los biocarburantes se pueden mezclar con combustibles fósiles (el bioetanol con la gasolina y el biodiesel con el diesel), en los vehículos actuales en distintos porcentajes, sin crear problemas mecánicos, siempre que sea en las proporciones adecuadas. Constituyen una etapa intermedia para la utilización de otros recursos energéticos en el transporte ya que nunca podrán sustituir totalmente a los combustibles actuales derivados del petróleo. Las pilas de combustible y los vehículos eléctricos (VE) también serán opciones muy válidas por las que apuesta la UE.

Debido a las normativas que han aparecido y que son más restrictivas en cuanto al nivel de emisiones, al aumento del precio de los combustibles (provocados por el elevado precio del petróleo) y a una mayor sensibilización social por los problemas medioambientales, se está desarrollando con un gran impulso el vehículo eléctrico.

Los vehículos eléctricos han experimentado un gran desarrollo en los últimos años, teniendo un futuro prometedor y quedando todavía bastante cambio por recorrer desde el punto de vista de la investigación y desarrollo.

Actualmente en el mercado se dispone de: vehículos híbridos “ligeros”, caracterizados porque cuando se detienen el motor deja de funcionar aportando energía adicional al acelerar consiguiendo una reducción en el consumo de gasolina del 10%; vehículos híbridos no recargables/enchufables (HEV), como el Ford Fusion Hybrid, Toyota Prius, Honda Insight, Honda Civic, que pueden reducir el consumo en gasolina entre un 25 y un 40%, siendo la misión de la batería realizar los ciclos de carga y descarga; vehículos híbridos recargables/enchufables (PHEV), que, a diferencia de los anteriores, combinan un motor de combustión interna (MCI) con una batería y con un motor eléctrico, cohabitando dos fuentes externas de energía (combustible para MCI y electricidad para recargar la batería) siendo las baterías recargables mediante motor de gasolina, freno regenerativo o conectando vehículo a punto de

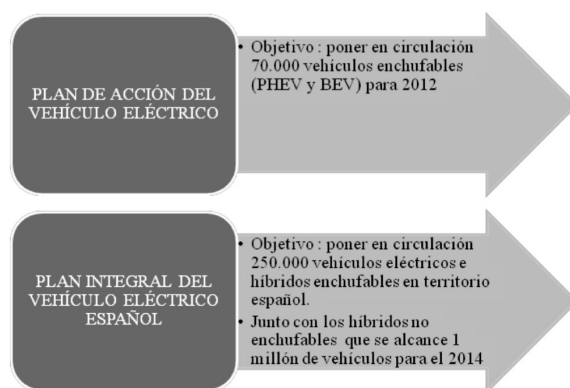


recarga; vehículos eléctricos de batería (BEV), propulsados únicamente por motor eléctrico, necesitando baterías mayores que en los casos anteriores y, por último, vehículos eléctricos de autonomía extendida (EREV), que tienen las mismas características que los BEV pero además llevan un MCI que funciona como un generador que carga la batería del sistema en un proceso lineal, si se necesitara.

### III.2.2. Plan de Acción del Vehículo Eléctrico (Plan Movele)

Es el principal apoyo al vehículo eléctrico en España, con un coste de 590 millones de euros.

Consta de quince medidas de acción inmediata encuadradas en cuatro ejes principales:



- Fomento de la demanda (subvenciones para la compra de VE, flotas susceptibles de ser renovadas con VE, circulación en zonas restringidas en la ciudad, reserva de espacios públicos para recarga..., y creación del sello de Ciudad con Movilidad Eléctrica).
- Apoyo a la industrialización e I+D (priorización de planes empresariales cuyo objeto sea el VE, apoyo a las TIC entre la red eléctrica y el VE, líneas prioritarias de I+D+i para VE).
- Infraestructura y gestión de la demanda (medidas de apoyo a la introducción del VE consensuado con compañías eléctricas, tarifa de horario nocturno, implantación gratuita de contadores con discriminación horaria para los usuarios de VE, creación de la figura del gestor de carga).
- Medidas transversales (marketing estratégico y comunicación institucional, identificación de las barreras de hábitos y opinión del VE, homologación y nor-

malización del VE y sus componentes, trasposición de la directiva europea sobre promoción de vehículos limpios y eficientes, formación académica y profesional específica).

En la Unión Europea se espera que disminuyan las emisiones de CO<sub>2</sub> de los particulares en un 4,5% con la renovación de vehículos de más de ocho años.

### III.2.3. *White Paper on Transport 2011*

La Comisión Europea ha desarrollado un plan de trabajo para los próximos diez años para construir un sistema de transporte que entre otros objetivos, reduzca la dependencia de Europa de las importaciones de petróleo y las emisiones de CO<sub>2</sub> en el transporte en un 60% para el 2050.

Además del VE, para conseguir los objetivos marcados en cuanto a emisiones, otra de las medidas propuestas es una mayor participación del ferrocarril en el transporte de mercancías. Su utilización supone una ventaja estratégica ya que tiene una mayor eficiencia energética que supone un ahorro económico en la cadena logística y contribuye a reducir los costes globales. Supone también reducciones en emisiones de CO<sub>2</sub>, y de partículas PM (partículas en suspensión) y NOx (óxidos de nitrógeno).

Las principales barreras técnicas actualmente son que las baterías son caras y de autonomía limitada, dichas baterías además ocupan un gran espacio y peso si se quieren recorrer distancias largas, este mayor peso requiere mayor energía para desplazarlos, los puntos de recarga actuales son escasos, todavía hay falta de estandarización en baterías y sistemas de recarga, de momento hay poca oferta comercial así como una red de talleres especializados muy limitada.

Como barreras económicas se podrían destacar por un lado su alto precio (el 75% del mismo es debido al coste de la batería), los costes de infraestructura son muy elevados (debería de haber puntos de recarga accesibles para todos los usuarios) y el precio del litio podría subir si sube la demanda.

En cuanto a las barreras sociales todavía hay un gran desconocimiento sobre las ventajas del VE y una percepción importante sobre el riesgo de la poca duración de las baterías y de pocos puntos de recarga.

A pesar de estas barreras, que por otro lado son bastante lógicas cuando comienza la implantación de una nueva tecnología, también el desarrollo del VE genera grandes oportunidades.

TECNOLÓGICAS E INDUSTRIALES	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Desarrollo tecnológico de componentes industriales.</li> <li>• Desarrollo de TIC s adaptadas.</li> <li>• Estímulos para las smart grids<sup>1</sup>.</li> <li>• Creación gestores de carga.</li> <li>• Posicionamiento de la industria española.</li> </ul>
ENERGÉTICAS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cumplimiento Directiva 28/2009 de promoción de las Energías Renovables.</li> <li>• Ayuda al ahorro energético y reducción de dependencia energética.</li> <li>• Favorece la introducción de las renovables en el sistema eléctrico.</li> <li>• Mejora uso infraestructura eléctrica.</li> </ul>
MEDIOAMBIENTALES	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ayuda a disminuir emisiones CO<sub>2</sub>.</li> <li>• Incorpora el sector del transporte al régimen de comercio de emisiones de CO<sub>2</sub>.</li> <li>• Contribuye a reducir la emisión de contaminantes.</li> </ul>

Las emisiones producidas por cualquier vehículo se obtienen contabilizando las emisiones producidas por el motor del vehículo (emisiones directas) y las producidas en sistemas externos al propio vehículo pero que son necesarias para que el vehículo pueda moverse y funcionar de manera correcta (emisiones indirectas).

El VE no produce emisiones directas durante su funcionamiento, pero el mix de generación eléctrica utilizada para generar la electricidad necesaria para moverlo, será más o menos contaminante dependiendo de cómo se haya generado (de carbón, de ciclo combinado, renovables...).

Las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas por un VE a los 100 km son aproximadamente de 3,3 kgCO<sub>2</sub> y por un vehículo de motor diesel es de 13,3 kgCO<sub>2</sub> también a los 100 km.

En cuanto al consumo de energía, el vehículo convencional tiene un coste por km superior al BEV. Por tanto, considerando todos los costes, de producción y de

---

<sup>1</sup> Una Smart Grid o Red Inteligente es un sistema que permite la comunicación bidireccional entre el consumidor final (usuarios particulares o industriales) y las compañías eléctricas, de forma que la información proporcionada por los consumidores se utiliza por las compañías para permitir una operación más eficiente de la red eléctrica.

operación, el VE será más económico en el futuro. Aunque el precio del VE sigue siendo superior, se irá compensando a medida que se vayan recorriendo kilómetros.

Después de todo lo expuesto, se puede concluir que el VE contribuye de dos maneras fundamentalmente a reducir las emisiones:

1. Al ser más eficiente tiene una menor intensidad de emisiones;
2. la electricidad emite muchas menos emisiones que los derivados del petróleo.

### III.3. Eficiencia energética

La eficiencia energética es una apuesta fundamental y quizás la más importante, para reducir el consumo de energía. Europa ha publicado directivas referentes a varios sectores, en los que se dan algunas pinceladas de los que se consideran más relevantes por su peso en emisiones.

- **Directiva 2010/31/UE relativa a la eficiencia energética de los edificios**

El 40 % del consumo total de energía en la Unión corresponde a los edificios. La nueva directiva surge como necesidad de imponer acciones más concretas para fomentar el gran potencial de ahorro de energía en los edificios y reducir las grandes diferencias que existen entre Estados miembros en este sector. El objetivo es tener edificios de consumo casi nulo a partir de 2020.

Los Estados miembros deberán aplicar una metodología de cálculo de la eficiencia energética de los edificios que tendrá en cuenta las características térmicas reales del edificio, las instalaciones que consumen energía, la ventilación natural y mecánica o el diseño del inmueble, entre otros. Cuando sustituyan o mejoren dichos elementos, éstos deberán cumplir unos requisitos mínimos de eficiencia energética que serán inspeccionados periódicamente a intervalos no superiores a cinco años.

La eficiencia energética tiene mucho que ver con mejoras en la intensidad energética, dependiendo esta última de la estructura de la economía. La intensidad energética de una economía es el cociente entre el consumo de energía y el valor de los bienes y servicios producidos (PIB). Es decir, es la cantidad de energía, que suele venir expresada en ktep, utilizada para producir 1.000 euros de PIB.

- **Plan de Intensificación de Ahorro y Eficiencia Energética elaborado por el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (Consejo de Ministros, 4/03/2011)**

Se recogen 20 medidas que supondrán un ahorro aproximado de 3,2 millones de toneladas de petróleo (tep) anuales, el equivalente a 28,6 millones de barriles de petróleo. El ahorro económico estimado es de 2.300 millones de euros anuales en importaciones energéticas. La aplicación del Plan permitirá reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> en 12,5 millones de Tm al año.

### III.4. SET Plan (Strategic Energy Technology Plan)

Fue presentado por la Comisión Europea en noviembre de 2007. Supone el pilar tecnológico para conseguir los objetivos de las políticas medioambiental y energética comunitarias.

Las acciones a nivel de programación y planificación son:

- i. European Industrial Initiatives (EII): Fortalecimiento de la investigación e innovación industrial. Lideradas por la industria.
  - a) EII de bioenergía: alcanzar 14% de bioenergía en el mix energético de la UE para 2020 y reducir 60% de emisiones GEI de los biocombustibles.
  - b) EII de energía nuclear sostenible: comercializar reactores de IV generación a partir del 2040 y que, al menos un 30% de la generación actual de la UE provenga de los reactores actuales.
  - c) EII de energía solar: Aportación del 12% de la demanda eléctrica.
  
- ii. EII de energía eólica: 20% del consumo final de la energía de la UE para 2020; 20% de la generación eléctrica de la UE para 2020; Tecnologías “Off-shore”: energía eólica en alta mar.
  
- iii. EII red eléctrica europea
  - a) Integración de redes eléctricas nacionales en una red paneuropea.
  - b) 2020: el 35% de la electricidad de esta red sea de origen renovable.
  - c) 2050: producción eléctrica totalmente descarbonizada.
  
- iv. EII de captura, transporte y almacenamiento de CO<sub>2</sub> (CAC ó CCS)
  - a) Demostrar competitividad en costes en plantas de combustión de carbón para 2020 y a partir de ahí extenderlas a otros sectores intensivos en carbón.
  
- v. EII sobre ciudades inteligentes (smart cities): mejorar la eficiencia energética y promover energías renovables en grandes ciudades; reducir el 40% de los GEI para el 2020 y en los próximos 10 años: 200 edificios de energía cero.
  
- vi. European Energy Research Alliance (EERA): Utilización más eficiente de los recursos y capacidades de investigación dispersos por los diferentes Estados Miembros.  
 Joint Programmes: Energía eólica, fotovoltaica, geotermal y redes eléctricas inteligentes. Materiales para energía nuclear, bioenergía y captura y almacenamiento de CO<sub>2</sub>.

- vii. Trans-European Energy Networks and Systems of the future: Se encargan del cambio en la infraestructura energética y en la organización de la innovación para conseguir un sistema europeo interconectado y sostenible.

#### IV. Soluciones al modelo energético

Las soluciones propuestas plantean:

- Reducir la dependencia de la economía de los combustibles fósiles y de la intensidad energética.
- Reducir las emisiones GEI

BLOQUES DE MEDIDAS	
DE DEMANDA	DE OFERTA
Encaminadas a mejorar la <b>eficiencia energética</b> fundamentalmente en sus usos finales	Implantación de tecnologías que permitan la descarbonización del mix energético: reducción dependencia de combustibles fósiles
Reducción del consumo energético en: <ul style="list-style-type: none"> <li>– Iluminación</li> <li>– Calefacción</li> <li>– Refrigeración</li> <li>– Transporte</li> <li>– Redes eléctricas inteligentes</li> <li>– Edificación</li> </ul>	Fomento de: <ul style="list-style-type: none"> <li>– Energías Renovables:                             <ul style="list-style-type: none"> <li>• Eólica</li> <li>• Solar fotovoltaica</li> <li>• Termosolar</li> <li>• Biomasa</li> </ul> </li> <li>– Energía Nuclear</li> <li>– Captura y almacenamiento de CO<sub>2</sub> (CAC ó CCS)</li> </ul>
Reducción de emisiones de GEI necesaria para el 2020 <sup>2</sup> : 60%	Reducción de emisiones de GEI necesaria para el 2020: 20%

**Gráfico 7: Contribución de cada opción tecnológica a la reducción de emisiones en el escenario 450 ppm.**

	2020		2030	
	Mt		Mt	
Eficiencia en usos finales	2.284	59%	7.145	52%
Eficiencia en generación	233	6%	735	5%
Renovables	680	18%	2.741	20%
Biocombustibles	57	1%	429	3%
Nuclear	493	13%	1.380	10%
CCS	102	3%	1.410	10%
<b>Mitigación total</b>	<b>3.849</b>	<b>100%</b>	<b>13.840</b>	<b>100%</b>

Fuente: AIE, octubre 2009.

<sup>2</sup> Estimación de la Agencia Internacional de la Energía (IAE) para alcanzar la concentración de GEI de 450 ppm (partes por millón) necesario para limitar el aumento de temperatura a 2°C.

Según la gráfica anterior, se puede concluir que la mejor opción para mitigar el cambio climático es la eficiencia energética (59%), seguida por las energías renovables (18%) y el CCS (19%). Por tanto, para cumplir con los objetivos será fundamental mejorar la eficiencia energética, la cual conllevará mejoras tecnológicas y medidas regulatorias.

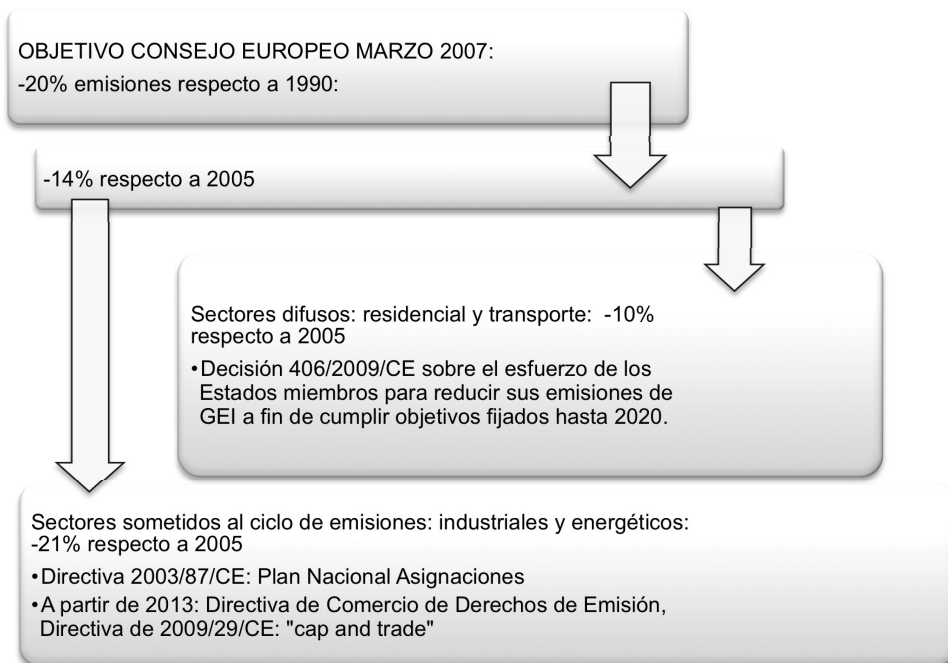
Las perspectivas de la AIE tienden a introducir la electricidad en sectores donde siempre ha jugado un papel limitado debido a las ventajas que ofrece en términos de eficiencia energética y descarbonización.

En 2030, dentro del mix eléctrico, el carbón jugará un papel predominante en la cobertura de la demanda de electricidad, seguido del gas natural, la hidráulica y la nuclear. En el escenario 450 ppm, las renovables en su conjunto adoptarán una participación prioritaria, fundamentalmente la hidráulica y la eólica.

Cualquier país con dificultades para conseguir cumplir los objetivos por medio de actuaciones internas, puede recurrir a los mecanismos de flexibilidad creados por el Protocolo de Kioto que son:

Comercio de derechos de emisión	Mecanismo de desarrollo limpio (MDL)	Aplicación Conjunta (AC)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mecanismo por el que los agentes afectados pueden comprar y vender derechos de emisión para cumplir objetivos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permite conseguir reducciones certificadas de emisiones (RCE), equivalentes a obtener derechos de emisión, a cambio de realizar inversiones en proyectos que rebajen el nivel de emisiones en países en vías de desarrollo.</li> <li>• Estos proyectos pueden ser inversiones en tecnologías limpias o en sumideros (bosques y tierras de cultivo que absorben el CO<sub>2</sub>)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permite a un país industrializado invertir en otro país también industrializado en la realización de un proyecto cuya finalidad es reducir las emisiones de GEI o a incrementar la absorción por los sumideros.</li> <li>• Estas certificaciones se denominan unidades de reducción de emisiones (URE)</li> </ul>

En marzo de 2007, en el Consejo Europeo se fijó el objetivo de reducir las emisiones en un 20% respecto las de 1990 dividiéndolo entre los sectores sometidos al comercio de emisiones:



Fuente: Elaboración propia.

El objetivo para España es la reducción de emisiones en un 10%, que a pesar de verse favorecido al cambiar el año de referencia de 1990 por el de 2005, va a exigir cambios estructurales importantes.

#### IV.1. Esquema “cap-and-trade”

Es el mecanismo de mercado intraeuropeo para incentivar una reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> al mínimo coste, basado en la fijación de un tope máximo de emisiones (cap) y el superar las emisiones por encima del “cap” lleva consigo penalizaciones. Las emisiones hasta llegar al techo máximo están respaldadas por derechos de emisión. Este esquema incentiva a reducir emisiones, ya que la cantidad total de emisiones respaldadas por derechos de emisión es inferior al conjunto de las emisiones totales reales, y las instalaciones por tanto, intentarán evitar las penalizaciones. Asimismo, articula la transferencia de derechos de emisión entre agentes (trade o comercio de emisiones). Este mecanismo incentiva a los agentes que pueden reducir emisiones a un menor coste a invertir en tecnología para reducir emisiones y a vender los derechos de emisión correspondientes a agentes cuyo coste de reducción de emisiones es mayor.



#### **IV.2. Marco de la Directiva 2003/87/CE: Planes nacionales de asignación de derechos de emisión (PNA)**

Según esta Directiva, que establece el régimen para el comercio de derechos de emisión de GEI en la UE, los Estados Miembros de la UE deben presentar, para el período 2005-2007 y para 2008-2012 un Plan Nacional de Asignación de Derechos de Emisión. Para dichos períodos, se asignan un determinado porcentaje de derechos de emisión de forma gratuita entre las instalaciones emisoras de CO<sub>2</sub>. Para el período 2005-2007 un 95% del total de derechos asignados fueron gratuitos y para el período 2008-2012 un 90%. A partir del 2013 cambia la Directiva y se asignarán por medio de subastas.

A través de los PNA de cada Estado miembro, se reparten y asignan los derechos entre los diferentes sectores e instalaciones según criterios como emisiones históricas y esperadas en el futuro. Dicho reparto, se realiza según los compromisos adquiridos en Kioto, según el mecanismo “cap and trade” explicado previamente entre las distintas instalaciones de cada sector, incluyendo además una reserva para las entradas futuras en diversos sectores.

Las instalaciones que deben cumplir con las obligaciones impuestas por esta Directiva son: instalaciones de combustión de potencia térmica superior a 20 MW, instalaciones de producción de energía eléctrica con potencia superior a 20 MW, refinerías, coquerías, cemento, cal, cerámica, vidrio, siderurgia, papel y cartón.

Dichas instalaciones, al finalizar cada año, deben auditar sus emisiones reales de CO<sub>2</sub> y reportarlas a la Administración. Si su cantidad es superior a la cantidad de derechos de emisión con las que van respaldadas, dicha diferencia estará sujeta a una penalización. Para evitar dichas penalizaciones, además de utilizar los derechos que les fueron asignados en el PNA, pueden comprar derechos en el mercado. La asignación se realiza aplicando un factor de intensidad de emisiones por unidad de producción.

En 2007 se aprobó un nuevo PNA para España para el período 2008-2012 (Real Decreto 1402/2007, del 29 de octubre) reduciendo los derechos asignados de forma gratuita en un 16,43% para todos los sectores afectados por la Directiva.

Al sector eléctrico dichos derechos se le reducen en un 36%, otorgando derechos de emisión que cubren sólo el 60% de las emisiones medias en 2000-2005.

#### **IV.3. Modificaciones introducidas por la Directiva 2009/29/CE**

Las principales diferencias con respecto a la directiva anterior son:

1. Desaparecen los PNA estableciéndose un techo de emisiones y unas normas de asignaciones comunes de forma centralizada a nivel comunitario, desagregándose a continuación por instalaciones. Para 2020 la reducción será de un 21% respecto a los niveles del 2005 para el conjunto de todos los sectores

sometidos al comercio de emisiones. Además, se incluyen los sectores de la industria química, del aluminio, la captura de CO<sub>2</sub>, el transporte de CO<sub>2</sub> o el almacenamiento de CO<sub>2</sub>.

2. A partir de 2013 el único método de asignación es la subasta, aunque habrá regímenes transitorios diferenciados para el sector eléctrico de algunos países en concreto (en los que no se incluye España) y para sectores en los que haya riesgo de deslocalización, los cuales mantendrán el 100% de la asignación gratuita inicialmente.

Los precios de los derechos de emisión dependerán de la oferta y la demanda y, como en cualquier mercado, cuanto menor sea el número de derechos de emisión, mayor será su precio.

El coste de reducción de emisiones de la última instalación necesaria para cumplir con el techo de emisiones (cap), determinará el precio de los derechos para el conjunto de emisiones. El intercambio de los derechos entre las distintas instalaciones (sistema cap-and-trade) hace posible que inviertan en los equipos necesarios para reducir las emisiones (filtros, tratamiento y/o almacenamiento de CO<sub>2</sub>), aquellas con costes de reducción de emisiones más bajos por lo que el coste global de alcanzar el objetivo de reducción de emisiones será el mínimo posible para el conjunto del sistema. Estas instalaciones serán las que vendan sus derechos de emisión correspondientes a la reducción obtenida en el mercado si el precio de los derechos es superior al coste de la inversión realizada.

Sin embargo, aquellas instalaciones para las que sea más caro reducir las emisiones por medio de inversiones y nuevas tecnologías para conseguirlo, tendrán un incentivo a comprar derechos de emisión para evitar penalizaciones.

Por tanto, así se consigue sustituir tecnologías más contaminantes por tecnologías más limpias. Esto se debe fundamentalmente a que al tener obligatoriamente que entregar a la Administración derechos de emisión por cada tonelada de CO<sub>2</sub> emitida, las tecnologías emisoras verán aumentados sus costes de generación. Pero como dicho aumento de coste no es igual para todas las tecnologías de generación, al ser las emisiones por MWh generadas distintas, cambia su posición competitiva en el mercado, generando incentivos a la inversión en las tecnologías menos contaminantes.

Por ejemplo, si se diera el caso de que los derechos de emisión fuesen suficientemente altos, los ciclos combinados serían capaces de generar electricidad a un coste menor que la mayoría de las centrales de carbón (actualmente el precio de los derechos está en torno 20-20€/ton CO<sub>2</sub>). Esta situación incentivaría a ir sustituyendo las centrales de carbón por ciclos combinados menos contaminantes. Sin embargo, en una situación en la que no hubiera un mercado de derechos de emisión, resultaría más económico generar con carbón que con gas natural, debido a los precios actuales de estos combustibles.

A medida que se vaya dando un crecimiento económico sostenido, el precio de los derechos será cada vez mayor al ser el cap cada vez más restrictivo. Serán las tecnologías no emisoras como las renovables o las menos contaminantes, las que ayudarán a contener este coste total de reducción de emisiones para cumplir con el techo de emisiones. Estas tecnologías lo que conseguirán es desplazar generación más emisora, aliviando el esfuerzo de reducción de emisiones a realizar por aquellas más contaminantes, provocando así bajar el precio de los derechos de emisión.

## V. Conclusiones

Los efectos de las emisiones son globales, por lo que las medidas de cada país en concreto pueden ser estériles si no van acompañadas con medidas del resto de los países, fundamentalmente aquellos que más energía consumen.

Según todo lo expuesto anteriormente, se ha visto que no sólo hay una tecnología que aporte todas las posibilidades de mitigación en un sector, sino que la acción de muchas será la que conseguirá cumplir con los compromisos adquiridos a nivel mundial y europeo. Sólo cuando haya unas políticas claras y se eliminen los obstáculos se podrán alcanzar los objetivos de mitigación.

Se han analizado muchas y diferentes opciones tecnológicas para reducir las emisiones de GEI. El promover e impulsar una respuesta mundial al cambio climático, el estímulo de toda una serie de políticas nacionales y la creación de un mercado internacional del carbono y de nuevos mecanismos institucionales al respecto son retos a conseguir en el futuro.

Las medidas de mitigación pueden reducir, retardar o incluso evitar muchos impactos de los GEI. Los esfuerzos y las inversiones de los próximos decenios serán clave para conseguirlo. Es por tanto fundamental seguir implantando las tecnologías desarrolladas en la actualidad más las que se comercializarán en el futuro. Para ello es importante fomentar y financiar las actividades de I+D+i para mejorar el rendimiento técnico, reducir costes y alcanzar el consenso social de las distintas tecnologías no emisoras de CO<sub>2</sub> además de todas las involucradas con el ahorro y la eficiencia energética.

## VI. Bibliografía

- COMUNICACIÓN DE LA COMISIÓN AL CONSEJO EUROPEO Y AL PARLAMENTO EUROPEO (2007), *Una política energética para Europa*  
DBK, 2011 *Informe especial plantas de biomasa*  
DIRECTIVA 2009/31/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 23 de abril de 2009 relativa al almacenamiento geológico de dióxido de carbono y por la que se modifican la Directiva 85/337/CEE del Consejo, las

- Directivas 2000/60/CE, 2001/80/CE, 2004/35/CE, 2006/12/CE, 2008/1/CE y el Reglamento (CE) no 1013/2006 del Parlamento Europeo y del Consejo
- DIRECTIVA 2009/33/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 23 de abril de 2009 relativa a la promoción de vehículos de transporte por carretera limpios y energéticamente eficientes
- DIRECTIVA 2009/28/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 23 de abril de 2009, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables y por la que se modifican y se derogan las Directivas 2001/77/CE y 2003/30/CE
- DIRECTIVA 2010/31/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 19 de mayo de 2010 relativa a la eficiencia energética de los edificios (refundición)
- ENERGÍA Y SOCIEDAD, *Insostenibilidad del sector energético y vías de solución*
- ENERGÍA Y SOCIEDAD, *El sistema cap and trade en Europa y los incentivos a reducir emisiones*
- ENERGÍA Y SOCIEDAD, *Cambio climático a futuro y el sector eléctrico*
- EUROPEAN COMMISSION, (2007) *SET-Plan (Strategic Energy Technology Plan)*
- EUROPEAN COMMISSION, (2011) *WHITE PAPER Roadmap to a Single European Transport Area – Towards a competitive and resource efficient transport system*
- GRUPO INTERGUBERNAMENTAL DE EXPERTOS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO, *Informe especial del Grupo de trabajo III del IPCC. Escenario de emisiones*
- GRUPO INTERGUBERNAMENTAL DE EXPERTOS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO, *Informe especial del Grupo de trabajo III del IPCC. Cambio climático 2007. Informe de Síntesis*
- IDAE, 2010, *El Plan de Acción del Vehículo Eléctrico 2010-2012 (Plan MOVELE)*
- IDAE, 2010 *Plan de Acción Nacional De Energías Renovables de España (PANER) 2011-2020 (Junio 2010)*
- MINISTERIO DE INDUSTRIA, COMERCIO Y TURISMO (Enero 2012), *Mapa tecnológico movilidad eléctrica. Observatorio Tecnológico de la Energía*
- MINISTERIO DE INDUSTRIA, COMERCIO Y TURISMO (2010), *La energía en España 2010*. Secretaría de Estado de Energía.
- OLIVIER, J, JANSSENS-MAENHOUT, PETERS J., WILSON, J., (2011), *Long-term trend in global CO<sub>2</sub> emissions, 2011 report*.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, OECD, *World Energy Outlook 2009*.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, OECD, *World Energy Outlook 2010*.  
[www.worldwidenergyoutlook.org](http://www.worldwidenergyoutlook.org)